

01070
9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
PROGRAMA DE POSGRADO EN PEDAGOGÍA

**LAS CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES DE
BACHILLERATO ACERCA DEL ENLACE QUÍMICO**

T E S I S

Que para obtener el grado de Maestra en Pedagogía

Presenta:

Alejandra García Franco

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Director de Tesis:

Dr. Andoni Garritz Ruiz

México, D. F.

autorizo a la Dirección General de Bibliotecas
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso
contenido de mi trabajo de tesis

2003

Alfrenda Alejandra García
franco

Fecha: 12/08/03

Firma: *[Firma]*





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.

A mi tío Héctor, en amorosísima memoria

**A Chehis, por lo que juntos hemos construido, por haberse convertido en el
compañero y el amor de mi vida**

A mi abuelo Ernesto, por su ejemplo de fortaleza y amor a la vida

A mi papá, Arnaldo, por su tenacidad, su voluntad y por ayudarme a ser lo que hoy soy

A mi mamá, Coquis, por su amor inmenso y profundo, por su alegría y entrega

A mi hermana, Mariana, por lo maravilloso que es contar con ella y tenerla cerca

A mis tíos Neto, Pedro y Martha por las certezas que da la familia

**A mis amigos, por acompañarme en este camino: Cynthia, Varinia, Marcela, Kuri, Juan,
Ana Carolina, por lo que hemos recorrido y lo que nos falta**

**A mis compañeros maestros y a mis alumnos del Colegio Madrid, por todo lo que he
aprendido junto a ellos**

**A los coordis, ex coordis y a los alfabetizadores del Colegio Madrid, por permitirme
compartir con ellos esta experiencia tan intensa y tan profundamente humana**

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Andoni Garritz Ruiz, por todo lo que de él he aprendido, por alentarme en todo momento y por acompañarme en la realización de este trabajo compartiendo conmigo su amor a la enseñanza.

Al grupo de Pedagogía y Cognición del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, en especial a la Dra. Leticia Gallegos y al Dr. Fernando Flores, por el apoyo y la confianza.

A los sinodales de este trabajo, en especial al Dr. Plinio Sosa y a la Dra. Sara Rosa Medina por el tiempo dedicado y las observaciones realizadas.

A la Dirección General de Estudios de Posgrado de la UNAM, por el apoyo financiero recibido a lo largo de la realización de los estudios.

ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo 1 Las concepciones alternativas y el concepto de enlace químico	4
1.1 Acerca de la posición constructivista	4
1.2 El enfoque de las concepciones alternativas	5
1.3 El concepto de enlace químico	11
1.4 Un resumen de los hallazgos en la bibliografía	13
1.4.1 El marco de trabajo de la regla del octeto	13
1.4.2 Enlace covalente	14
1.4.3 Enlace iónico	18
1.4.4 Enlace metálico	20
Capítulo 2 Sobre el cambio conceptual y la enseñanza de las ciencias	24
2.1 El cambio conceptual en la investigación sobre la enseñanza de las ciencias	24
2.2 Las distintas posturas respecto al cambio	30
2.3 El cambio conceptual en el salón de clases	33
2.4 Estrategias para el cambio conceptual	38
Capítulo 3 Descripción de la estrategia de enseñanza	40
3.1 El estado actual sobre la investigación en estrategias didácticas	40
3.2 Las estrategias para el cambio conceptual. Una revisión	42
3.3 Análisis del contenido y de los materiales de apoyo	46
3.4 La secuencia constructivista de enseñanza	49
3.5 Nuestra estrategia de enseñanza	55
3.6 La importancia del conflicto cognitivo	60
Capítulo 4 Metodología	62
4.1 Diseño de la investigación	62
4.2 Población	63
4.3 Instrumentos	63

4.3.1 Cuestionario	63
4.3.2 Entrevistas	66
4.3.3 Observaciones de clase	67
4.4 Determinación de las categorías de análisis	67
Capítulo 5 Presentación y análisis de los resultados	69
5.1 Los resultados obtenidos a partir del cuestionario antes y después de la enseñanza (pre y pos test)	69
5.2 Categorías de análisis a partir de las entrevistas y las observaciones de clase. La comprensión de los estudiantes sobre el enlace	77
5.2.1 La regla del octeto como principio explicativo	77
5.2.2 La existencia de "moléculas iónicas"	82
5.2.3 La representación de los metales y los sólidos covalentes	84
5.2.4 El punto de fusión y su relación con el enlace. Explicaciones unicasales	88
5.3 Algunos otros aspectos derivados de la estrategia de enseñanza	92
5.3.1 Del conocimiento declarativo al conocimiento explicativo	92
5.3.2 El método de enseñanza y su relación con el aprendizaje	96
5.4 La necesidad de dar una cobertura conceptual única a los diferentes modelos de enlace	102
Capítulo 6 Conclusiones	
6.1 El concepto de enlace químico y su enseñanza en el bachillerato	106
6.2 La estrategia de enseñanza y el conflicto cognitivo	106
6.3 La incorporación de los hallazgos de la literatura en la estrategia de enseñanza	107
6.4 Algunas propuestas de investigación	109
Referencias bibliográficas	111
Apéndice 1 Estructura de la unidad didáctica	117
Apéndice 2 Transcripciones de las entrevistas	120

INTRODUCCIÓN

La investigación en enseñanza de las ciencias es un campo que ha ido consolidándose en las tres últimas décadas y que comenzó a principios de los años 70s' con las investigaciones alrededor de las ideas de los estudiantes sobre conceptos que se estudiaban en las clases de ciencias.

Es bien aceptado hasta este momento, que las concepciones con las que los estudiantes llegan a la clase de ciencias son el factor fundamental para definir qué es lo que pueden aprender, dado que estas concepciones proporcionan al estudiante marcos de trabajo útiles y que tienen sentido dentro de su vida cotidiana. Es por ello muy importante tratar de conocer cuáles son las concepciones que los estudiantes tienen sobre los conceptos científicos que se pretende que aprendan.

Sabemos que las concepciones alternativas no son reemplazadas por las concepciones científicas de inmediato, sino que más bien, existe un "camino de construcción conceptual", mediante el cual las concepciones alternativas se acercan progresivamente a las concepciones de la ciencia. Tratar de conocer cómo se construyen estos conceptos, puede ayudarnos a diseñar y planear estrategias de trabajo para que puedan ser comprendidos, así como revisar el currículo de ciencias en términos de la pertinencia y secuencia de determinados temas.

El concepto de enlace químico es un concepto medular en la construcción de la química como la conocemos hoy en día. Para Pauling (1992), este concepto, "es el más valioso en química y su desarrollo en los pasados ciento cincuenta años es uno de los mayores triunfos del intelecto humano". De hecho, el concepto de enlace químico es una idea clave en la química, que se utiliza en todos los niveles educativos para lograr la comprensión de buena parte de la disciplina. De acuerdo

con Fensham (1975, p. 199), el concepto de enlace químico "... es una de las ideas poderosas dentro de la química, que proveen con una estructura a áreas completas de conocimiento [...] una vez que una idea como éstas se comprende, el estudiante tiene un marco de trabajo nuevo, con el que puede afrontar con confianza nuevos aprendizajes... "

El concepto de enlace químico no ha sido suficientemente trabajado dentro de los numerosos temas que se han abordado en el estudio de concepciones alternativas. En la última versión de la revisión bibliográfica de Pfundt y Duit (1998) sobre los estudios que se hacen en torno a las concepciones alternativas sólo aparecen once relacionados con el enlace químico.

Se piensa que la mayoría de las concepciones alternativas sobre enlace químico se "aprenden" en la escuela, dado que por lo abstracto del concepto, es difícil que los estudiantes tengan una idea fuera del salón de clases sobre éste, es de esperarse que los estudiantes tengan concepciones alternativas sobre este tema, no sólo porque lo revisan en secundaria, sino también porque cuando se comienza el estudio de este tema, ya se han visto conceptos relacionados como átomo, molécula, naturaleza particular y eléctrica de la materia, entre otros. Es muy importante entonces generar una comprensión sobre la forma en la que los estudiantes construyen este concepto partiendo de sus concepciones alternativas y siguiendo una secuencia de instrucción determinada, basada fundamentalmente en la lógica de la disciplina.

El objetivo de este trabajo es profundizar en la comprensión que tienen los estudiantes del nivel bachillerato sobre el enlace químico y encontrar cómo ésta se modifica a partir de la enseñanza utilizando una estrategia didáctica planeada a partir de la lógica de la disciplina y de los hallazgos encontrados en la literatura sobre concepciones alternativas en el tema y la construcción de estrategias didácticas, dentro del marco de trabajo del constructivismo.

El trabajo aquí presentado, consta de seis capítulos:

- En el primero, se hace explícita la posición constructivista bajo la cual se realizó esta investigación y se hace un análisis sobre la importancia de las concepciones alternativas en el aprendizaje de las ciencias. Se hace también un análisis del concepto de enlace químico y su relevancia en el estudio de la química, así como de las investigaciones relativas a las concepciones alternativas sobre este tema realizadas hasta el momento.
- En el segundo capítulo, se hace un recuento de la investigación realizada sobre el cambio conceptual, así como de las diferentes posiciones existentes sobre éste. Es importante entonces, delimitar la posición que se utilizó para construir la estrategia propuesta.
- En el tercer capítulo, se hace un recuento sobre las estrategias de enseñanza diseñadas para el cambio conceptual reportadas en la literatura, tratando de encontrar los elementos comunes y se explicita de qué forma se construyó la estrategia que utilizamos
- En el capítulo cuatro, se define la metodología utilizada en el estudio y se describen los instrumentos de investigación.
- En el capítulo cinco, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas antes y después de aplicar la estrategia de enseñanza y se hace un análisis de las entrevistas y las observaciones de clase, tratando de encontrar algunas categorías que nos indiquen de qué formas los estudiantes comprenden el concepto de cambio conceptual y de qué formas la estrategia de enseñanza promueve el aprendizaje.
- Finalmente, en el capítulo seis, se revisan las conclusiones del trabajo y se proponen algunas direcciones de investigaciones futuras.

Capítulo 1

LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS Y EL CONCEPTO DE ENLACE QUÍMICO

En este capítulo hacemos una breve presentación del marco constructivista bajo el que se inscribe este trabajo de tesis, para después describir el marco general de la investigación realizada en la enseñanza de las ciencias sobre las concepciones alternativas. Posteriormente hacemos un análisis de la importancia del concepto de enlace químico y de las concepciones alternativas en torno a éste que se han reportado en la bibliografía.

1.1 Acerca de la posición constructivista

La perspectiva tradicional de la educación, largamente establecida, sostiene como imagen dominante la transmisión de un conocimiento lógicamente organizado del maestro y del texto a los estudiantes en un camino unidireccional (Hawkins, 1994). Por otro lado, la perspectiva constructivista sobre el aprendizaje, sostiene que los individuos construyen y reestructuran sus esquemas del mundo, a través de su propia actividad mental y como resultado de la experiencia con diversos fenómenos e interacciones sociales (Driver, 1996).

Bajo esta perspectiva, el aprendizaje es un proceso activo, en donde el que aprende es quien construye sus aprendizajes más que ser el recipiente pasivo de un conocimiento determinado (Taber, 1997a). En lugar de que el conocimiento exista en el exterior de quien aprende, y que los profesores sean los transmisores de ese conocimiento, el constructivismo sostiene que el conocimiento existe únicamente en nuestras cabezas, donde es construido por cada uno de nosotros en nuestra muy personal manera de hacerlo (Herron, 1996).

A pesar de que existen diversas posiciones acerca del constructivismo, todas ellas comparten un principio fundamental: *"el conocimiento no se recibe de forma pasiva, sino que es construido activamente por el sujeto que conoce"* (Von Glaserfeld, 1989), reconociendo así, que el proceso de conocer es activo, individual y personal y que se basa en el conocimiento previamente construido (Ernest, 1989).

Asumimos en este trabajo que cada individuo tiene una estructura cognitiva única, resultado de la construcción personal, en la que cada uno de los sujetos ordena su ambiente, su memoria y sus percepciones en una especie de patrón que actúa como un marco de trabajo que le permite encontrar sentido en sus experiencias futuras (Taber, 1997a). La estructura cognitiva se entiende como los hechos, conceptos, proposiciones, teorías y datos perceptuales que el que aprende tiene disponibles en un momento determinado y la forma en cómo éstos están ordenados.

Asumimos también, que el proceso de construcción de conocimiento se lleva a cabo mediante una serie de pasos y que para lograrlo deben lograrse vencer una serie de obstáculos que pueden tener orígenes diversos y que son aspectos de la estructura cognitiva existente que interfieren con el aprendizaje efectivo durante la enseñanza de las ciencias.

1.2 El enfoque de las concepciones alternativas

La estructura cognitiva existente del sujeto que aprende debe ser considerada como una variable muy importante en cualquier episodio de aprendizaje. De hecho, puede considerarse, de acuerdo con Ausubel (1973), que lo que el alumno ya sabe será lo más importante a considerar cuando se decide qué se enseña.

Comenzando con el trabajo de Piaget en 1920 y hasta la actualidad, se ha hecho un enorme esfuerzo por tratar de comprender las formas en las que los estudiantes comprenden el mundo natural y así mismo, lo que los maestros necesitan hacer para facilitar esta comprensión. El auge en el estudio de las concepciones alternativas comenzó a mediados de los 70s¹ y continuó hasta principios de los 90s¹, tiempo a partir del cual, los investigadores comenzaron a buscar nuevas líneas de investigación.

Desde un punto de vista constructivista, las concepciones de los estudiantes sobre determinados fenómenos naturales son relevantes en el momento en que se pretende enseñar conceptos relacionados con éstos o profundizar en los mismos. De ahí que en las décadas pasadas haya habido un auge importante en el estudio de las concepciones que los estudiantes tienen sobre diversos conceptos científicos, que denominaremos en este trabajo como "concepciones alternativas". Las concepciones alternativas han recibido un sinnúmero de nombres, como "ideas previas", "esquemas alternativos", "esquemas de representación", "preconceptos", "errores conceptuales", "teorías de los niños", "creencias ingenuas", "modelos personales de la realidad", "versiones personales de la ciencia", "ideas erróneas", "concepciones precientíficas", entre otros. (Wandersee *et al.*, 1994). Nosotros preferimos el término "concepciones alternativas" porque apunta que se trata de una concepción estudiantil que es alterna al conocimiento científico, que bien pudo adquirirse antes del estudio científico (teoría de los niños, idea previa, preconcepto) o a raíz de la inmersión del estudiante en un curso de ciencia, habiendo asimilado equivocadamente algún concepto (error conceptual).

Entendemos por "concepciones alternativas" las que los sujetos construyen para interpretar y explicar sucesos naturales cotidianos (Garritz, 2000) y que no son coincidentes con las posturas científicas al respecto. Han sido motivo de investigación desde finales de los años sesenta debido a que, por un lado, son distintas a las explicaciones científicas y, por el otro, no son ideas simples que

cambien al enseñar ciencia en la escuela. Su persistencia puede durar muchos años, hasta el nivel universitario inclusive, en el que se ha encontrado alumnos que presentan creencias no correspondientes con lo que se les ha enseñado en sus cursos de ciencias, a pesar de ser estudiantes regulares que habían supuestamente desarrollado las habilidades requeridas para aprobar esos cursos.

Las concepciones alternativas no se refieren solamente a explicaciones construidas por los estudiantes basadas en sus experiencias, de forma que le permitan hacer una serie de fenómenos inteligibles, sino que también son contextualmente válidas y racionales y pueden eventualmente guiarlo hacia concepciones más fructíferas como las concepciones científicas.

Wandersee *et al* (1994), han propuesto algunas características importantes de las concepciones alternativas de los estudiantes, a partir de una revisión extensa de la literatura existente hasta ese momento:

1. Los estudiantes se acercan al aprendizaje de la ciencia formal con una serie muy diversa de concepciones alternativas que conciernen a los objetos naturales y a los fenómenos.

La investigación sobre las concepciones alternativas, se ha centrado en encontrar cuáles son las concepciones de los estudiantes en diversos campos. De los más de 3000 estudios sobre dificultades de aprendizaje de las ciencias recopilados por Pfundt y Duit (1998), 70% caen en el dominio de la física, 20% en el de la biología y únicamente 10% en el de la química, lo cual habla seguramente de una investigación incompleta aún en estas dos últimas áreas. Mencionan Pfundt y Duit que las ideas previas relacionadas con la química han surgido primordialmente en los siguientes tópicos: a) visiones del cambio químico y reacciones, b) visión de las partículas como átomos y moléculas, c) equilibrio químico, d) modelos y

representaciones de reacciones químicas, e) ácidos y bases, f) combustión, g) electroquímica y h) el concepto de mol.

2. Las concepciones alternativas son compartidas por estudiantes de diversas edades, habilidades, sexo, y diferencias culturales.

Existen en general, unas pocas tipologías en las que puede clasificarse la mayor parte de las concepciones alternativas en un área dada (Pozo *et al*, 1991). Aunque se han hecho algunos estudios con estudiantes de distintos países, así como de distintos sexos, el factor más investigado ha sido el de la edad, que es en sí mismo un factor problemático, ya que se puede confundir con otras variables como los distintos niveles y calidad de la enseñanza. Se ha podido ver, que algunas concepciones alternativas cambian dramáticamente con la edad mientras que otras cambian muy poco con el tiempo.

3. Las concepciones alternativas son estables y resistentes al cambio, utilizando métodos convencionales de enseñanza.

Estas concepciones pueden persistir, aún después de muchos años de instrucción científica. Se han identificado estas concepciones no sólo en estudiantes sino en adultos y entre universitarios, aún dentro de su especialidad. Es importante mencionar, que, aún cuando muchas concepciones alternativas son resistentes al cambio, existen algunas que por ser explicaciones intuitivas a fenómenos físicos como el movimiento de los cuerpos, son aún más resistentes. Esta distinción, puede tener un impacto profundo en el diseño de estrategias que pretendan su cambio.

4. Las concepciones alternativas presentan paralelismos con las explicaciones de fenómenos naturales que filósofos y científicos eminentes de tiempos pasados han dado de los fenómenos naturales

La hipótesis fundamental de Piaget (1970) de la epistemología genética, es que existe un paralelismo entre el progreso realizado en la organización lógica y racional del conocimiento y el correspondiente proceso psicológico. De los estudios que se han realizado tratando de encontrar paralelismos históricos, la mayoría corresponden al campo de la física, aunque existen algunos en el campo de la biología y menos aún en el de la química. Esta característica de las concepciones alternativas ha demostrado la importancia del estudio de la historia de las ciencias y a su vez, ésta ha sido reconocida como una estrategia importante para los procesos de enseñanza. Así, se reconoce actualmente que el conocimiento del proceso de construcción y comunicación de nuevas representaciones científicas tiene el potencial de proporcionar una importante penetración para la educación científica. Un científico individual o un grupo deben aprender cómo construir una clase particular de representación sobre un dominio científico dado y entonces deben instruir al resto de la comunidad en esa nueva representación. De la misma forma, el aprendizaje estudiantil de una representación científica debe ser una construcción activa: los alumnos deben formar nuevos conceptos y nuevas relaciones entre los conceptos existentes e integrar la nueva representación a tal grado que puedan hacer uso de ella (Nersessian, 1989).

5. Las concepciones alternativas se originan en una serie diversa de experiencias que incluyen observación directa y percepción, la cultura de sus pares y el lenguaje, así como las explicaciones y materiales de instrucción.

Una revisión de los orígenes de las concepciones alternativas, puede solamente ser especulativa, ya que la evidencia de sus orígenes sólo se encuentra inferencialmente, sobre todo en los casos en que la concepción alternativa se deriva de la percepción y la observación directa. Debemos tener en cuenta que el

constructivismo considera que cada persona construye significados alrededor de los objetos y eventos con los que tiene contacto directo e inmediato.

Si bien, se piensa que los materiales y el tipo de instrucción influyen de forma definitiva en lo que el estudiante aprende, la presencia de concepciones alternativas, mucho tiempo y muchos cursos después de que se han estudiado una serie de conceptos en la clase de ciencias, contradice este supuesto. Gilbert (1982) plantea que cuando el estudiante se enfrenta a la clase de ciencias, se pueden obtener diversos resultados:

- a) Algunas veces, el resultado es unificar la concepción de los estudiantes con la concepción científica, logrando que los significados aprendidos sean cercanos a lo que se pretendía.
- b) Existe la posibilidad de que después de la instrucción, se generen dos perspectivas diferentes para un mismo fenómeno, donde las concepciones preexistentes y el material aprendido coexisten.
- c) Algunas veces, las concepciones de los estudiantes permanecen inalteradas por la enseñanza.
- d) Existe la posibilidad de que se refuercen las concepciones alternativas de los estudiantes, debido a que el material que se presenta es (mal)entendido de forma que apoya las ideas existentes de los estudiantes
- e) Algunas veces ocurre un aprendizaje parcial de las ideas, de forma que las ideas nuevas no son integradas del todo en la estructura del alumno y pudieran resultar contradictorias.

De acuerdo con Driver (1994), el camino entre las concepciones de los estudiantes y las concepciones científicas puede involucrar una serie de "nociones intermedias" o "concepciones intermedias", de forma que el progreso de los estudiantes puede seguir una trayectoria conceptual, definida como una secuencia

de conceptualizaciones que nos dan una idea de los pasos significativos sobre la forma en la que el conocimiento dentro de un campo es representado.

Como ya señalamos anteriormente, el estudio de las concepciones alternativas de los estudiantes ha sido un campo ampliamente explotado desde la década de los ochenta, sin embargo, ha existido poco rigor metodológico, lo que ha llevado a una diversidad de resultados, ya que normalmente se investiga las concepciones de los estudiantes sobre un tema en un momento particular. De acuerdo con Gabel (1994), ya no es necesario hacer un mayor número de investigaciones que reporten las concepciones de los estudiantes sobre un tema particular, sino más bien, debemos tratar de encontrar cuáles son los orígenes de estas concepciones o cómo utilizarlas de forma efectiva para planear una secuencia de instrucción.

1.3 El concepto de enlace químico

La química, si bien es una ciencia empírica, tiene una estructura teórica extensa y rica. Los conceptos clave en la química muchas veces se derivan de la compleja estructura teórica de la disciplina. En el caso, por ejemplo, de conceptos como enlace químico, agente oxidante o ácido, no hay una definición única, como existe para algunos conceptos de la física (por ejemplo, momentum), sino una serie de significados de diferente sofisticación y que son aplicables en diferentes contextos específicos (Taber, 1997a). Este aspecto de la química puede ocasionar que el estudiante, al no poder adquirir los conceptos fundamentales con los que explique el resto de los conceptos en química, tienda a memorizar o repetir los conceptos que aprende, sin alterar, ni siquiera parcialmente su estructura cognitiva.

En el caso del enlace químico (Taber, 1997a), se señala que los químicos actualmente usan teorías aparentemente incompatibles para explicar el enlace, eligiendo la teoría que será más exitosa para explicar el fenómeno en cuestión, de hecho, el mejor modelo depende del compuesto que se estudie. Car (1984),

sugiere que en química la confusión de modelos diversos puede ser un problema más importante que la existencia misma de concepciones alternativas.

Las concepciones alternativas de los estudiantes sobre enlace químico, en general, no puede considerarse que se forman fuera del salón de clases, dado el nivel de abstracción de este concepto y que las experiencias de los estudiantes con el enlace químico son muy indirectas. De hecho, podríamos decir que los estudiantes pueden tener una noción de la palabra enlace (algo que pega, que une), sin embargo, sin tener una noción de la estructura de la materia a nivel molecular, es muy poco probable que se desarrollen concepciones alternativas sobre el enlace químico.

De modo que, podemos atribuir las concepciones alternativas de los estudiantes, en gran medida, a la forma en la que el tema es abordado en el salón de clases, los materiales que se utilicen, y sobre todo, a la representación que el estudiante construya sobre este concepto. Es muy importante señalar que el tema de enlace químico, se ve rodeado de muchos temas diversos que debieran ser plenamente comprendidos para entender el enlace químico, entre ellos podemos encontrar: átomo, molécula, compuesto, carga y fuerza eléctrica, atracción, repulsión, entre otros. La representación que el estudiante tenga de cada uno de estos conceptos (que se estudian de manera previa al tema de enlace) puede resultar determinante para la forma en la que se aprende este nuevo concepto.

Para muchos investigadores, el concepto de enlace químico es considerado crucial dentro de la química (Pauling, 1992) ya que de su correcta comprensión depende que el estudiante pueda desarrollar con éxito otras áreas de la química e incluso de la biología. Dice Pauling explícitamente que "el concepto de enlace químico es el concepto más valioso en química. Su desarrollo en los pasados 150 años ha sido uno de los grandes triunfos del intelecto humano".

Sin embargo, muchos miembros de la comunidad química son de la idea de Kutzelnigg (1984), quien indica que "el enlace químico es un fenómeno altamente complejo que elude todos los intentos de una descripción sencilla". Concluimos que el tema del enlace químico resulta ser importante, aunque complejo.

Sin embargo, el concepto de enlace químico no ha sido suficientemente estudiado (De Posada, 1999), en cuanto a las concepciones alternativas que los estudiantes tienen sobre él, Taber (1997a) señala que esto puede deberse a la complejidad del tema, a la inexistencia de concepciones alternativas y a la cantidad de conocimiento previo que debe comprenderse para entender este concepto. Como podemos ver, al ser ésta un área compleja de investigación, podemos sugerir nuevas y más productivas formas de abordar el tema.

1.4 Un resumen de los hallazgos en la bibliografía

1.4.1 El marco de trabajo de la regla del octeto

Si bien, hemos mencionado que la cantidad de estudios realizados alrededor del tema de enlace químico es muy pequeña, sobre todo si la comparamos con la investigación realizada sobre otros conceptos, hemos encontrado algunos estudios que arrojan datos muy interesantes sobre la forma en la que los estudiantes comprenden este concepto. En general, los estudios se dirigen hacia la investigación de cómo se comprende un modelo particular de enlace, (metálico, iónico o covalente). Aunque el estudio realizado por Taber (1997a), muestra un interés por comprender los marcos alternativos de trabajo con los que el estudiante explica el enlace químico en general. Taber (1999), ha encontrado que para explicar el enlace, los estudiantes comúnmente utilizan un marco de trabajo alternativo, derivado de la regla del octeto; este marco se basa en el principio de que las reacciones químicas se llevan a cabo y los enlaces se forman para permitir que los átomos tengan órbitas externas completas de electrones. El razonamiento

científico de este principio podría presentarse en términos de minimizar la energía libre, explicado a través de un mecanismo que surge de las interacciones electrostáticas entre las especies que reaccionan. Sin embargo, los estudiantes parecen entender las reacciones químicas en términos de la "necesidad" de los átomos de tener capas completas u octetos. En estos estudios, se ha encontrado que los estudiantes reconocen sólo dos tipos de enlace como verdaderos: los covalentes y los iónicos. Dado que el marco de trabajo del octeto sólo proporciona un modelo coherente para el enlace iónico y covalente, los estudiantes clasifican los enlaces metálicos, polares y los puentes de hidrógeno como alguna otra cosa distinta de verdaderos enlaces químicos.

En la siguiente sección, resumimos los hallazgos, siguiendo los modelos con los que tradicionalmente se explica el enlace químico.

1.4.2 Enlace covalente

Peterson y Treagust (1989), desarrollaron un instrumento de opción múltiple para poder conocer las concepciones de los estudiantes de grados 11 y 12 respecto al tema del enlace covalente. Resumen las concepciones alternativas estudiantiles en seis conjuntos: Polaridad del enlace, forma molecular, fuerzas intermoleculares, polaridad de las moléculas, regla del octeto y estructuras continuas covalentes. Mencionaremos algunas de las concepciones alternativas de los estudiantes, en el entendido de que prácticamente todas ellas son concepciones que un científico caracterizaría como "erróneas". Por lo menos 20% de los alumnos de los grados 11 y 12 mostraron estas concepciones en cuatro de los seis conjuntos de concepciones alternativas:

Polaridad del enlace

- ◆ La compartición igual del par electrónico tiene lugar en todo enlace covalente.
- ◆ La polaridad de un enlace depende del número de electrones de valencia de cada átomo involucrado en el enlace
- ◆ La carga iónica determina la polaridad del enlace

Forma molecular

- ◆ La forma de una molécula se debe a una repulsión idéntica entre sus enlaces
- ◆ La polaridad del enlace determina la forma de una molécula
- ◆ La forma en V de la molécula SCl_2 se debe a la repulsión entre los pares electrónicos no enlazantes

Fuerzas intermoleculares

- ◆ Las fuerzas intermoleculares son las fuerzas dentro de una molécula
- ◆ Existen fuerzas intermoleculares fuertes en un sólido covalente continuo
- ◆ Los enlaces covalentes se rompen cuando una sustancia cambia de forma

Polaridad de las moléculas

- ◆ Se forman moléculas no-polares cuando los átomos en la molécula tienen todos electronegatividades similares
- ◆ Moléculas como el OF_2 son polares porque los electrones no enlazantes del oxígeno forman una carga negativa parcial.

Este mismo cuestionario fue aplicado por Birk y Kurtz (1999) quienes encontraron que para el caso de estudiantes de preparatoria, el resultado está muy cerca del nivel estadístico para adivinar las respuestas, por lo que no fueron tomados en cuenta para el análisis. Para ellos, al nivel de bachillerato no parecen tener ninguna comprensión acerca de la estructura molecular y el enlace químico, ya sea porque no están intelectualmente preparados para manejar este tipo de temas

tan abstractos o porque sus experiencias de aprendizaje son muy pobres. En su análisis estudian sujetos desde el primer año de la licenciatura, pasando por estudiantes de posgrado y profesores para darse cuenta que las concepciones alternativas desaparecen paulatinamente sin llegar nunca a un 100% de aciertos. Dado que el cuestionario utilizado en estos estudios se basa en gran parte en la teoría de la repulsión de pares electrónicos en la capa de valencia (VSPR, por sus siglas en inglés) para predecir la forma de una molécula y que estos temas están fuera del temario del CCH, hemos decidido no tomar en cuenta las preguntas realizadas por ellos para el análisis que hacemos en este trabajo.

De Posada (1999), realizó una investigación entre estudiantes de 15 a 18 años sobre las concepciones alternativas respecto a los diversos tipos de enlace. En el caso de las sustancias moleculares, encontró que en el caso en el que se les pide que dibujen a nivel atómico una botella llena de átomos de oxígeno, el 20% de los estudiantes más pequeños dibuja átomos sin espacio entre ellos, presentando una visión continua de la materia. Al tratar de explicar a qué se debe que se unan los átomos, la tercera parte de los estudiantes atribuye la unión a las diferentes cargas situadas en los átomos, muchos de los estudiantes (3 de cada 4 en los mayores), responden que se unen debido al enlace, sin embargo, no tratan de profundizar en sus respuestas. Respecto a las fuerzas intermoleculares, sólo un estudiante de cada cuatro afirma que las moléculas se unen mediante fuerzas de Van der Waals, los restantes aducen la unión entre moléculas a enlaces en algunos casos covalentes y otros responden que las moléculas no se unen de ninguna manera.

Furió y Calatayud (1996) mencionan toda una serie de dificultades que presentan los alumnos en el tema de geometría y polaridad de las moléculas. Concluyen que la mayoría de las concepciones alternativas pueden ser explicadas por la dificultad de la visualización tridimensional y por la percepción y la metodología en la resolución de problemas.

Taber (1998), ha encontrado que los estudiantes que explican el enlace covalente de acuerdo al marco de trabajo del octeto, tienden a pensar que en el enlace covalente los átomos comparten electrones para obtener capas externas completas y que estos electrones vuelven a sus átomos de origen una vez que los enlaces se rompen. Del mismo modo, consideran que un electrón no puede ser removido de un átomo que tenga una capa exterior completa. En otro estudio realizado por Taber (2000), se ha demostrado que los estudiantes utilizan diversos marcos de trabajo para explicar el enlace: los átomos se unen para tener capas externas completas; para tener un nivel más bajo de energía; o debido a las atracciones entre partículas cargadas. Taber sostiene que los estudiantes pueden tener marcos de trabajo diferentes que son congruentes y coherentes (en forma de una teoría) y que son utilizados por el estudiante para explicar algunos fenómenos. Muchas veces, se utilizan los tres marcos de trabajo de forma simultánea, mientras que otras veces el contexto del problema o pregunta provoca el uso de uno u otro marco. La relevancia del estudio de Taber radica en que si bien los estudiantes muchas veces aplican diferentes concepciones a un mismo concepto, lo que resulta en un pensamiento incoherente, fragmentario y fuertemente influenciado por el contexto, otras veces, los estudiantes pueden tener una serie de concepciones que son cada una de ellas estable y coherente internamente y que puede aplicarse a una diversidad de fenómenos. Taber sostiene que el conocimiento sobre el enlace químico está de alguna forma fragmentado y compartimentalizado dentro de la estructura cognitiva, sin embargo, el hecho de suponer que existen diversas concepciones que los estudiantes utilizan para explicar un mismo fenómeno puede verse como una forma de tratar de entender hasta qué grado el conocimiento está fragmentado dentro de un dominio específico del conocimiento científico abstracto.

1.4.3 Enlace iónico

Taber (1994 y 1997a y b), ha realizado estudios para entender las concepciones de los estudiantes acerca del enlace iónico, encontrando que los estudiantes explican este enlace de acuerdo a tres conjeturas distintas:

- **La conjetura de la valencia:** la configuración electrónica determina el número de enlaces iónicos que se forman. Por ejemplo, en el caso del cloruro de sodio, la conjetura de la valencia limita al sodio y al cloro a formar un solo enlace iónico puesto que dichos iones tienen una carga de magnitud uno.
- **La conjetura *histórica*:** los enlaces se forman sólo entre los átomos que aceptan y donan los electrones. De esta manera, se paga un precio por la historia en la que estuvo involucrado el electrón transferido: sólo quedan unidos los iones involucrados en la transferencia electrónica, no existe enlace iónico entre los otros iones de la malla.
- **La conjetura de *solamente fuerzas*:** los iones interactúan con los demás iones a su alrededor pero no se encuentran unidos por un enlace iónico sino solamente "por fuerzas". Así, se forman dos tipos de enlaces: uno de ellos iónico, entre los iones involucrados en la transferencia electrónica, y el otro como una fuerza, de magnitud menor, entre los iones de diferentes cargas no involucrados en la transferencia electrónica. Casi dos quintas partes de los alumnos señalan que "en el diagrama un ion cloruro está atraído a un ion sodio por un enlace y es atraído a otros iones sodio sólo por fuerzas".

Para Taber, el uso de estas tres conjeturas demuestra que existe un marco de trabajo molecular, dado que se perciben pequeños grupos de iones dentro de la red cristalina unidos el uno al otro pero solamente atraídos al resto de los grupos,

tal como en un sólido molecular. El uso de este marco de trabajo puede originarse en la forma en la que se enseña el enlace iónico: haciendo énfasis en el proceso de formación de iones y omitiendo o ignorando la estructura cristalina de estos compuestos y las múltiples interacciones multidireccionales existentes entre todos los iones presentes.

Taber (1997b) concluye que muchos estudiantes de química, para el enlace iónico:

- Utilizan un énfasis exagerado en el proceso de transferencia electrónica.
- Usan explícita o tácitamente, una noción de pares – iónicos como moléculas.
- Emplean un enfoque restringido por una inapropiada consideración de la valencia.
- Prestan atención a una irrelevante "historia del electrón".
- Distinguen entre lo que son realmente interacciones equivalentes entre iones.

De Posada (1999), ha encontrado, en una población de estudiantes de entre 15 y 18 años, la falta de uso de la palabra ion de forma espontánea, los conceptos de ion y átomo parecen muy similares para los alumnos. El 28% de los alumnos mayores, al pedirles que dibujaran 10 KCl, dibujó moléculas de cloruro de potasio, indicando sus iones en algunos casos. El 37% dibujó una red, la tercera parte de estos estudiantes dibujó átomos y los restantes iones. En otro estudio, De Posada (1993) ha encontrado, al pedirles a los alumnos que dibujen la estructura interna de un cristal del cloruro de sodio, que éste muchas veces se representa como pequeñas partículas sin orden aparente, estas partículas pueden ser "moléculas" de sal, átomos, iones o pequeños pedazos de sal. Dos terceras partes de los estudiantes mayores, dibujan la red cristalina alternando átomos de cloro y sodio sin representar las cargas y una cuarta parte de los alumnos mayores sólo expone una pareja de iones o átomos juntos. Dado que éste no es el caso en los alumnos más pequeños, se piensa que ésta es una concepción que tiene su origen en las actividades de aprendizaje, al hacer un uso excesivo del proceso de formación de

los iones. Estos resultados concuerdan con los de Taber (1997b) quien explica algunas de las concepciones alternativas de los estudiantes a partir de la forma en que tradicionalmente se explica el enlace iónico. Los conceptos de red y de ion han sido poco asimilados por los estudiantes por lo que muchas veces resulta más utilizada la estructura molecular para explicar la estructura interna de sustancias simples. De Posada (1999), explica que una buena parte de los estudiantes se confunden por la manera en la que se representan las fórmulas químicas de los compuestos iónicos, que son equivalentes a aquellas de los compuestos moleculares, por lo que el estudiante necesita hacer una deducción sobre la naturaleza de los elementos presentes en el enlace, asunto nada sencillo para algunos de los alumnos.

Otro autor que ha contribuido a aclarar las concepciones alternativas estudiantiles en el tema del enlace químico ha sido Boo (1998), aunque sus hallazgos son repetitivos de los de Taber y De Posada.

1.4.4 Enlace metálico

Como sabemos, el modelo científicamente aceptado del enlace metálico involucra un conjunto de iones metálicos ordenados en un cristal y un mar de electrones libres que los mantienen unidos y que son los responsables de la conducción eléctrica cuando aparece una diferencia de potencial eléctrico en el sistema, así como de otras propiedades, tales como el brillo, la maleabilidad y ductibilidad, etc.

De Posada (1993), ha solicitado a los estudiantes que dibujen la estructura interna de un clavo de hierro. Algunos estudiantes dibujan pequeñas láminas o trozos del metal, el resto hace uso de términos como átomos, restos positivos y nube electrónica, partículas y moléculas. Los alumnos nombran la gran unión entre los constituyentes y el orden reinante. Algunos estudiantes, sin embargo, representan los restos positivos sin la nube electrónica, otros representan la nube electrónica

con átomos neutros. La disposición de los electrones también fue distinta, ya que en algunos casos, los situaban de forma homogénea entre las partículas, otros en los huecos formados y algunos alrededor del conjunto de partículas. En la mayoría de los casos, se puede apreciar una concepción corpuscular de los electrones.

En otro estudio (De Posada, 1999), ha solicitado a los estudiantes dibujar diez partículas de calcio (Ca). Ninguno de los estudiantes más pequeños dibujó una red, mientras que la mayoría de los estudiantes más grandes dibuja una red compuesta por átomos y sólo una pequeña proporción dibuja una red metálica. En un estudio comparativo (De Posada, 1997), se encuentra que a pesar de que aproximadamente el 30% de los estudiantes mayores dibujan la estructura del metal de acuerdo al modelo del mar de electrones en el caso del hierro, solamente un número muy pequeño de estudiantes hace lo mismo en el caso del calcio, probablemente por el contexto abstracto de éste último, ya que el estudiante debe hacer inferencias teóricas que relacionen la fórmula química con la estructura interna.

De Posada (1997), pide a los estudiantes que expliquen, a nivel atómico, cómo el metal puede conducir la electricidad dentro de un circuito. Para explicar a qué se debe que los metales conduzcan la electricidad, los estudiantes de 10º grado dieron respuestas muy distintas. En el grado 11, las concepciones alternativas fueron menos comunes y aproximadamente el 50% daba una respuesta basada en el modelo del mar de electrones. Muchos estudiantes, sin embargo, dibujaban átomos en lugar de cationes. Algunos estudiantes piensan que la corriente eléctrica ocurre por el choque de electricidad de los polos negativos y positivos de la batería, otros piensan que la carga de la batería se transfiere al metal y algunos explican que se debe a las diferencias de temperatura entre la batería y el metal. Algunos otros manifiestan que desde un punto de vista microscópico, los átomos permiten que la corriente pase a través de ellos de forma pasiva, mientras que otros lo explican por su movimiento y su desorden. Otros estudiantes argumentan

que los átomos intercambian partículas subatómicas para transmitir la corriente eléctrica, algunos hablan de transferencia de energía entre los átomos, finalmente, algunos mencionan que la causa de la conducción eléctrica en metales se debe a las nubes de electrones. A la pregunta sobre la naturaleza de la corriente eléctrica en los metales, los estudiantes utilizaron cuatro "esquemas" comunes:

- a) la corriente eléctrica es energía.
- b) los electrones conducen la corriente eléctrica; de acuerdo a este esquema, la corriente eléctrica está de alguna forma relacionada con los electrones, pero esta relación no se define claramente porque la naturaleza de la corriente no ha sido totalmente comprendida. Dado que los estudiantes de 10º grado no presentan esta concepción que aumenta su aparición al incrementar la edad de los estudiantes, se piensa que puede ser inducida por las actividades de enseñanza.
- c) la corriente eléctrica se produce por el movimiento de las partículas; estas partículas pueden ser átomos, iones u otras no descritas.
- d) el flujo de electrones es la corriente eléctrica; el 36% de los estudiantes mayores (12avo grado) explican de esta forma la corriente eléctrica.

Como conclusión a este estudio, se encuentra que el enlace metálico no está suficientemente asimilado por los alumnos, dado que únicamente el 30% de los estudiantes de doceavo grado utilizan el modelo del mar de electrones de forma espontánea en una situación concreta, dado que la mayoría de los elementos constitutivos del modelo han sido olvidados. De acuerdo con el autor, esto puede explicarse a partir del tratamiento que numerosos libros de texto hacen del tema de enlace metálico (De Posada, 1999b), ya que en muchos casos, solamente lo definen sin hacer ninguna referencia a hechos concretos, de forma que es muy probable que el aprendizaje se dé de forma memorística más que significativa, con la consecuente pérdida de información. Una posible razón de que el enlace metálico no haya sido comprendido cabalmente por los estudiantes es el poco énfasis que encuentran Solbes y Vilches (1991) en los 48 libros de texto que

analizan en su estudio. Estos autores plantean que son pocos los textos que adoptan una visión unitaria del enlace y que a ello se deben muchas de las limitaciones didácticas y de los obstáculos epistemológicos con que se encuentran los alumnos.

Capítulo 2

SOBRE EL CAMBIO CONCEPTUAL Y LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

En este capítulo haremos una revisión sobre la perspectiva de investigación del cambio conceptual en la enseñanza de las ciencias, revisando las distintas posturas respecto a esta teoría. Trataremos de hacer un recuento de las formas en las que esta perspectiva de investigación ha tratado de incidir en la práctica en el salón de clases y en la construcción de estrategias de enseñanza.

2.1 El cambio conceptual en la investigación sobre la enseñanza de las ciencias.

El término cambio conceptual ha sido utilizado con muchos significados diferentes en la investigación sobre la enseñanza de las ciencias. Muchas veces, se entiende este término como un sinónimo de aprendizaje (Duit, 1999), sin embargo, en la gran mayoría de los enfoques constructivistas sobre la enseñanza y el aprendizaje, el cambio conceptual se entiende como una reestructuración mayor del conocimiento existente, representa un aprendizaje más profundo y difícil de lograr, comparándolo con el aprendizaje más cotidiano, en el que, se memorizan datos, o se aprenden más ejemplos sobre algo ya conocido (diSessa y Sherin, 1998).

El cambio conceptual, en términos de Piaget, se entiende como el proceso de acomodación, lo que implica una reestructuración mayor de las concepciones existentes en los estudiantes. Este término suele utilizarse para referirse al aspecto revolucionario del aprendizaje. Para Hewson (1996), el cambio

conceptual, describe el aprendizaje como un proceso en el que una persona cambia sus concepciones al incorporar concepciones nuevas, reestructurar las existentes o intercambiar sus concepciones existentes por otras nuevas. Algunos investigadores, sostienen que el cambio conceptual es un proceso que se da a lo largo de un continuo, que va desde la reestructuración débil hasta la reestructuración fuerte. El hecho de que aprender algo requiera un cambio conceptual (reestructuración fuerte) o una reestructuración débil, se debe, en gran medida a los conocimientos previos de quien aprende.

El crecimiento conceptual, se entiende como la ampliación de la red conceptual de forma que los conocimientos previos, así como las relaciones entre éstos permanezcan, en gran medida, intactos. En términos de Kuhn (1970), éste es el tipo de crecimiento que ocurre durante los periodos de ciencia normal, mientras que haciendo referencia al trabajo de Piaget, el crecimiento conceptual se relaciona con el concepto de asimilación (Duit y Confrey, 1996).

Los enfoques más actuales sobre el cambio conceptual (Vosniadou, 1999), señalan que, si bien, el cambio conceptual se entiende como un cambio radical, la evidencia empírica ha demostrado que las concepciones de los estudiantes no cambian "de golpe", sino más bien, los cambios que ocurren en el tránsito de una persona desde la condición de novato hasta la de experto, son graduales. La preocupación actual de muchos investigadores se centra en cómo es que cambios pequeños y graduales en la organización conceptual de un individuo le llevan a lograr reestructuraciones radicales a largo plazo, y en las implicaciones educativas que podrían tener estos hallazgos.

A pesar de todos los significados diferentes que pueda tener el término cambio conceptual, todos ellos están de acuerdo en que éste depende en gran medida de las concepciones previas del que aprende, por lo tanto, una enseñanza para el

cambio conceptual, debe estar fundada en una comprensión profunda de cómo es que los estudiantes aprenden (Hewson, *et al* 1998).

La teoría más influyente sobre cambio conceptual fue desarrollada inicialmente por un grupo de filósofos y educadores en ciencias (Posner *et al* 1982), intentando responder a la pregunta: "¿cómo es que los estudiantes hacen la transición desde una concepción inicial, C_1 hasta una concepción que la sucede, C_2 ?" En gran medida, la respuesta tiene relación con la noción piagetiana de acomodación y con lo que Kuhn (1970) ha llamado un cambio de paradigma. La teoría de cambio conceptual, establece analogías entre el desarrollo conceptual en la ciencia y en los individuos.

Desde esta teoría, las cuatro condiciones que permiten el cambio conceptual, son:

1. Insatisfacción con las concepciones existentes.
2. Una concepción nueva que resulte inteligible.
3. Una concepción nueva que aparezca inicialmente plausible.
4. Una concepción nueva que sugiera la aparición de un programa de investigación fructífero.

Hewson *et al* (1998), utilizan este modelo de cambio conceptual, como punto de partida, para pensar y discutir sobre la enseñanza como cambio conceptual, es decir, la enseñanza que explícitamente ayuda a los estudiantes a experimentar el proceso de cambio conceptual y que sigue lineamientos que son consistentes con este modelo, sin que esto quiera decir que solamente cuando explícitamente ocurra el cambio conceptual, éste ocurre.

Ellos discuten los conceptos centrales de este modelo: el estatus de las ideas y la ecología conceptual. El estatus que una idea tiene para un individuo, indica el grado hasta que ésta es aceptada y se relaciona directamente con su

inteligibilidad, plausibilidad y aplicabilidad desde el punto de vista del individuo. La metáfora de la ecología conceptual se basa en los postulados de Toulmin (1972) y refleja la idea de la estructura conceptual existente en un individuo de manera similar a los componentes de un ecosistema ambiental.

Esta idea tiene que ver con todo el conocimiento que una persona posee, reconoce que es de diferentes tipos y hace hincapié en las interacciones que existen entre todos los componentes. Identifica también el papel que estas interacciones tienen al definir "nichos conceptuales" que apoyan ciertas ideas (elevan su estatus) o las desaniman (disminuyen su estatus). Desde este punto de vista, aprender algo, significa que el que aprende ha elevado el estatus de una idea dentro del contexto de su ecología conceptual, lo que conlleva necesariamente la disminución del estatus de otras ideas relacionadas.

Es importante señalar que la teoría de cambio conceptual utilizada en el contexto de la enseñanza de las ciencias, no es la teoría inicialmente propuesta por Posner y sus colaboradores (1982). Si bien, el artículo que fue publicado en 1982, se considera "seminal" en el campo (diSessa y Sherin, 1998), los educadores en ciencias más prominentes actualmente, interpretan la teoría o modelo inicial desde una perspectiva diferente. Se discuten ahora muchos de los factores que Pintrich y sus colaboradores (1993), hicieron notar como relevantes para el cambio conceptual, tales como la motivación, las creencias de los estudiantes, las relaciones sociales que se establecen en la clase, la actitud hacia la ciencia, entre otros. Se reconoce que un cambio en las concepciones sobre ciertos contenidos, desde las ideas previas o concepciones alternativas, hasta las concepciones científicas, no puede hacerse solamente con base en argumentos lógicos, sino que la transformación de estas concepciones de los estudiantes sobre determinados contenidos (combustión, fotosíntesis, etc.) es determinada por concepciones muy diversas, por ejemplo las concepciones acerca de la naturaleza de la ciencia, así como de la enseñanza y el aprendizaje.

Del mismo modo, se hace énfasis en la importancia de considerar el proceso social mediante el cual los individuos aprenden. Preguntas sobre las características intersubjetivas o puramente individuales del proceso de conocimiento, así como sobre si el aprendizaje de la ciencia es un proceso de enculturación social o una actividad hecha solamente por individuos que construyen su conocimiento, son cada vez más tomadas en cuenta cuando se trata de comprender qué es lo que hace que los estudiantes transformen sus concepciones y cómo lo hacen (Hewson, 1998). O'Loughlin (1992), hace una crítica severa a los postulados del constructivismo radical y del estructuralismo piagetiano, tratando de aclarar, cómo, de muchos modos, estas formas de entender el proceso de aprendizaje, colocan al individuo en una posición desventajosa, respecto al maestro o al mismo conocimiento científico.

Tratando de resumir, el proceso de cambio conceptual debe ser visto como un proceso de enorme complejidad que depende de muchas variables interconectadas de forma muy cercana entre ellas, por lo tanto cualquier proceso de cambio conceptual debe estar situado dentro de una serie de condiciones que lo apoyen. Entre estas condiciones, encontramos la motivación, los intereses y creencias de los estudiantes y de los maestros, así como factores del ambiente de clase y las estructuras del poder (Duit, 1999).

De acuerdo con Pozo (1999), es evidente, a partir de la evidencia empírica, que las concepciones alternativas que los estudiantes tienen sobre temas determinados, son altamente persistentes. Incluso después de que estos estudiantes han pasado por la escuela secundaria, preparatoria y la universidad, muchos de ellos mantienen concepciones que no son consistentes con las concepciones científicas sobre los fenómenos estudiados. Esto, nos lleva a pensar que las concepciones personales no son reemplazadas en la mayoría de los estudiantes por la teoría científica enseñada. Sin embargo, aún cuando no exista

este reemplazo, esto no significa que no pueda haber algún tipo de cambio conceptual. Pozo, argumenta que el cambio conceptual no necesariamente implica el reemplazo de una concepción por otra, sino más bien la coexistencia e integración de diferentes representaciones que son utilizadas para distintas tareas.

De esta forma, debemos aceptar que después del aprendizaje de la ciencia pueden coexistir distintas representaciones y que éstas son utilizadas por el individuo de acuerdo al contexto en el que se encuentra.

Si bien, esta hipótesis es consistente con las teorías más recientes sobre representación cognitiva, tales como los modelos mentales, que ponen énfasis en la existencia de múltiples representaciones que compiten por su activación de acuerdo a la tarea o al contenido, aún no existe suficiente evidencia empírica para determinar la influencia de las variables contextuales en estos estudios. Aunque, los psicólogos cognitivos han logrado comprender cada vez mejor los procesos mentales que se llevan a cabo durante la actividad intelectual, estas investigaciones no proporcionan datos acerca de las variables externas que pueden ser manipuladas para mejorar el desempeño cognitivo y el cambio conceptual. El conocimiento de estas variables es necesario para guiar la investigación y la práctica educativa (Vosniadou, 1999).

De acuerdo con Taber (1997a), si toda la estructura conceptual de quien aprende tuviera que ser unificada, consistente y coherente, esto llevaría a una aproximación muy rígida del aprendizaje, ya que, una vez que se hubiera adquirido una concepción y que ésta tuviera representación en la estructura cognitiva, no sería posible aceptar ninguna concepción distinta sin descartar la original. Esta aproximación requeriría que tuviéramos un "verificador lógico" altamente efectivo que monitoreara toda la estructura de conocimiento y que pudiésemos tomar decisiones sobre descartar ideas que contradicen nuestro conocimiento existente de forma inmediata, ya fuera ignorando la nueva

concepción o descartando la existente. Dado que nuestras formas de conocer distan mucho de la perfección, un sistema cognitivo como éste no sólo sería muy inflexible, sino que, dada la cantidad de información disponible y que ésta es, muchas veces, incompleta o parece contradictoria, también sería altamente ineficiente.

Preferimos por ello, acercarnos al proceso de aprendizaje con una postura más flexible, que nos permita suponer que los resultados de los procesos de cambio no son únicos, sino que dependen de diversos aspectos más allá de los puramente racionales y que, además incluso cuando hay cambios en las concepciones, éstos no son necesariamente totales. Más bien, estamos de acuerdo con Hewson (1996), en el sentido de que una persona cambia sus concepciones al incorporar concepciones nuevas, reestructurar las existentes o intercambiar sus concepciones existentes por otras nuevas. De hecho, de acuerdo con Duit (1999), las aproximaciones más recientes al fenómeno del cambio conceptual, han dejado de sostener la idea del reemplazo de una concepción por otra, sino más bien sostienen que el cambio conceptual no es un intercambio, sino un desarrollo de nuevas concepciones que son fructíferas, inicialmente en contextos particulares, mientras que las concepciones anteriores siguen siendo valiosas en otros contextos. Comprendida de esta forma, la instrucción científica no debería tratar de cambiar las concepciones que se usan todos los días y que nos permiten "funcionar" en el mundo, por las concepciones aceptadas por la ciencia, sino más bien, hacer conscientes a los estudiantes de que en contextos específicos y para propósitos particulares, las concepciones científicas resultan ser más valiosas y fructíferas que las suyas.

2.2 Las distintas posturas respecto al cambio

Si bien, todas las teorías del cambio conceptual resaltan la importancia de las concepciones de los estudiantes, ya sea específicamente sobre los contenidos o

sobre aspectos relacionados, tales como las concepciones acerca de la ciencia y las actitudes y creencias de los estudiantes, lo relativo a la forma de lograr este cambio, es aún objeto de una amplia discusión (Hewson et al, 1998). Para Nersessian (1988), es claro que las estructuras conceptuales preexistentes deben ser modificadas durante la instrucción, sin embargo, la forma en que deben modificarse no es nada clara.

Las aproximaciones constructivistas a la enseñanza contienen una amplia serie de cambios comparándolas con la enseñanza "tradicional" en ciencias. En general, todas intentan hacer el aprendizaje de la ciencia un proceso más significativo para los estudiantes y favorecen que éste tome la responsabilidad sobre su proceso de aprendizaje. El cambio conceptual está en el centro de todas estas aproximaciones y se pueden mencionar algunas condiciones que de alguna forma facilitan la consecución de los objetivos planteados por estas aproximaciones.

Para que pueda lograrse el cambio conceptual (Duit, 1999), éste debe darse dentro de una serie de condiciones, por ejemplo: tratar de que los contenidos enseñados estén relacionados con la vida de los estudiantes de forma que éstos puedan entender los fenómenos naturales y técnicos que les rodean y que impactan sus vidas. Del mismo modo, es importante que los estudiantes puedan entender que la ciencia y las teorías científicas dependen fuertemente del contexto en el que se crean y se utilizan. El aprendizaje de la ciencia debe ser metacognitivo, es decir, debe permitir que los estudiantes reflexionen sobre lo que aprenden y sobre la forma cómo lo aprenden. Otro aspecto que apoya el cambio conceptual, es el ambiente del salón de clases en el que se lleva a cabo. Las estrategias de aprendizaje, deben permitir que el estudiante sea el responsable de su proceso de aprendizaje y que su experiencia con el conocimiento científico sea significativa. El ambiente de clase debe, además promover un ambiente en donde el estudiante sea más autónomo, centrado en él mismo, es decir, que le permita un desarrollo más completo.

En general, podemos decir, que hasta el momento se habla fundamentalmente de dos caminos por los que los estudiantes pueden transitar desde las concepciones alternativas hasta las concepciones científicas. Estos se denominan como continuos y discontinuos.

En los enfoques discontinuos, existe un contraste muy fuerte entre las concepciones de los estudiantes y las concepciones científicas, las estrategias de conflicto cognitivo juegan un papel fundamental desde este punto de vista, ya sea mediante el contraste entre las predicciones de los estudiantes y los resultados de un experimento, o bien, mediante el contraste entre las ideas de los estudiantes y las del maestro o el conflicto en las creencias de los estudiantes.

Existen muy diferentes perspectivas sobre el papel que juega el conflicto cognitivo y su importancia en el proceso de aprendizaje; mientras algunos piensan que permite que los estudiantes reconozcan sus propias concepciones como problemáticas, otros piensan que muchas veces este conflicto no es visto o experimentado por los estudiantes, haciéndolo entonces inútil para fines de aprendizaje. diSessa (1993), argumenta que, dado que las concepciones alternativas de los estudiantes no constituyen un cuerpo ordenado y coherente de conocimientos, sino más bien, representan un cuerpo fragmentado, tratar de producir un conflicto cognitivo no tiene ningún sentido. Para que el conflicto cognitivo pueda ser efectivo, debe existir suficiente conocimiento preexistente, para que éste y el nuevo conocimiento sea comprendido por los estudiantes (Duit, 1999). Incluso frente a evidencia empírica que al maestro le pudiera parecer concluyente y que muchas veces se usa en los enfoques de cambio conceptual basados en el conflicto, los estudiantes encuentran una serie de formas en las que pueden enfrentar estas evidencias discrepantes, que van desde ignorar los datos que les parecen anómalos, rechazarlos, excluirlos, reinterpretarlos, lograr un cambio periférico, hasta efectivamente cambiar una teoría (Chinn y Brewer, 1993).

Existen también aproximaciones llamadas continuas, donde el cambio conceptual no se logra mediante el conflicto, sino más bien mediante un desarrollo paulatino de las ideas iniciales de los estudiantes. Como ejemplo paradigmático podemos citar el enfoque de Clement y Brown (1989) sobre las concepciones "ancla" y las concepciones "objetivo", que intenta utilizar las concepciones no necesariamente erróneas de los individuos y las desarrolla tratando de aproximarlas a las concepciones científicas. En este caso, se considera que existen algunas concepciones alternativas que en lugar de ser perjudiciales para el aprendizaje, están en gran medida de acuerdo con la visión científica del mismo fenómeno, y pueden por lo tanto ser utilizadas como una forma de anclaje conceptual. Se asume que si el material por aprender se relaciona con estas concepciones, tendrá mucho mayor sentido para los estudiantes.

2.3 El cambio conceptual en el salón de clases

Si analizamos las investigaciones sobre enseñanza de las ciencias que han sido desarrolladas a lo largo de las dos últimas décadas, es notable que, a pesar de la instrucción, las concepciones alternativas de los estudiantes permanecen incluso cuando éstos se encuentran en la universidad. También es importante señalar que, a pesar de los múltiples temas abordados en la investigación sobre la enseñanza de las ciencias, hay una escasa transferencia real de estos avances en el aula (Sánchez Blanco *et al*, 1997).

Dar evidencia contundente de que una aproximación constructivista es realmente exitosa es una materia verdaderamente difícil (Duit y Confrey, 1996). En general, las estrategias constructivistas diseñadas para el cambio conceptual tienen un carácter holístico, lo que hace muy difícil condensar los resultados reportados de forma que se puedan establecer comparaciones con aproximaciones más tradicionales a la enseñanza. De hecho, en muchas ocasiones, estas

aproximaciones proponen cambios radicales respecto a enfoques más tradicionales, por lo que en muchos sentidos pueden no ser comparables dado que las categorías para hacerlo tendrían que venir de una u otra aproximación. Por ello, lo más plausible parece ser evaluar cada aproximación de acuerdo con sus propios objetivos (Duit, 1999).

El trabajo realizado hasta el momento puede considerarse en muchos sentidos, exploratorio, dado el tamaño de las poblaciones con quienes se aplica, la validez no fundamentada de los métodos y muchas veces un diseño poco riguroso en la investigación (Wandersee *et al* 1994). En numerosos estudios, los investigadores no tienen suficiente cuidado en apuntar las implicaciones de sus hallazgos en el campo de la práctica educativa y el diseño curricular, otras veces las investigaciones se llevan a cabo en condiciones que están muy alejadas del ambiente educativo cotidiano, muchas veces los actores de la práctica educativa (maestros, formadores de maestros, diseñadores de currículo, entre otros), rechazan actuar de acuerdo a los hallazgos de una investigación, ya sea porque éstos están en conflicto con sus creencias y convicciones o porque los cambios que proponen son difíciles de llevar a cabo en la práctica, y por último, muchas veces los maestros no son concientes de las dificultades de aprendizaje y de las concepciones alternativas que tienen sus alumnos (Ben – Zvi y Hofstein, 1996).

Si bien, no hay resultados contundentes sobre el éxito de estos enfoques, los hallazgos muestran una cantidad importante de evidencia empírica de estrategias que retan las concepciones de los estudiantes de alguna forma y mediante las cuales se obtienen mejores resultados que utilizando aproximaciones que no toman directamente en cuenta las concepciones de los estudiantes. La gran mayoría de estos enfoques, tienen en común el papel central de las ideas de los alumnos y la transformación de la enseñanza en una serie de eventos en los que los estudiantes son alentados a involucrarse activamente en la observación de fenómenos y en las descripciones y explicaciones que sus compañeros dan para

ellos (Fensham, 1994). Sólo a través del involucramiento activo de la mente de los estudiantes, se espera que éstos puedan modificar sus concepciones y las desarrollen y las reconstruyan.

De acuerdo con Hewson, *et al* (1998), para que una aproximación de enseñanza fundada en el cambio conceptual pueda tener éxito, debe proveer ciertas condiciones, de forma que si una estrategia trata de tomar en cuenta los aspectos que mencionaremos a continuación, será mucho más probable que el cambio conceptual ocurra con mayor frecuencia y para mayor número de estudiantes.

- Las ideas de los estudiantes deben ser parte explícita del contexto de la clase, tanto por parte de los estudiantes como de los maestros, de forma que se reconozca la importancia del conocimiento existente en el proceso de aprendizaje. Estas ideas deben ser consideradas del mismo modo que las ideas de los maestros, de forma que los estudiantes puedan elegir una nueva idea no en base de quién lo dice, sino de las características de la idea. Es muy importante que los estudiantes puedan ver a lo largo del proceso de enseñanza, que se está trabajando con sus ideas (Sánchez Blanco, *et al* 1997), de forma que puedan involucrarse más fácilmente.
- El discurso de clase debe ser explícitamente metacognitivo, de forma que los estudiantes puedan tener conciencia y control sobre su proceso de aprendizaje. De acuerdo con algunos autores, (O'Loughlin, 1988), la habilidad de pensar no sólo con ideas sino sobre las ideas, es un paso crucial en el desarrollo del pensamiento científico. Si el discurso de la clase es metacognitivo, será mucho más sencillo para el maestro monitorear el cambio conceptual experimentado por los estudiantes. De acuerdo con Gunstone (1994), sólo si un estudiante es metacognitivo puede llevar a cabo el proceso de cambio conceptual.

- Para que pueda llevarse a cabo un proceso de cambio conceptual, las nuevas concepciones, como hemos mencionado anteriormente y de acuerdo con la teoría inicial de Posner *et al*, deben ser inteligibles, plausibles y fructíferas para el estudiante. La enseñanza para el cambio conceptual debe facilitar que se consideren diferentes ideas o explicaciones para un mismo fenómeno, de manera que puedan elegir una nueva concepción o explicación sobre bases informadas. Los estudiantes pueden rechazar o aceptar una nueva concepción e incluso permitir que coexista con su concepción actual. Las experiencias de aprendizaje deben explícitamente tratar de elevar el estatus de una idea para disminuir el de otras. Éstas pueden incluir la presentación y desarrollo de ideas, su ejemplificación, su aplicación en circunstancias diversas, y su relación con otras ideas, entre otras muchas actividades posibles. Si dentro de la clase no se presenta explícitamente la posibilidad de considerar muchos puntos de vista simultáneamente, las posibilidades de lograr el cambio conceptual son muy escasas. El uso explícito del lenguaje del cambio conceptual, (inteligibilidad, plausibilidad, etc.), puede ayudar a que los estudiantes sean metacognitivos al ayudarles a pensar sobre el estatus de sus ideas.
- En la enseñanza para el cambio conceptual, los roles que tradicionalmente se juegan en clase, deben cambiar, de forma que sean congruentes con los objetivos que se persiguen (Hewson, 1996). Los maestros tienen diversos papeles, el primero como organizadores, responsables de establecer un ambiente determinado en el salón de clases. Esto incluye proveer el contexto apropiado para las actividades que se llevan a cabo en el salón de clases, proponer problemas y tareas que tengan relevancia y sentido para los estudiantes, explorar qué es lo que ellos verdaderamente piensan, sin que se sientan amenazados, tratar de que se sientan insatisfechos con sus concepciones actuales y tratar de que se planteen actividades donde las concepciones propuestas sean puestas en práctica. El maestro también es

quien debe sentar las bases sobre los distintos aspectos de la interacción en la clase, los discute con el resto del grupo y los aplica consistentemente. El segundo papel es el de ser un participante activo de la clase, es decir, el maestro expresa sus ideas, las confronta con las del resto de los estudiantes, lo cual representa un conflicto importante, ya que debe tratar de que su voz no sea vista como la más poderosa en la clase, de forma que los estudiantes puedan evaluar las concepciones en base no sólo de la autoridad externa (el maestro, el libro de texto, etc.). El maestro que adopta este papel tiene un respeto profundo por las ideas de sus alumnos y un repertorio muy amplio de preguntas y estrategias de enseñanza, sin olvidar que debajo de todo esto se encuentran sus concepciones sobre la enseñanza y el aprendizaje, así como su concepción misma sobre la ciencia.

- El que aprende debe aceptar la responsabilidad de su propio proceso de aprendizaje, confiar en su pensamiento, justificar sus conclusiones, escuchar a sus compañeros y a su maestro. Los estudiantes que se involucran en un proceso de cambio conceptual deben tener claro que existen diversos puntos de vista sobre una misma idea y que todos son respetables, y al mismo tiempo estar preparados para cambiar su concepción si otra demuestra ser más viable.
- Un ambiente de clase adecuado es indispensable para que pueda llevarse a cabo un cambio conceptual por parte de la mayoría de los estudiantes, ya que es muy importante que todos los miembros del grupo se escuchen respetuosamente y que puedan expresar sus ideas sin miedo a la sanción o al ridículo, deben ser capaces de expresar su desacuerdo con una idea sin lastimar a la persona que tiene esta idea. El estudiante debe ser capaz de desechar la idea de que la verdad absoluta pertenece al maestro y debe ser capaz de construir los significados de los diversos conceptos en la clase y adoptarlos porque tienen sentido para los participantes y no sólo porque el

maestro considera que así debe ser. Las situaciones de aprendizaje que ocurren en un salón de clases como éste, deben tratar de favorecer el desarrollo personal, el debate, la cooperación, el rigor, la crítica, la satisfacción por entender, entre algunos aspectos que podemos mencionar (Sánchez Blanco, *et al*, 1997).

2.4 Estrategias para el cambio conceptual

Si queremos que el cambio conceptual ocurra explícitamente dentro del salón de clases, de la forma en la que lo hemos venido describiendo, entonces debemos realizar un cambio en el currículum, en las estrategias de instrucción y en las formas de evaluación (Hewson, 1998). Sin embargo, es muy importante que los cambios que se realicen o las novedades que se planteen tengan un fundamento sólido en los hallazgos hechos desde la investigación, o bien en una reflexión profunda sobre la experiencia personal como educadores. Muchas veces, se corre el riesgo de vanalizar el conocimiento científico en aras de hacerlo comprensible, lo que puede ocasionar muchos riesgos, ya que el salón de clases es muchas veces origen de las concepciones alternativas de los estudiantes.

Debemos recordar que difícilmente se pueden comprender ciertos conceptos específicos si no se dominan sus principios (Pozo y Gómez Crespo, 1998), esto es particularmente relevante cuando el concepto que se pretende enseñar se funda en una serie diversa de conceptos, tal como es el caso de enlace químico. En diversos estudios se encuentra que las concepciones alternativas de los estudiantes tienen un origen analógico, es decir, reflejan la información o interpretación recibida en el salón de clases, debido, en general, a una presentación deformada o sobre simplificada de ciertas concepciones. Al tratar de enseñar una estructura conceptual científica, debemos estar concientes de que son distintos conceptos los que necesitan ser entendidos para su revisión al mismo tiempo (Nersessian, 1988).

La pregunta central cuando se piensa en diseñar una estrategia que permita el cambio conceptual es: "¿cómo se pueden organizar las experiencias físicas y sociales en el salón de clases para promover el cambio o el desarrollo desde las concepciones de los estudiantes hacia aquellas aceptadas por la ciencia?" (Scott, et al, 1994)

Es muy importante señalar que no existe un método o ruta instruccional única para enseñar un tema particular desde una perspectiva constructivista, sino como hemos visto, se sugieren una variedad de estrategias que el maestro decide o no aplicar de acuerdo al contexto y a la forma en la que se desarrolla el grupo. Se debe también tener en cuenta que aprender ciencia no implica sólo un cambio en las estructuras conceptuales, sino que implica el desarrollo de una nueva racionalidad, es decir, una nueva forma de ver, lo cual implica que los estudiantes pasan, no sólo por un proceso de transformación conceptual, sino también por un proceso de desarrollo epistemológico (Scott *et al*, 1994).

Para planear una lección, sobre un tema particular, es importante que se analicen posibles rutas que pudieran seguirse, acompañadas de diversas actividades de enseñanza, por lo tanto es muy importante que el maestro que será el encargado de dar la clase esté directamente involucrado en la planificación de las lecciones, ya que será él quien tendrá que tomar las decisiones en el momento adecuado. Si bien, este es un proceso que requiere de un gran esfuerzo, es necesario estar concientes que lo planeado difícilmente podrá seguirse al pie de la letra, ya que las actividades que se plantean desde un esquema constructivista, deben responder necesariamente al razonamiento de los estudiantes.

Capítulo 3

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA

Si bien, en el capítulo anterior hicimos un breve recuento sobre la forma en la que la teoría del cambio conceptual pretende incidir en los procesos de enseñanza – aprendizaje, en este capítulo abordaremos el trabajo realizado alrededor de diferentes estrategias didácticas que se basan en la perspectiva del cambio conceptual y los elementos que las conforman, haciendo énfasis en la secuencia constructivista de enseñanza que nosotros hemos tomado como referencia para la elaboración de la estrategia de enseñanza para enlace químico, cuya descripción general hacemos hacia el final del capítulo.

3.1 El estado actual sobre la investigación en estrategias didácticas

La perspectiva constructivista tiene consecuencias importantes para el desarrollo de nuevos enfoques de enseñanza–aprendizaje, centrados en la comprensión de los estudiantes acerca de los fenómenos naturales (Duit y Confrey, 1996) De acuerdo con Pozo y Gómez Crespo (1998), todas las propuestas renovadoras de enseñanza, asumen que esta comprensión es difícil para los alumnos, y que, por lo tanto, se requieren estrategias didácticas específicamente diseñadas para ello.

La tarea de enseñar de forma efectiva para lograr el cambio conceptual es compleja y multifacética (Macbeth, 2000), tiene una base importante en el hecho de estar profundamente enraizada en una comprensión sobre cómo aprenden los estudiantes (Hewson, 1998). Sin embargo, una enseñanza para el cambio conceptual no garantiza el aprendizaje de forma directa, ya que la relación entre enseñanza y aprendizaje, no es simple, no es única y no es causal. Por ello, un modelo de enseñanza, puede solamente dar una serie de criterios generales, o

guías para diseñar diversas aproximaciones que permitan acercarse a un tema determinado. La promesa de la literatura sobre enseñanza de las ciencias consiste en que es posible desarrollar un currículum científico que pueda enseñar para el cambio. Existen discusiones amplias sobre las condiciones cognitivas necesarias para el cambio, así como estrategias pedagógicas que pueden utilizarse con este fin.

El número de esfuerzos de investigación que hacen énfasis en los estudios de intervención ha ido en aumento en los últimos años, sin embargo, como ya hemos mencionado, la mayoría tienen un carácter exploratorio (Wandersee, *et al* 1994), lo que refleja que aún existe una gran distancia entre los hallazgos de aquellos que se dedican a la investigación sobre enseñanza de las ciencias, y los maestros que se encuentran en el aula, frente a los alumnos, y quienes finalmente serán los que en realidad pueden poner en práctica y constatar la bondad de los hallazgos o refutarlos con fundamento. Aún cuando las investigaciones acerca de las formas de inducir el cambio conceptual se llevan a cabo desde hace casi veinte años (Dykstra *et al* 1992), no podemos decir que hoy contemos con una bibliografía abundante, que pudiera ser útil a los maestros de ciencias que necesitan encontrar formas diferentes de enseñar para que sus alumnos comprendan los conceptos científicos. Sánchez Blanco y sus colaboradores (1997), reconocen que hay una escasa transferencia real de los avances en la investigación educativa al aula, que puede estar ocasionada, muchas veces, por causas externas a los investigadores, tales como el arraigo de creencias y hábitos muy discutibles sobre el proceso de enseñanza y aprendizaje por parte de los maestros, o dificultad para acceder a la información, o bien, puede ser que las investigaciones se hayan particularizado demasiado, impidiendo el establecimiento de relaciones entre hallazgos que parecían dispersos, es decir, los investigadores, muchas veces no hacen énfasis en la implicación de sus hallazgos para la enseñanza. Otro de los problemas, de acuerdo con Ben-Zvi y Hofstein (1996), es que estos estudios

muchas veces se llevan a cabo en condiciones muy lejanas a la realidad de la enseñanza, lo que puede presentar una barrera para su aplicación práctica.

La importancia de un trabajo como éste, radica, entonces, en documentar una forma particular de aproximarse a un contenido como el enlace químico, en grupos de treinta estudiantes, en condiciones de trabajo normales, es decir, número de horas asignadas, horario escolar, etcétera. De esta forma, se pueden tratar de encontrar sus ventajas, señalar sus desventajas y proponer caminos que pudieran seguirse, en la enseñanza de este mismo concepto. Este es un trabajo que se encuentra cerca de la tarea que realiza cualquier profesor de química, lo que puede facilitar la reflexión acerca del quehacer cotidiano, en el salón de clases así como el cuestionamiento y la puesta en práctica de métodos alternativos.

3.2 Las estrategias para el cambio conceptual. Una revisión

Desde el punto de vista del maestro, cuando se diseña una estrategia de enseñanza, las cuestiones más importantes surgen alrededor de cómo organizar las experiencias físicas y sociales dentro del salón de clases, de forma que se favorezca el desarrollo, o cambio, de las concepciones de los estudiantes, desde sus ideas informales hasta las aceptadas por la comunidad científica (Scott, *et al*, 1994). Las preguntas sobre ¿cómo aprendemos a escuchar el pensamiento de los estudiantes, cómo organizar las actividades del salón de clases para apoyar los cuestionamientos y las actitudes de escucha? (Duit y Confrey, 1996), se encuentran dentro de las preguntas que los maestros deben responder al tratar de planear una lección.

Si bien, en el capítulo anterior hemos desarrollado las teorías sobre cambio conceptual, y hemos especificado cuál es nuestra posición al respecto, en este capítulo, trataremos de señalar diversas formas en las que este cambio puede ser llevado al salón de clases. No existe un método o ruta instruccional única para

enseñar un tema particular desde una perspectiva constructivista (Scott, *et al*, 1994) Sin embargo, cualquier estrategia debe promover el aprendizaje para la comprensión, es decir, debe inducir a los estudiantes a realizar cambios en sus ideas acerca de cómo funciona el mundo (Dykstra, *et al* 1992), esto implica diferencias importantes frente a los enfoques más tradicionales de la enseñanza. Del mismo modo, se trata de hacer la enseñanza de la ciencia más significativa para los estudiantes y de conferirles responsabilidad sobre su proceso de aprendizaje.

Es importante mencionar también, las condiciones que apoyan el cambio conceptual dentro del salón de clases, en general, el mantenimiento de un ambiente de clases que promueva la discusión, así como una evaluación que se oriente al estudiante (Duit, 1999), son factores que se consideran esenciales para el desarrollo de cualquier estrategia didáctica. Pintrich y sus colaboradores (1993), han discutido ampliamente sobre los múltiples factores que influyen en el aprendizaje, tales como la motivación, y el contexto de la clase.

En el capítulo anterior, mencionábamos que existen, en general, dos enfoques para el cambio conceptual, continuo y discontinuo, y que pueden por tanto ser llevados al salón de clases de formas diferentes. Dentro de los enfoques sobre el cambio conceptual que han logrado ser llevados al salón de clases, encontramos el de las analogías como puente (Clement y Brown, 1989), el ciclo de aprendizaje, basado en la teoría cognitiva de Piaget y puesto en práctica por Lawson (1989), y Karplus (1981), entre otros, la secuencia constructivista, cuyo ejemplo paradigmático es el de Driver y Scott (1986), y algunas otras estrategias basadas en simulaciones con computadoras (Dykstra, *et al* 1992). Todas estas estrategias, hacen referencia tanto al contenido como a la metodología de enseñanza.

Si en el enfoque tradicional de la enseñanza, presentar las teorías poniendo ejemplos sobre su poder explicativo, tratando de convencer al estudiante de sus

bondades era la estrategia favorita, las que se basan en el cambio conceptual han probado ser más efectivas al provocar que los estudiantes cuestionen sus ideas, descubran que son incoherentes para explicar ciertos fenómenos y al comprometerlos en el proceso de cambio. En términos de Piaget, se debe llevar a cabo un proceso de desequilibración (Dykstra, *et al* 1992). El proceso dialéctico de asimilación y acomodación, propuesto por éste, es paradigmático en la literatura sobre cambio conceptual (Macbeth, 2000).

En cuanto las ideas a ser aprendidas son inconmensurables con el conocimiento intuitivo de los estudiantes, y teniendo en cuenta que muchas veces la experiencia cotidiana contradice la comprensión científica, se necesita una especie de ruptura para que pueda llevarse a cabo el aprendizaje. Para los educadores en ciencias, el cambio aparece entonces como la tarea más importante y más difícil de resolver (Macbeth, 2000)

Dentro de la diversidad de aproximaciones para desarrollar estrategias que conduzcan al cambio conceptual, aquellas que se basan en el conflicto cognitivo, tienden a mostrar una forma regular. Su idea básica, es que el cambio conceptual se produce como consecuencia de someter los conocimientos previos del alumno a un conflicto empírico o teórico que obligue a abandonarlos en beneficio de una teoría más explicativa.

En términos de las condiciones necesarias para el cambio conceptual, propuestas por Posner y Strike (1982), de acuerdo con Pozo y Gómez Crespo(1998, p. 288), la situación didáctica debe cumplir con:

- El alumno debe sentirse insatisfecho con sus propias concepciones
- Debe haber una concepción que resulte inteligible para el alumno
- Esta concepción debe resultar además creíble para el alumno

- La nueva concepción debe parecer al alumno más potente que sus propias ideas

Por supuesto, no se espera que la simple presentación de la situación conflictiva dé lugar a un cambio conceptual, sino que se requiere una acumulación de conflictos que provoquen cada vez cambios más radicales en las estructuras de conocimientos, por ello, se diseñan secuencias educativas programadas, de forma que se pueda orientar a los alumnos hacia esos conflictos.

En general, para lograr estos propósitos, se han propuesto diversas secuencias de enseñanza, entre las que encontramos muchas similitudes (Pozo, 1998; Macbeth, 2000; Dykstra, 1992; Duit, 1999):

1. Utilizar tareas que activen los conocimientos previos de los alumnos, no sólo para que el profesor los conozca y pueda utilizarlos en el desarrollo posterior, sino también para que los estudiantes sean conscientes de ellos.
2. Enfrentar estos conocimientos con situaciones conflictivas, ya sean evidencias empíricas o problemas teóricos, que los estudiantes no puedan resolver con sus conocimientos previos. Se presentan entonces teorías alternativas que integran los conocimientos con la nueva información. Se espera que en esta fase el alumno tome conciencia de las limitaciones de su concepción y de la diferencia entre ésta y el conocimiento científico. El conocimiento científico, debe ser inteligible, creíble y plausible para los estudiantes
3. Se consolidan los conocimientos adquiridos y se comprende su mayor poder explicativo. Se espera que el estudiante abandone sus conocimientos previos o acepte la teoría nueva en contextos específicos. De acuerdo con Duit y Confrey (1996), más que

intercambiar una concepción por otra, debemos de tratar de aumentar el estatus de unas ideas y disminuir el de otras, aceptando la coexistencia y la articulación de una relación entre las concepciones formales e informales, ya que no es posible, ni inteligente, tratar de extinguir las concepciones cotidianas de los estudiantes, las cuales han probado ser útiles y viables en la explicación de los fenómenos de todos los días.

3.3 Análisis del contenido y de los materiales de apoyo

Toda planeación de una estrategia didáctica requiere que el maestro considere la naturaleza y el estatus de las ideas existentes de los estudiantes, así como la naturaleza de los objetivos de aprendizaje desde el punto de vista de la ciencia, lo que permitirá establecer la naturaleza de la demanda intelectual que requiere la tarea de aprendizaje (Scott, *et al*, 1994). Sánchez y Valcárcel (1993), han denominado a estos análisis didáctico y científico, respectivamente. El establecimiento claro de estos componentes permitirá hacer una elección adecuada de las estrategias, más particularmente, de las actividades que permitirán que el estudiante transite de sus concepciones previas hacia las concepciones científicas.

La selección de los contenidos define, entre otros aspectos, la duración, la amplitud y la complejidad de lo que se va a enseñar. Ésta debe tener en cuenta aquellos que se consideran necesarios para identificar el objeto o fenómenos que se estudian, los que permitan interpretarlo y, por último, los que se consideren adecuados para mostrar la utilidad del conocimiento anterior (Sánchez Blanco y Valcárcel Pérez, 1997) De acuerdo con Coll (1988), muchos de los problemas relativos al aprendizaje escolar están condicionados en gran medida por la especificidad del contenido de enseñanza.

En primera instancia nos dimos a la tarea de definir el objeto de estudio, por medio de la descripción de seis temas fundamentales:

1. Generalidades sobre el tema del enlace químico y su importancia para discernir acerca de la estructura y propiedades de los materiales
2. El enlace iónico
3. El enlace covalente
4. El enlace covalente polar
5. Las interacciones intermoleculares y las fuerzas residuales
6. El enlace metálico

En el apéndice 1 hemos insertado un resumen de los temas que incluyen estos contenidos y, hasta cierto punto, la manera de abordarlos durante la clase.

Nuestra secuencia de enseñanza pretende generar en los estudiantes la construcción de un concepto sólido y bien estructurado, ya que, éste resulta ser medular en la comprensión de muchos otros fenómenos químicos e incluso biológicos.

Como puede notarse, los temas elegidos para la enseñanza, se extraen de la estructura de la disciplina, y no difieren sustancialmente del índice que encontraríamos en cualquier libro de texto, la idea es proporcionar al estudiante un esquema conceptual científico sobre el objeto de estudio.

En este sentido, nos parece que la idea de presentar el enlace químico en primer término como interacción entre partículas, puede proveer de un marco general de trabajo, que permitirá transitar hacia los diversos modelos existentes para comprender los casos particulares del enlace. El concepto de interacción, de acuerdo con Pozo y Gómez Crespo (1998, p. 126), es uno de los esquemas conceptuales sobre los que se asienta el conocimiento científico, ya que permite

transitar desde las explicaciones unicasales, es decir, de un solo factor o agente, a las explicaciones de causalidad múltiple, que aceptan la acción mutua entre dos o más factores dentro de un sistema. Por lo mismo, este concepto presenta grandes dificultades en su aprehensión por parte de los alumnos

Duit y Confrey (1996), señalan cómo, desde diversas aproximaciones constructivistas, se pueden encontrar múltiples formas de abordar y desarrollar el mismo concepto, por lo que es muy valioso revisar y pensar distintas formas de abordar el tema y caminos que puedan ayudarnos en el tránsito que deseamos hacer. Si bien, los contenidos que proponemos para la enseñanza parecen no diferir demasiado de los que se enseñan tradicionalmente, nos parece que es posible construir alrededor de estos contenidos una comprensión real del fenómeno, que no sea solamente un aprendizaje memorístico, unicasal, y que permita sustentar el aprendizaje de conceptos posteriores.

Nos queda claro, que la transición a una concepción más formal puede hacerse de manera exitosa, solamente si se reconoce la viabilidad de las concepciones iniciales, y si las nuevas concepciones dan más posibilidades para progresar en la solución de problemas, y con base en este postulado organizamos y tratamos de llevar a cabo nuestra estrategia de enseñanza.

Desde el punto de vista de Pozo y Gómez Crespo (1998), las características del material que va a aprenderse son muy importantes y se deben cumplir con ciertas condiciones, de forma que se favorezca su comprensión. Es indispensable que el material tenga una organización conceptual interna, es decir, que no sea una lista arbitraria de elementos yuxtapuestos sin una relación lógica entre ellos. El principal obstáculo para el aprendizaje significativo y duradero no es la cantidad de material que debe aprenderse, sino la organización interna de este material, adicionalmente no se debe utilizar un vocabulario excesivamente novedoso ni difícil para el aprendiz.

La perspectiva constructivista de enseñanza, implica, que más que materiales bien planeados y presentados para que los estudiantes aprendan, se necesita considerar cómo los estudiantes aprenden, ya que no podemos asumir que lo que se enseña es lo que se aprende (Driver y Scott, 1995).

3.4 La secuencia constructivista de enseñanza.

Hemos elegido, como estrategia de enseñanza general, la propuesta por Driver y Scott (1995), que Duit (1999) llama secuencia constructivista de enseñanza y que fue desarrollada para diversos temas dentro del programa "Children Learning in Science" (CLIS, 1987).

En general, la secuencia de enseñanza comienza con la explicitación de las ideas de los estudiantes sobre el tema que se va a tratar, después se desarrollan algunas actividades que ayudan a los estudiantes a reestructurar sus ideas y finalmente, se proveen oportunidades para que los estudiantes revisen y consideren cualquier cambio que resulte en sus concepciones. La secuencia que presentaremos fue desarrollada para que los estudiantes comprendieran la estructura de la materia desde un punto de vista corpuscular, en ella se intenta que los estudiantes desarrollen una comprensión de la teoría corpuscular para sólidos, líquidos y gases en términos del arreglo de partículas, el movimiento y las interacciones entre ellas.

El esquema de enseñanza se organiza en seis secciones (Driver y Scott, 1995):

1. Orientación y explicitación de las ideas de los estudiantes.

En esta sección, se presentan diversas actividades a los estudiantes, por ejemplo, abrir una botella de aromatizante y explicar lo que ven, comparar

la compresibilidad de aire, agua y arena en jeringas selladas, entre otras. Trabajan en parejas, quienes después forman grupos de cuatro y presentan sus conclusiones en un cartel.

Esta sección tiene diversas funciones, ya que proporciona experiencia con diversos fenómenos, que más tarde permitirán teorizar sobre la estructura de la materia, por lo que las actividades fueron cuidadosamente elegidas para que se tuviera evidencia que pudiera utilizarse más tarde.

Así mismo, provee la oportunidad de examinar de manera cercana y de pensar sobre fenómenos cotidianos y de expresar sus puntos de vista y escuchar los de otros, muchas veces, esto funciona también como un elemento de motivación y permite que los estudiantes se sumerjan, de alguna forma, en el problema y que éste adquiera relevancia para ellos.

Las ideas expresadas en esta fase, se plasman en carteles que quedan a disposición de los estudiantes, con el fin de que se pueda volver a ellas siempre que se requiera.

2. La naturaleza de la teoría científica y la construcción de las teorías

En esta sección, se intenta que los estudiantes traten de comprender, a través de analogías, la naturaleza de la teoría científica y la construcción de teorías. La idea es poner un par de juegos sobre solución de misterios y búsqueda de criterios escondidos.

Los juegos se llevan a cabo sin intervención del profesor y posteriormente los estudiantes discuten sobre las diversas formas en las que lo resolvieron, algunos de los factores que aparecen en esta discusión pueden ser la búsqueda de patrones en los datos, el desarrollo de teorías que se

sustenten en la evidencia, la posibilidad de imaginar diversas soluciones e ir más allá de los datos.

La discusión final intenta hacer explícito que las teorías científicas, al hacer una analogía con las teorías realizadas, proveen un marco de trabajo que permite explicar una diversidad de fenómenos y que muchas veces la teoría puede encontrar evidencias en la investigación de patrones en los datos.

3. Un patrón para las propiedades de sólidos, líquidos y gases

El propósito de esta sección, es organizar información variada y dispar acerca de los materiales, para tratar de encontrar patrones en las propiedades que permitan utilizarse para que los estudiantes comiencen a teorizar acerca de la estructura de la materia.

La idea consiste en clasificar diversos materiales como sólidos, líquidos o gases y tratar de encontrar con base en qué han hecho esa clasificación. Se presentan materiales que puedan causar conflicto para los estudiantes (espuma, polvos, tela, etc.). En esta sección, el maestro discute con los alumnos, se revisan las clasificaciones, se hacen preguntas que lleven a reconsiderar la clasificación.

4. La construcción de la teoría

Esta se considera la actividad central de la secuencia, los estudiantes trabajan en grupos tratando de desarrollar una teoría sobre la estructura de gases, líquidos y sólidos que les permita explicar las propiedades identificadas en la sección anterior. Muchas veces en esta sección aparecen ideas sobre partículas, aunque no necesariamente las mismas que se aceptan por la comunidad científica.

Promover que los estudiantes construyan su teoría tiene ventajas, ya que permite que los estudiantes coordinen la evidencia con la teoría y le da al maestro la oportunidad de escuchar explicaciones alternativas del modelo particular

5. *Revisión, reflexión y movimiento hacia la teoría aceptada*

Cada grupo presenta su teoría al resto del grupo y se proveen oportunidades para cuestionarla y clarificar las ideas. El maestro propone algunas actividades que permitan desarrollar los aspectos problemáticos de estas teorías. El maestro debe considerar las diferencias entre las teorías de los estudiantes y aquellas aceptadas por la ciencia, puede proponer evidencia nueva, en todo caso, debe estar muy atento y tratar de encontrar ejemplos y preguntas que permitan que los estudiantes desarrollen ideas más cercanas a las científicas.

6. *Aplicación de la teoría aceptada*

En esta sección, los estudiantes revisan los distintos aspectos de la teoría corpuscular que se han establecido, y el maestro provee oportunidades para que estas ideas sean aplicadas. Se pueden proponer actividades similares a las iniciales, de forma que puedan hacerse comparaciones con las ideas iniciales. De la misma forma, es importante que los estudiantes apliquen estas ideas en contextos nuevos. Esta actividad permite que los estudiantes desarrollen su comprensión y que ganen confianza para utilizarla, así como reconocer el progreso en su pensamiento como resultado de las actividades realizadas.

En el siguiente diagrama se presenta un esquema que condensa las fases mencionadas anteriormente.

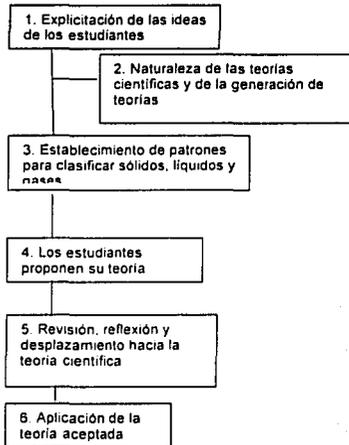


Fig. 5.1 Secuencia educativa para el tema naturaleza corpuscular de la materia (Driver y Scott, 1995)

Como podemos notar, esta secuencia toma en cuenta los aspectos que se mencionaron en el apartado anterior dando como resultado una estrategia de enseñanza para el cambio conceptual, basada principalmente en el conflicto cognitivo: las actividades están fuertemente atadas a las ideas iniciales de los estudiantes y va promoviendo conflictos cognitivos mediante diversas actividades y preguntas que permiten que los estudiantes puedan ir pensando sobre sus ideas para finalmente proveer oportunidades donde se pueda aplicar la teoría y en las que los estudiantes puedan ser conscientes de lo que han aprendido.

Los resultados del proyecto CLIS, con la aplicación de estas estrategias, han sido alentadores. Driver y Scott (1995), reportan un aumento de 50% en los estudiantes

que usan explicaciones de partículas para tratar de comprender nuevos fenómenos, y del mismo modo ha propuesto formas de trabajar que permiten que los estudiantes se expresen, escuchen las ideas de otros, y ha generado, en general, ambientes de clase que favorecen el aprendizaje (Hewson, 1996).

3.5 Nuestra estrategia de enseñanza

El enfoque que utilizamos para desarrollar nuestra estrategia, toma en cuenta los aspectos que se han mencionado a lo largo de este capítulo y por lo tanto, se centra en los estudiantes, ya que usa sus ideas como un vehículo interactivo que promueve el intercambio activo, el debate y la negociación. Con este enfoque se pone una fuerte demanda en los estudiantes y los maestros, quienes deben involucrarse con las ideas de una forma sostenida y profunda. Es muy probable que los estudiantes estén sorprendidos, e incluso que resistan este tipo de instrucción, ya que, de alguna forma se encuentran más seguros con métodos que les piden aprender trozos de conocimiento de memoria, de esta forma, han aprendido a ser poco comprometidos con su proceso de aprendizaje.

Debe quedar claro en este punto, que si bien, nosotros hemos elegido una secuencia particular de enseñanza para el tema de enlace químico, esto no implica que pretendamos que esta sea la mejor forma de enseñar, ya que difícilmente existe la "mejor manera" de hacerlo. Sin embargo, mientras más elementos de los que hemos mencionado en los capítulos anteriores, sean tomados en cuenta, es más probable que consigamos lograr el cambio conceptual necesario en los alumnos.

Lo que pretendemos hacer en este trabajo, no es defender nuestra estrategia como la mejor estrategia, sino más bien, hacer un recuento analítico de los pasos que hemos tomado para llevar a cabo la estrategia, desde su planeación hasta su implementación. Las fases de nuestra estrategia son:

1. *Explicitación de las ideas de los estudiantes*

La primera parte de esta secuencia, consiste en pedirles a los estudiantes que contesten en sesión plenaria (con todo el grupo), una serie de preguntas alrededor de las propiedades de diferentes sustancias y de cómo éstas podrían explicarse, en términos de su estructura interna. El maestro en ese momento, se encarga de moderar la discusión y de hacer aclaraciones respecto a lo que los estudiantes están diciendo, sin tratar de cambiar las ideas de los estudiantes, sino más bien, dando libertad a la expresión de las ideas.

La sección donde los estudiantes hacen explícitas sus ideas, es crucial en nuestra secuencia de aprendizaje, no solamente porque de esta forma el profesor podrá saber cuáles son las ideas previas más comunes, sino, y probablemente de forma más importante, que también permite que los estudiantes sean conscientes de sus propias ideas y que, al escuchar a otro, que tiene alguna idea distinta, puedan negociar y discutir sobre ello. Este es el primer paso para lograr que el discurso de clase tenga las ideas previas de los estudiantes como una referencia indispensable dentro de su estructura.

2. *Trabajo experimental indagando sobre las propiedades de las sustancias.*

Posteriormente, los estudiantes realizan una pequeña investigación experimental sobre las distintas propiedades de varias sustancias y tratan de encontrar una explicación para ello, al contestar una serie de preguntas que han sido formuladas por el maestro en forma de un cuestionario escrito.

Esta tarea se realiza en parejas y las respuestas son entregadas al profesor.

La forma como se incorporaron las ideas de los estudiantes tuvo que ver con un cuestionario inicial, previo a la exposición del tema. En él los alumnos plasmaron sus ideas alrededor de las propiedades que mostraban diversas sustancias (esencialmente su solubilidad en agua y su conductividad como sólidos y en disolución) y su interpretación de por qué se presentaban dichas propiedades.

3. Confrontación de las ideas de los estudiantes

Después de la sesión experimental sobre dichas sustancias y propiedades, las ideas estudiantiles se plasmaron en acetatos y se discutieron con los alumnos. Atendiendo a otra recomendación frecuentemente expresada (Wandersee *et al.*, 1994), se buscó naturalidad en el análisis de las ideas estudiantiles, dando el debido respeto y procurándolo en las expresiones de los alumnos alrededor de las ideas de sus compañeros.

Es además importante mencionar, que debe tratarse de que las ideas de los estudiantes sean presentadas en términos similares a las de los maestros, ya que de esta forma, los estudiantes pueden elegir una idea, no solamente en términos de quien la dice, sino más bien en su poder para explicar un fenómeno determinado (Hewson, 1996) Así mismo, de acuerdo con Hewson y sus colaboradores (1998), cuando las ideas de los estudiantes son tomadas seriamente en el discurso de la clase, cuando se hace referencia explícita a ellas durante la interacción en el salón, los estudiantes se sienten más cómodos al expresarlas y es posible que ocurra una proliferación de ideas, lo cual sugerirá la necesidad de reducir esta cantidad y de buscar las que son más adecuadas de acuerdo a determinados criterios.

Se discutían las ideas en términos de su poder explicativo, y al mismo tiempo, se solicitaba a los estudiantes que trataran de aplicar las ideas en discusión en nuevos contextos, de esta forma, se trataba de que los estudiantes fueran capaces de determinar no sólo la inteligibilidad de una idea determinada, sino también su plausibilidad y de ser posible, su aplicabilidad.

4. Consolidación del modelo

La fase de consolidación es muy importante en el desarrollo de nuestra estrategia, ya que en ella, el conocimiento que ha sido construido puede ser aplicado en contextos diferentes y puede ayudar a resolver nuevos problemas, logrando así, una de las condiciones necesarias para el cambio conceptual, propuesto por Strike y Posner (1982), la aplicabilidad.

Uno de los objetivos más importantes de la estrategia, como nosotros la hemos planteado, es que los estudiantes transformen sus concepciones alternativas o ideas previas sobre el tema en estudio y que puedan tener más herramientas conceptuales, que si bien, conviven con sus concepciones cotidianas, les permitirán ahora, explicar fenómenos de acuerdo a un punto de vista más cercano al de la ciencia.

De esta forma, es importante que el estudiante pueda aplicar estos nuevos conceptos construidos, para que pueda valorar su importancia y de esta forma logre ser éste un aprendizaje significativo y duradero. A ello dedicamos parte del esfuerzo de la clase, es decir, a la aplicación de los modelos de enlace químico a la interpretación de las propiedades que mostraron los materiales en la sesión experimental. Se intenta entonces generar, a partir de fenómenos en el laboratorio una insatisfacción con la

explicación que ellos pueden dar, para ir caminando a través de ejercicios, exposiciones y preguntas hacia una nueva concepción que permita dar respuestas más satisfactorias a las mismas cuestiones.

El papel del maestro durante esta etapa es crucial, ya que es él quien puede proponer actividades o plantear preguntas que permitan a los estudiantes atender ciertos aspectos problemáticos, o bien, el maestro puede presentar teorías alternativas de forma que éstas puedan ser comparadas con la propia (Driver y Scott, 1996). El maestro, de hecho, debe tener alguna idea de cuáles son las posibles respuestas de los estudiantes, ya que esto le permitirá tener mejores herramientas para enfrentar las concepciones de sus estudiantes.



Fig. 3.2 Esquema de la estrategia de enseñanza utilizada para el enlace químico.

3.6 La importancia del conflicto cognitivo

La secuencia propuesta por Driver y Scott (1996), y tomada por nosotros en este trabajo, descansa fuertemente en la teoría del conflicto cognitivo, como vehículo que permite transitar desde las ideas previas o cotidianas, hacia la aplicación y uso de ideas más cercanas a las científicas en contextos adecuados (es decir, se trata de plantear un conflicto entre las ideas de los estudiantes y las ideas científicamente aceptadas). En esta estrategia, se parte de las concepciones alternativas de los alumnos (que han sido explicitadas en la fase anterior) para, al confrontarlas con situaciones conflictivas, tratar de lograr un cambio conceptual (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Este conflicto puede crearse preguntando a los estudiantes sus predicciones sobre algún fenómeno y contrastándolas con los resultados experimentales, contrastando las ideas de los estudiantes y las del maestro o entre los mismos estudiantes.

La enseñanza basada en el conflicto cognitivo asume la idea de que es el alumno el que elabora y construye su propio conocimiento y quien debe tomar conciencia de sus limitaciones y resolverlas. Teóricamente, el conflicto cognitivo se basa en la epistemología genética de Piaget, en la cual la disequiliación requiere un juego entre la asimilación y la acomodación hasta que el equilibrio se reestablece de nuevo (Dykstra, *et al*, 1992)

En una estrategia como ésta, el punto más problemático es si los estudiantes en verdad logran "ver" el conflicto, ya que, muchas veces, aquello que es conflictivo y discrepante para el maestro (o para el experto en el tema), no es visto de la misma forma por los alumnos. Así, presentar un conflicto potencial requiere de una intervención muy acertada por parte del maestro (Duit y Confrey, 1996) y un cuidadoso diseño de las actividades de enseñanza.

Al activar los procesos de conflicto cognitivo, lo que se intenta es lograr una modificación en el estatus de las ideas de los estudiantes. De hecho, las actividades de aprendizaje que se plantean tienen el objetivo determinado de elevar el estatus de determinadas ideas frente a otras, y por lo tanto pueden involucrar experiencias como explorar fenómenos que no puedan explicarse con las ideas actuales o encontrar formas en las que los estudiantes piensen acerca de los "problemas" que presentan sus ideas (Hewson, 1996) La idea es que los estudiantes puedan de alguna forma elegir una idea de entre una variedad de acuerdo a la información que poseen.

Si los estudiantes son capaces de explicitar sus ideas, de escuchar las ideas de otros, de valorarlas en términos de su poder explicativo, de pensar en otras ideas, de modificar las suyas, podemos decir que el estudiante está siendo metacognitivo y pensando no sólo con sus ideas sino sobre sus ideas, logrando así promover el cambio conceptual.

En la estrategia que hemos aplicado, se consideró muy importante que los estudiantes pudieran determinar el estatus de sus ideas alrededor del tema de enlace químico, así, las ideas de los estudiantes, que fueron recogidas en acetatos fueron puestas a consideración del grupo utilizando específicamente el lenguaje de cambio conceptual. De esta forma, de acuerdo con Hewson y sus colaboradores (1998), es probable que ocurra un cambio de estatus, ya que el estudiante es más consciente de lo que sabe y de las limitaciones y ventajas que este conocimiento tiene frente al de otros. En este sentido es muy importante también remarcar la idea de construcción social del conocimiento, ya que, si bien, muchas veces el trabajo se da en parejas, o incluso de forma individual, las dudas, y muchas preguntas y problemas se plantean de forma común, de forma que el desarrollo de las ideas sea en conjunto.

FALTA

PAGINA

61

Capítulo 4

METODOLOGÍA

En este capítulo, hacemos una descripción de la metodología seguida en esta investigación, así como de los instrumentos utilizados.

4.1 Diseño de la investigación

Para el desarrollo de la investigación, se utilizaron tres instrumentos diferentes:

- a) Cuestionario que se aplicó a los dos grupos en los que se llevó a cabo la estrategia de enseñanza, tanto antes de comenzar el estudio formal del tema como al concluirlo.
- b) Entrevistas a cuatro estudiantes de cada grupo, siguiendo un guión basado en las mismas preguntas propuestas en el cuestionario.
- c) Observaciones realizadas en clase, de forma paralela al desarrollo de la estrategia de enseñanza.

Se aplicó el mismo cuestionario antes y después de la instrucción a los mismos grupos en los que se hizo la observación de clases. Las respuestas fueron analizadas y categorizadas para su análisis.

Se realizaron entrevistas con cuatro estudiantes de cada grupo, quienes fueron elegidos al azar de entre los grupos, siempre y cuando no tuvieran inconveniente alguno en participar.

Las observaciones de clase se llevaron a cabo durante el tiempo en el que duró la instrucción formal del tema, a manera de observación participativa, en la que la investigadora ocupaba una banca del salón, y hacía anotaciones pertinentes, como caminaba entre los grupos cuando este era el tipo de trabajo que se

realizaba. Se registraron seis sesiones de trabajo, 4 de 100 minutos y 2 de 50 minutos.

La finalidad de la observación es recoger comentarios pertinentes que ayuden a comprender cómo se desarrolla el concepto de enlace químico en los estudiantes que están participando, así como ser un auxiliar para clarificar o ejemplificar algunas respuestas que se obtienen en los cuestionarios y en las entrevistas. Es decir, no se llevó a cabo una observación meticulosa, que pretendiera registrar absolutamente todo lo que ocurre en la clase.

4.2 Población

El trabajo que aquí se presenta, se llevó a cabo con dos grupos de un bachillerato – CCH particular de la ciudad de México. La muestra consiste de 33 alumnos en un grupo y 29 en otro.

Se realizaron entrevistas con 4 estudiantes de cada grupo, es decir, aproximadamente el 15% de los estudiantes que contestaron los cuestionarios fueron entrevistados.

El trabajo se realizó en el periodo en el que los maestros de esta Institución lo tenían programado y que es prácticamente al inicio del segundo semestre.

4.3 Instrumentos

4.3.1 Cuestionario

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se pudieron ubicar algunos conceptos importantes dentro del tema de enlace químico y sobre los que nos pareció importante incidir mediante la estrategia de enseñanza. Es decir, son conceptos centrales que de ser mejor comprendidos, le permitirán al estudiante transitar

hacia un concepto de enlace químico más cercano al aceptado por la comunidad científica y tener mejores herramientas para comprender algunos otros temas de química e incluso de biología. Algunas de las preguntas se tomaron de los artículos de Posada (1993 y 1997) sobre enlace químico y estructura interna de la materia.

El cuestionario que se aplicó es el siguiente:

Química II
Cuestionario sobre enlace químico

Nombre _____
Grupo _____

1. Observa el siguiente diagrama y responde



Si la línea sólida (_____) representa la unión dentro de la molécula de ácido fluorhídrico (HF), y la línea punteada (.....) representa la unión entre moléculas de HF, indica:

- ¿Cuáles son las semejanzas entre ambas líneas?
- ¿Cuáles son las diferencias entre ambas líneas?

2. Explica, cuál es la razón por la que los átomos se unen para formar sustancias

3. Muchas de las sustancias que conocemos tienen puntos de fusión muy diversos, por ejemplo, el azúcar funde aproximadamente a 80°C, el oxígeno es un gas a temperatura ambiente y el diamante tiene una temperatura de fusión superior a los 2000 °C, ¿Cuál es el motivo por el que esto ocurre?

4. Explica, cómo es la estructura interna de las siguientes sustancias, es decir cómo están conformadas:

- Un grano de sal (NaCl)
- Un clavo de hierro (Fe)
- Un trozo de diamante (C)
- El interior de una botella que contiene oxígeno

Las preguntas del diagnóstico, como ya hemos dicho, pretenden incidir en algunos aspectos fundamentales para la comprensión del concepto de enlace químico, que son:

- 1) Las diferencias y semejanzas entre las fuerzas intermoleculares y los enlaces intramoleculares a partir de un diagrama que los representa. La idea de esta pregunta es investigar si se reconoce que el enlace químico es el producto neto de la atracción electrostática entre partículas de carga opuesta y que lo que cambia en cada caso, es la intensidad de esta atracción.
- 2) La razón por la que ocurren los enlaces químicos. Esta pregunta intenta investigar las concepciones de los estudiantes sobre las causas que mantienen unidas a las partículas dentro de una sustancia.
- 3) La razón de las diferencias entre los puntos de fusión de las sustancias. Con esta pregunta, se intenta explicitar las relaciones entre las propiedades macroscópicas de las sustancias (punto de fusión), con su estructura interna, sobre todo, tratando de ver si los estudiantes son capaces de pasar de un pensamiento unicausal a uno multicausal.
- 4) La forma en la que los estudiantes representan distintas sustancias. Se intenta con esta pregunta, averiguar la representación de los estudiantes sobre los materiales, haciendo una conexión entre las sustancias (metales, covalentes moleculares, covalentes no moleculares y sustancias iónicas) y su estructura interna. Se pretende saber si los estudiantes utilizan los modelos de enlace que se han estado discutiendo durante las lecciones.

A partir del análisis de las respuestas a estas preguntas, que se plantean de forma abierta se establecieron categorías, de manera que pueda verse su frecuencia de aparición en ambos grupos

Validación de cuestionarios

El instrumento utilizado fue comentado con dos químicos quienes también tienen experiencia como docentes en el bachillerato, de manera que pudieran comentar sobre su coherencia y consistencia.

Así mismo, el cuestionario fue contestado por una muestra de treinta estudiantes de un semestre superior, quienes respondieron a las preguntas y expusieron sus opiniones sobre las preguntas. Esta última prueba nos dio también una idea sobre el tipo de respuestas que podíamos esperar.

De los resultados de esta validación, se hicieron algunas modificaciones a los cuestionarios, de forma que las preguntas fueran más claras para los estudiantes.

4.3.2 Entrevistas

Las entrevistas fueron realizadas con base en las mismas preguntas de los cuestionarios, buscando profundizar en las ideas que los estudiantes habían expresado en estos.

Los conceptos básicos sobre los que se interrogó a los estudiantes fueron:

- Las diferencias y semejanzas entre las fuerzas intra e inter moleculares
- Las causas del enlace químico
- Las causas de la diversidad de los puntos de fusión de las sustancias
- Las diversas representaciones de las sustancias que hacen los estudiantes

En todos los casos, se buscó que los estudiantes trataran de generar una explicación sobre lo que habían contestado con anterioridad en el cuestionario. Es decir, buscamos que los estudiantes fueran más allá de las declaraciones y trataran de transitar hacia las explicaciones. Las entrevistas se llevaron a cabo una vez que se había llevado a cabo la estrategia de enseñanza sobre enlace químico, por lo que se espera conocer sobre las concepciones de los estudiantes sobre el tema, una vez que han estado expuestos a su enseñanza formal.

Las entrevistas tuvieron una duración aproximada de 30 minutos y fueron audiograbadas y después transcritas para su análisis. Las transcripciones se presentan en el Anexo II.

4.3.3 Observaciones de clase

Durante el tiempo que se llevó a cabo la estrategia de enseñanza, se hicieron observaciones de clase, en forma de registros informales, tratando de encontrar algunos elementos de apoyo para las respuestas de los estudiantes en los cuestionarios, así como algunos elementos que pudieran analizarse en las entrevistas. La investigadora realizó las observaciones en los dos grupos en los que se llevó a cabo la estrategia de enseñanza, y realizó una observación participativa al estar presente en todas las sesiones, tomando notas y caminando alrededor de los pequeños grupos de trabajo si se consideraba pertinente.

4.4 Determinación de las categorías de análisis

Una vez que se revisaron los cuestionarios, se comenzó un proceso de categorización de las respuestas. Dada la naturaleza abierta del cuestionario, fuimos tratando de ubicar las que eran más próximas, de forma que pudiéramos tener unas cuantas categorías que explicaran el pensamiento de los estudiantes en torno a este concepto. Una vez hecho este *recorte* de las respuestas de los

estudiantes en los cuestionarios, tratamos de encontrar los elementos más recurrentes y sobre los que sería necesario profundizar en las entrevistas.

Apoyados también en los análisis realizados en la bibliografía sobre este tema y otros relacionados, tratamos de encontrar los elementos más sobresalientes que denotan la comprensión de los estudiantes en torno al enlace químico, mismos que se presentan en el siguiente capítulo.

Capítulo 5

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la primera parte de este capítulo, se presentan los resultados obtenidos en el cuestionario aplicado a los estudiantes antes y después de la estrategia de enseñanza, así como un breve análisis sobre ellos. En la segunda parte, se lleva a cabo la revisión de las entrevistas y las observaciones de clase, agrupando los hallazgos en categorías de análisis que nos permitan ver distintos aspectos sobre la comprensión del concepto del enlace químico; por un lado, unos se refieren específicamente a las concepciones alternativas de los estudiantes y por el otro, a la forma en las que éstas se han modificado o no, a partir de la estrategia de enseñanza. Se hace en esta sección un análisis del cambio en las explicaciones que los estudiantes dan para ciertos fenómenos, así como de la forma en la que la estrategia de enseñanza llevada a cabo puede o no favorecer el aprendizaje.

5.1 Los resultados obtenidos a partir del cuestionario antes y después de la enseñanza (pre y pos test)

Los resultados se presentan a continuación, para cada uno de los grupos, analizando los puntos más evidentes, que pueden verse a partir de las respuestas que han dado los estudiantes. Se trató de hacer un análisis de las respuestas de los estudiantes, agrupándolas en categorías pertinentes, que al mismo tiempo, respetaran la respuesta de los estudiantes, e impidieran una proliferación de particularidades que no nos permitieran hacer un análisis relevante para el tema.

Las concepciones de los estudiantes del bachillerato acerca del enlace químico.
Capítulo 5. Presentación y análisis de los resultados

Pregunta 1. Diferencias entre enlaces inter e intra moleculares	% de respuestas Grupo 1		% de respuestas Grupo 2	
	Pre - test	Pos - test	Pre - test	Pos - test
Lo que unen (átomos o moléculas)	36.4	42.86	27.59	34.48
Fuerza	15.15	39.28	31.03	37.93
Lo que se produce cuando se rompen	6		6.9	10.34
Enlace covalente y iónico		3.57	3.44	
Direccionalidad		3.57		6.89
Otras respuestas	12.12	3.57		3.4
No contesta	27.27	7.14	31.03	6.89

Como podemos ver, en ambos grupos disminuye considerablemente el porcentaje de estudiantes que no responde, lo que indica que los estudiantes, de alguna forma comprenden la representación de enlaces tanto intra como intermoleculares. Sin embargo, a diferencia de lo que hubiéramos pretendido con la enseñanza, que es un aumento en la respuesta de que la diferencia entre ambos enlaces es la fuerza, los estudiantes, en buena medida, se quedan con la idea de que la diferencia más importante es lo que unen (es decir, en un caso se unen átomos y en el otro, moléculas), lo cual también es una idea correcta desde el punto de vista científico. Es probable que la mayoría de los estudiantes que tenían esta idea desde antes del estudio del tema, no hayan realizado modificaciones sustanciales en ella, sino que más bien, la hayan reforzado a través del estudio sobre el enlace químico. Es interesante notar cómo aparecen algunas respuestas después de la enseñanza, tales como la direccionalidad, indicando que hay algunos conceptos nuevos que han sido introducidos a partir de ésta.

Pregunta 1. Semejanza entre enlaces inter e intra moleculares	% de respuestas Grupo 1		% de respuestas Grupo 2	
	Pre - test	Pos - test	Pre - test	Pos - test
Que son uniones	72.4	51.9	79.3	51.7
Se deben a la diferencia de cargas	6.9	14.8		17.2
Fuerza		3.7		6.9
Naturaleza (atracción eléctrica)		13.8		14.8
Se forman por atracción	3.4		6.9	10.3
Son eléctricos	3.4			
Unen a los mismos átomos	10.3		6.9	
No contesta	3.4	14.8	6.9	

Como se puede observar, para la pregunta sobre las semejanzas entre los enlaces intra e intermolecular, aparece la categoría de la naturaleza del enlace (atracción eléctrica) en el cuestionario aplicado después de la enseñanza, indicando que éste es un concepto que ha sido introducido por la estrategia propuesta. Sin embargo, la mayoría de los estudiantes no va más allá de la declaración de que ambos son enlaces. Podemos también ver, que la categoría de respuesta respecto a que ambos unen a los mismos átomos desaparece en el pos-test. El porcentaje de estudiantes que no contesta aumenta en el caso del grupo 1, pudiendo ser indicativo de una falta de comprensión respecto al fenómeno en cuestión.

Pregunta 2. Razón o causa del enlace	% de respuestas Grupo 1		% de respuestas Grupo 2	
	Pre - test	Pos - test	Pre - test	Pos - test
Estabilidad	13.8	3.4	17.2	10.3
Estabilidad por electrones (tener 8, acomodar)	6.9	17.2	3.4	13.8
Estabilidad por cargas (equilibrar, neutralizar)	24.1	24.1	20.7	20.7
Electronegatividad		13.8		10.3
Atracción	3.4		10.3	
Cargas	13.8	10.3	13.8	13.8
Obtener capas llenas de electrones (ocho)	10.3	6.9	13.8	17.2
Compartir electrones		13.8		10.3
Acomodar electrones	17.2		6.9	
Otras respuestas		10.3		3.4
No contesta	10.3		13.8	

Esta pregunta se refiere a la razón o causa del enlace. Como hemos visto, para el desarrollo de la estrategia, era crucial la comprensión de la causa del enlace. En ambos grupos, tanto en el pre como en el pos test, aparece una variedad importante de respuestas. Para efectos del análisis, las hemos agrupado en categorías más simples, que se refieren a si se da algún tipo de explicación para elegir la razón. Como podemos ver, la estabilidad es la razón que aparece con mayor frecuencia (55% de las respuestas tanto en el pre como en el pos test), sin

embargo, después de la enseñanza se ve un claro aumento en la explicación que se da para la estabilidad, lo que puede indicar un avance en los estudiantes, en términos de pasar de un conocimiento meramente declarativo a un conocimiento que permita la explicación de las causas. Otra respuesta que podría relacionarse con la estabilidad es, por ejemplo, obtener capas llenas de electrones, se ha separado esta categoría, porque las entrevistas indican que la regla del octeto muchas veces se utiliza como un principio que ocurre y que no tiene explicación en términos de estabilidad. Otra de las razones por las que se explica el enlace es por las cargas, las cargas tienen un sentido diverso para cada una de las respuestas, lo que se puede ver a partir de las entrevistas y las observaciones de clase, ya que muchas veces se considera a los átomos como partículas cargadas que interactúan, mientras que en otras ocasiones se considera que es la interacción entre protones y electrones la que origina el enlace químico. La electronegatividad es una respuesta que aparece solamente en el pos-test, por lo que podemos inferir que es un concepto que se introduce con la enseñanza y que no queda del todo claro, en los estudiantes, ya que a partir de las entrevistas, puede verse que la electronegatividad es tratada como la diferencia entre las cargas de las partículas. Del mismo modo, la explicación de la compartición de electrones como la causa del enlace, aparece solamente como resultado de la enseñanza, probablemente por el hincapié puesto en este hecho en el momento de tratar el enlace covalente. Respuestas como la atracción, sin mayor explicación, disminuyen en el pos-test, podemos atribuirlo al hecho de que los estudiantes elaboran de mejor manera sus explicaciones, de nuevo, transitando desde un conocimiento declarativo hacia otro más explicativo, en el que la atracción tiene una razón de ser, ya sea las cargas de las partículas, la estabilidad, o la compartición de electrones.

Las concepciones de los estudiantes del bachillerato acerca del enlace químico.
 Capítulo 5. Presentación y análisis de los resultados

Pregunta 3 Razón de la diversidad en los puntos de fusión	% de respuestas Grupo 1		% de respuestas Grupo 2	
	Pre – test	Pos – test	Pre – test	Pos – test
Capacidad calorífica	25		20.7	
Fuerzas de cohesión	28.6		20.7	3.4
Fuerza de los enlaces	17.9	31	24.1	27.6
Tipo de enlace		34.5	3.4	37.9
Tipo de enlace y direccionalidad		17.2		13.8
Direccionalidad		3.4		
Forma (estructura) del enlace		10.3		6.9
Energía del enlace		3.4	6.9	6.9
Cantidad de enlaces	3.6		6.9	
Puentes de hidrógeno	3.6		3.4	
Son diferentes compuestos	7.1		6.9	3.4
Energía cinética	7.1			
Tamaño de las moléculas	7.1		6.9	

Como se puede observar, en esta pregunta podemos ver una reducción importante en las categorías que los estudiantes utilizan para explicar la diversidad de los puntos de fusión de las sustancias. En el pos–test, la gran mayoría de las respuestas, en ambos grupos, se concentran en la categoría de tipo de enlace (más del 50%), aunque un porcentaje menor ubica la direccionalidad como un factor que determina el tipo de enlace. Muchas de las respuestas que se dan en el pre–test, y que pueden referirse a propiedades macroscópicas de las sustancias, tales como la capacidad calorífica, el tamaño de las moléculas, desaparecen, lo que puede deberse a que los estudiantes tienen una mejor comprensión del fenómeno. Así mismo, la respuesta que se refiere a las fuerzas de cohesión como las responsables de los puntos de fusión, desaparece, probablemente porque los estudiantes han incorporado el concepto de fuerzas de cohesión como resultado de las fuerzas de enlace. De manera menor, aunque igualmente importante, aparece el hecho de que algunos estudiantes (menos del 10%), reconocen que la estructura del enlace, influye sobre el punto de fusión, aunque bien podría incorporarse esta categoría a la que se refiere a la direccionalidad, a partir de las entrevistas, en donde se explicita que al referirse a la estructura, al menos, el alumno en cuestión, habla del número de enlaces y de la dirección de éstos.

Pregunta 4. Estructura interna del cloruro de sodio	% de respuestas Grupo 1		% de respuestas Grupo 2	
	Pre – test	Pos – test	Pre – test	Pos – test
Cubo de átomos	59.4	41.4	55.2	44.8
Cubo de iones	3.1	31	6.9	31
Cubo de partículas	6.2	10.3	13.8	20.7
Par de átomos	9.4		10.3	
Par de átomos enlazados a otros pares	6.3	6.9	3.4	3.4
No contesta	15.6	10.3	10.3	

En el caso de la estructura interna del cloruro de sodio, cuya mejor representación es un cubo de iones, podemos ver que antes de la enseñanza, los alumnos manejaba una representación del cloruro de sodio como un cubo, resultado, probablemente de la experiencia escolar anterior, si bien, esta representación disminuye entre un 10 y un 15% para el caso del pos-test, aún la mayoría de los estudiantes tienen esta representación para el cloruro de sodio. Lo que se eleva de manera significativa, es el número de estudiantes que maneja la representación del cloruro de sodio como un cubo de iones, lo que indica que la enseñanza ha sido de alguna forma efectiva en promover esta representación como la adecuada para el caso de esta sustancia. El cloruro de sodio, como un cubo de partículas es una representación que se utilizó a lo largo de la enseñanza, aunque en todos los casos, el maestro indicaba que cada una de esas partículas se refería a distintos iones. De esta representación, a partir de las entrevistas, se puede ver, que algunos estudiantes identifican estas partículas como átomos y otros como iones, lo cual no nos permite incluirla claramente dentro de ninguna de las otras dos categorías. La representación de un solo par de átomos desaparece en el pos – test, lo cual indica que la estrategia fue exitosa, al menos en erradicar la idea de la existencia de la sal como una sola molécula o partícula, aunque persiste la idea de las moléculas de sal (pares de átomos o iones) unidas a otras. El porcentaje de alumnos que no contesta disminuye de manera notable en ambos casos, indicando que la mayoría de los alumnos ha logrado tener una representación de la estructura de esta sustancia.

Las concepciones de los estudiantes del bachillerato acerca del enlace químico.
Capítulo 5. Presentación y análisis de los resultados

Pregunta 4. Estructura interna de un clavo de hierro	% de respuestas Grupo 1		% de respuestas Grupo 2	
	Pre – test	Pos – test	Pre – test	Pos – test
Átomos de Fe unidos entre sí (muchas uniones)	16.7	33.3	24.1	34.5
Partículas muy juntas	6.7	3.7	13.8	6.9
Átomos de Fe unidos entre sí (una unión)	3.3	14.8		10.3
Un átomo de Fe	3.3		6.9	
No contesta	70	14.8	79.3	6.9
Cationes de Fe con electrones libres		22.2		27.5
Cationes unidos y electrones libres		11.1		13.8

En este caso, se puede ver un número importante de estudiantes que de no contestar en el pre – test, eligen alguna de las opciones. Del mismo modo, aparecen categorías, tales como los cationes de Fe con electrones libres. Si bien, estas dos últimas representaciones, que son las más cercanas a la concepción científica, todavía las encontramos en un porcentaje menor al 50%. La idea de que lo que se une son átomos sigue presente en un número muy importante de estudiantes.

Pregunta 4. Estructura interna del diamante	% de respuestas Grupo 1		% de respuestas Grupo 2	
	Pre – test	Pos – test	Pre – test	Pos – test
Átomos de C acomodados en un polígono (hexágono, heptágono, pentágono)	18.2	10.3	27.6	17.2
Átomos de C unidos entre sí	27.3	75.9	27.6	65.5
Un átomo de C	3		6.9	
Partículas muy juntas	3		10.3	10.3
Diamante (dibujo)	3			
No contesta	42.4	10.3	27.6	6.9

En el caso de la estructura del diamante, también puede verse una disminución importante en el número de los estudiantes que no responden, y también se ve una disminución importante en el número de estudiantes que hacen una relación directa entre la forma del diamante y su estructura interna (dibujar polígonos, o un

diamante). En el caso del grupo 2, el número de estudiantes que relaciona el diamante con una serie de partículas muy juntas no disminuye y puede considerarse un número importante de estudiantes el que tiene esta representación. En ambos casos, la representación del diamante como átomos de C, que se unen en todas direcciones aumenta sustantivamente, señalando la forma en la que los estudiantes, de alguna forma, se han apropiado de esta representación.

Pregunta 4. Estructura interna de una botella que contiene oxígeno	% de respuestas Grupo 1		% de respuestas Grupo 2	
	Pre - test	Pos - test	Pre - test	Pos - test
Pares de átomos de O unidos y separados de otros pares	34.4	46.4	48.3	48.3
Partículas dispersas	18.8	7.1	17.2	13.8
Partículas de O ₂ separadas	12.5	14.3	6.9	13.8
Átomos de O en una cadena (con dobles enlaces)	3.1	10.7		
Par de átomos con doble enlace	6.3	3.6	3.4	10.3
No contesta	25	14.3	24	6.9
iones		3.6		6.9

En este caso, no se ven diferencias muy importantes en el pos - test, respecto al porcentaje de alumnos que elige la respuesta más correcta desde el punto de vista científico, si bien, se nota una disminución en el número de estudiantes que representa los átomos de oxígeno como partículas aisladas, probablemente porque se ha hecho más importante el uso de átomos unidos representando moléculas. También disminuye el número de estudiantes que no responde, dando cuenta de cómo ha aumentado el dominio o seguridad que tienen los estudiantes al responder sobre este tema.

5.2 Categorías de análisis a partir de las entrevistas y las observaciones de clase. La comprensión de los estudiantes sobre el enlace.

En esta sección, trataremos de encontrar los principales aspectos detectados a través de las entrevistas, las observaciones de clases y los cuestionarios y que nos dan alguna luz sobre la forma en la que los estudiantes comprenden el concepto de enlace químico.

5.2.1 La regla del octeto como principio explicativo

Uno de los objetivos fundamentales de la estrategia didáctica era que los estudiantes comprendieran cuál es la naturaleza del enlace químico. Dos de las preguntas realizadas en el instrumento se refieren a la explicación de qué es el enlace y por qué ocurre.

Cuando preguntamos a los estudiantes las causas del enlace químico, la respuesta más común, se relaciona con principios relativos a la regla del octeto, ya sea compartir electrones, acomodar electrones, tener una capa externa llena, o explícitamente tener ocho electrones. Otras respuestas como la estabilidad, pudieran estar relacionadas con la aplicación de la regla del octeto. Si comparamos el porcentaje de estudiantes que da una respuesta basada en la regla del octeto, podremos ver que el cambio no es tan grande, sobre todo en el grupo 1, aunque en ambos se dio un enfoque similar al tema (en el grupo 1 va del 47% en el pre test al 50% en el pos test, y en el grupo 2 va del 40% en el pre test al 63% en el pos test). Esto nos indica que los estudiantes tienen conocimiento de la regla del octeto como "explicación del enlace químico", antes de ingresar en este nivel educativo, y que si bien, en uno de los grupos el número de alumnos que utiliza esta explicación permanece casi constante, en ambos casos hay un ligero aumento.

Algunas de las respuestas de los estudiantes en el pre test son:

En la última órbita de los átomos hay electrones que se pueden ceder o tomar electrones de otros átomos, por lo tanto, si hacen este intercambio, dos o más átomos se unen.

Para que en su última órbita tenga el máximo de electrones posibles para estar más estable [sic]

En el curso de la estrategia, se utilizó la regla del octeto, para tratar de explicar la estructura de algunas sustancias, dibujando fórmulas de Lewis. No se hizo, sin embargo, mucho hincapié en ella, como explicación del enlace químico.

La regla del octeto es un principio heurístico que se utiliza para saber de qué forma se comparten los electrones en un enlace covalente y que consiste en: *“un átomo diferente del hidrógeno tiende a formar enlaces hasta que se rodea de ocho electrones de valencia”* (Chang, 1999, p. 338).

Taber (1997a), ha encontrado que en el caso del enlace químico, los estudiantes utilizan la regla del octeto como base para explicar el fenómeno del enlace químico y otros fenómenos relacionados. En su investigación, Taber describe la regla del octeto como un marco alternativo de trabajo en la que el principio general que se utiliza es que los átomos forman enlaces para lograr tener configuraciones eléctricas estables (a las que se pueden referir como octetos, capas externas completas o configuración de gas noble).

De acuerdo con este principio, las reacciones químicas se llevan a cabo y los enlaces se forman de manera que los átomos tengan capas externas completas. Si bien ésta no es una explicación coherente desde el punto de vista científico, sí es una que se adopta con facilidad en términos de la *“necesidad”* de los átomos de obtener estas capas completas (Taber, 1999).

Si bien, la regla del octeto es un principio heurístico que funciona para explicar el enlace en la mayoría de las sustancias que se estudian en el bachillerato, no

existe en ella en realidad ningún principio explicativo, salvo si acaso la estabilidad de los átomos de los gases nobles con ocho electrones en su capa de valencia.

Cito un fragmento de una de las entrevistas:

- E: ... de acuerdo con tu respuesta la causa de que el enlace ocurra es por razones de estabilidad... ¿puedes explicarlo mejor?
- A: pues bueno, lo que pasa es, bueno, cuando se enlazan son más estables
- E: sí, pero, ¿puedes decirme por qué?
- A: mmmm, pues, lo que pasa es que cuando se enlazan se acomodan sus electrones
- E: ¿cómo es este acomodado, al azar?
- A: no, cada vez que hay un enlace se acomodan para que cada uno de los átomos tenga ocho electrones
- E: ocho, ¿por qué ocho?
- A: pues ... porque ... según yo, son los electrones que hay en un gas noble
- E: ¿ocho en total?
- A: no, ocho electrones externos, esos son los únicos que cuentan de acuerdo, pero, ¿por qué ocho son más estables que siete, conoces alguna razón?
- A: (...), los gases nobles no reaccionan, entonces son estables (...), algo así, ¿no?
- E: pero, ¿puedes tratar de encontrar alguna razón?
- A: (...), no sé, (...) la verdad creo que no, no sé porque ocho

En el fragmento anterior, vemos un ejemplo claro de un estudiante que utiliza la regla del octeto para explicar la razón del enlace químico, y que sin embargo no puede explicar por qué ésta se considera válida o por qué puede aplicarse a distintas sustancias. La razón que él da, diciendo que son ocho porque son los mismos que hay en un gas noble, no conlleva ninguna explicación, por lo que aún cuando la primera respuesta está en términos de la estabilidad, en verdad no se conoce ninguna razón de cómo es que ésta se adquiere o de qué forma se relaciona con la configuración electrónica.

El estudiante de la entrevista anterior, bien podría ser un estudiante que pueda predecir el enlace en distintas sustancias, o que pueda contestar de manera

correcta a un examen de conocimientos, pero que no ha comprendido el concepto del enlace químico, ni las causas que lo explican.

De acuerdo con Taber (1997a, 1999), algunas de las implicaciones de utilizar el principio del octeto para explicar el enlace, son:

- Se discute el fenómeno del enlace en términos antropomórficos, como si los átomos fuesen actores que sienten (los átomos quieren tener ocho electrones, los átomos necesitan tener ocho electrones, los átomos comparten, etc.)
- En el enlace covalente, los átomos comparten electrones para obtener capas completas.
- Los electrones vuelven a *sus* átomos una vez que los enlaces covalentes se rompen.
- El enlace iónico se construye a través de un modelo molecular, donde el enlace se define en términos de transferencia de electrones, lo que limita el número de enlaces a la electrovalencia (el sodio sólo puede formar un enlace porque sólo tiene un electrón para donar), al mismo tiempo implica la existencia de moléculas en los compuestos con enlace iónico (el sodio se une al cloro que aceptó *su* electrón).
- El enlace se construye en los términos de iónico o covalente, ya que son modelos que se adecuan al pensamiento del octeto.
- Las interacciones que no pueden clasificarse como enlace iónico o covalente, tales como el enlace metálico, el enlace polar y los puentes de hidrógeno, no se consideran como enlaces sino como "fuerzas".

Una de las conclusiones de Taber (1997a, b), es que el principio explicativo del octeto es muy difícil de desecharse una vez que se ha adquirido, y para muchos

estudiantes, ofrece la base más creíble para explicar los procesos químicos, por lo que puede presentarse como un bloqueo para el aprendizaje efectivo.

En nuestro caso, en ninguna de las entrevistas en las que se menciona la regla del octeto, pudimos lograr que el estudiante construyera una explicación plausible sobre por qué la regla del octeto implica estabilidad o "mejoría" para las especies que se enlazan, más allá de la explicitación de que los gases nobles tienen una configuración electrónica más estable.

En una de las respuestas del pos test a la pregunta sobre las causas del enlace, encontramos lo siguiente,

En el enlace covalente comparten los electrones porque, porque quieren [sic] o porque piensan que tienen configuración de gas noble y se vuelven estables, eso es lo que es el enlace y los mantiene unidos. Si no hubiera enlace no tendrían configuración de gas noble, y pues no serían estables y pues, quieren ser estables.

Una de las razones que Taber (1997a, b, 1999), encuentra para explicar por qué el principio del octeto es tan poderoso para los estudiantes, es que es el marco más coherente posible que los estudiantes tienen a la mano. Si bien, el enlace químico se explica a través de los principios electrostáticos que minimizan la energía libre, en muchas ocasiones estos temas no se asocian directamente con el enlace químico, sino que en muchas ocasiones los profesores de química consideran que sus alumnos conocen los principios electrostáticos básicos y no los discuten al hablar del enlace químico.

En la observación de clases, si bien, pudimos constatar que con frecuencia se hace referencia a la atracción eléctrica, nunca se hizo una recuperación de los conocimientos de los estudiantes a este respecto, ni se discutió qué es lo que se entiende por cargas eléctricas. De acuerdo a la bibliografía consultada, éste puede ser el caso en la mayoría de las clases de este nivel, y por consiguiente, una de

las causas de la pobre comprensión que los estudiantes tienen sobre el fenómeno del enlace químico.

5.2.2 La existencia de "moléculas iónicas"

A partir de nuestros resultados, podemos ver que para la pregunta en la que los alumnos dibujan la estructura de los cristales de cloruro de sodio (NaCl), en ningún caso, los estudiantes dibujan en el pos test un par de átomos unidos, o bien, nada que se asemeje a moléculas dentro de una red, este porcentaje tampoco era muy alto al iniciar la estrategia didáctica (aproximadamente 10%), sin embargo, la estrategia planteada tenía como un objetivo explícito no hacer énfasis en el proceso de formación de iones en el caso del enlace iónico, sino más bien hacer énfasis en la red de iones que se forma y que le da a las sustancias con este enlace sus características particulares.

Como ya hemos mencionado, muchas de las concepciones alternativas sobre enlace químico (De Posada, 1999; Taber, 1997a), tienen su origen en el salón de clases, por la poca cercanía que tiene este tema con la experiencia cotidiana de los estudiantes, por lo que creemos que se debe hacer el mayor esfuerzo posible para evitar la introducción de concepciones alternativas a través de los materiales de enseñanza. De Posada, encuentra, al hacer un estudio que compara diversos niveles educativos, que los estudiantes dibujan una sustancia con enlace iónico como un par de iones, aparece después de la instrucción, por lo que puede considerarse un resultado de ésta.

Algunas de las recomendaciones que Taber (1994) ha planteado para tratar el tema del enlace iónico y que se siguieron en el planteamiento de esta estrategia son:

- Enfocarse más en las fuerzas electrostáticas dentro de la red iónica que en la formación de iones

- Distinguir entre la formación de iones (transferencia de electrones) y el enlace iónico
- No utilizar diagramas que presenten entidades "moleculares" (pares de átomos o pares de iones), sino incluir siempre grupos de iones
- Utilizar el término de electrovalencia de forma clara y distinguir que el número de enlaces iónicos formados no está determinado por ella.

Algunas de las explicaciones que los estudiantes dan a sus diagramas apoyan lo que estamos diciendo, ya que en ningún caso se encontró que se hiciera explícita la existencia de moléculas dentro de la red iónica. Estas explicaciones las obtiene el entrevistador al mostrar a los estudiantes los diagramas que ellos mismos habían realizado en días anteriores:

A₁: en el enlace iónico hay muchos iones y es como que todos están unidos con todos porque unos son positivos y otros negativos.

E: ¿y entre todos hay la misma fuerza?

A₁: pues sí, bueno los de carga igual se repelen pero al final sí, entre todos hay la misma fuerza

E: ¿puedes identificar cuál es el enlace iónico aquí?

A₂: mmm ... ¿cómo? pues todos son enlaces iónicos, ¿no?

E: ¿y todos son iguales?

A₂: pus (sic), pus sí, bueno, a menos que tú metas algo distinto

Si bien, la estrategia no es del todo exitosa, al tratar de cambiar la construcción del concepto de enlace químico, podemos ver que algunas partes, estrictamente planeadas a partir de las concepciones alternativas encontradas en la literatura, parecen dar resultado. En este sentido, como lo mencionan Ausubel y Pozo, la organización del material es fundamental para lograr el aprendizaje de los estudiantes. Hacer un énfasis extremo en los procesos de formación de iones (para el caso del enlace iónico), lleva a la noción de que sólo uno de los iones se une con el otro, formando una especie de molécula dentro de la red iónica, que está unida mediante un enlace iónico, y que se une a los demás iones mediante

"fuerzas", y sin embargo, esta noción no es necesaria para explicar el enlace iónico ni las propiedades que tienen las sustancias con este tipo de enlace.

En una de las explicaciones de los estudiantes para su diagrama del cloruro de sodio, encontramos:

Hay cargas positivas y negativas y así se acomodan, los positivos lo más cerca de los negativos y lo más lejos posibles [sic] de los otros positivos, pero el enlace es como que entre todos

Si bien, podemos pensar que nuestra estrategia fue exitosa, al evitar la reproducción de algunas de las concepciones alternativas más comunes, es importante notar que los estudiantes no han asumido la representación de los iones como los constituyentes de la red iónica. De alguna forma, para ellos es indistinto que se utilicen átomos o iones, o en muchos casos bolitas (que representan partículas) en estos diagramas. Esto muestra una confusión entre átomos e iones, que ya ha sido señalada por De Posada (1999), que puede repercutir no sólo en éste, sino en otros temas de los programas de química en donde sea importante comprender la naturaleza de los iones y sus propiedades.

5.2.3 La representación de los metales y los sólidos covalentes

En el caso en el que se les pedía a los estudiantes dibujar la estructura interna de un clavo de hierro (Fe) y de un diamante (C), hay un aumento muy importante de estudiantes que contestan la pregunta en el pos test, comparándolo con el pre test. En el caso del hierro, el número de estudiantes que no contestan esta pregunta va desde un porcentaje mayor al 70% hasta un porcentaje menor al 15%. En el caso del diamante, va del 40% hasta un porcentaje menor al 10%. Esto nos indica que se ha construido una representación gráfica de la estructura interna de los metales y de los sólidos covalentes.

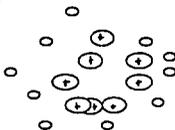
No hemos hecho pruebas que nos aseguren que el conocimiento no es altamente contextualizado, ya que, como ha encontrado De Posada (1997), muchas veces

cuando las sustancias no son metales típicos, como puede ser el caso del calcio (Ca) o el sodio (Na), no hay representación alguna en la mente estudiantil. De Posada supone que esto se debe al contexto menos concreto que rodea a estos metales y a las inferencias teóricas que debe hacer el estudiante para relacionar la fórmula con la estructura química.

De la misma forma, la estructura interna del diamante, fue analizada por el profesor durante la clase, por lo que no podemos asegurarnos que los estudiantes sean capaces de extender este conocimiento hasta otras sustancias diferentes.

En el caso del clavo de Fe, solamente entre 30 y 40% de los estudiantes hace un diagrama que contenga los cationes libres y los electrones que típicamente se utilizarían para representar un enlace metálico. Si bien, de este porcentaje, aproximadamente el 10% utiliza una representación en la que los cationes se encuentran muy unidos, lo cual nos hace pensar que no hay una comprensión clara de la forma en la que se realiza este enlace.

El siguiente es un fragmento de una de las entrevistas realizadas alrededor de uno de los diagramas:



- E: *¿Podrías explicarme que es lo que quieres decir con este dibujo?*
- A: *Bueno, es que en los metales, pues así se acomodan*
- E: *¿Bueno sí, pero puedes explicar mejor?*
- A: *Bueno, pues es que estos que están aquí, los de en medio, son pues son los cationes y estos como de alrededor son los electrones*
- E: *¿y por qué se quedan los cationes así en medio?*

- A: *pues lo que pasa es que no se forman iones, pero algo así como que sueltan sus electrones*
- E: *¿por qué?*
- A: *pues es que es como que un átomo de metal con otro átomo de metal, entonces pues como que se atraen, pero no tanto y entonces como que se quedan todos los electrones, pues no sé..., se quedan pues como que se pueden mover...*

En este caso particular, el estudiante no se detiene para dar ninguna explicación respecto a cómo es que los cationes permanecen unidos en el centro del diagrama, ni es capaz de explicar cuál es la razón por la que los electrones se deslocalizan. Es posible que este estudiante, así como muchos otros, tenga una representación que incluye cationes y electrones, por lo que ha estado viendo en clase, sin que necesariamente tenga alguna comprensión al respecto.

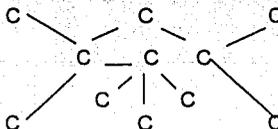
En ninguna de las entrevistas que se realizaron, se pudo lograr que los estudiantes explicaran con mayor claridad sus concepciones sobre el enlace metálico. En este caso, lo que tenemos, son estudiantes que tienen una representación para este enlace, pero no una explicación. Si volvemos al primer punto de este análisis, en este caso, los estudiantes tienen solamente un conocimiento declarativo sobre el enlace metálico. Pueden, por ejemplo, responder cuestiones como la siguiente: *"En el enlace metálico, existen cationes y electrones deslocalizados"*, lo que por supuesto, no es una respuesta errónea, sin embargo, pudimos constatar que en la mayoría de los casos, carece de significado para los alumnos.

De Posada (1995), encuentra que el enlace metálico no es suficientemente asimilado por los estudiantes. En el caso de su estudio, únicamente el 30% de los estudiantes del último año de bachillerato son capaces de representar el modelo del mar de electrones de forma espontánea en una situación contextual concreta, dado que la mayoría de los elementos del modelo se olvidan con facilidad. En muchos de los libros de texto que él revisa (1993), encuentra que el enlace

metálico solamente es definido, por lo que los estudiantes tienden a memorizarlo sin que pueda ser significativo, y por lo tanto, es fácilmente desechado.

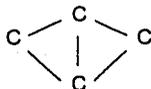
Dado que en la estrategia, el enlace metálico fue el último de los subtemas estudiados, su presentación, se hizo de manera rápida, y basándose sobre todo en las propiedades de las sustancias metálicas.

Para el caso del diamante, el enlace que se dibuja, es el de átomos de carbono (en general, representados por la letra C), acomodados de acuerdo a alguna figura geométrica (polígonos de distinto número de lados). No hay sin embargo, claridad sobre qué es lo que se está representando.



- A: *pues lo que hay aquí, pues bueno, son átomos de carbono, porque pues todos los átomos del diamante son carbonos...*
- E: *¿por qué los dibujas así, de esta forma?*
- A: *pues porque si te fijas, pues cada uno tiene cuatro juntos (sic), eso nos lo enseñaron en la secundaria, que cada carbono puede tener cuatro*
- E: *de acuerdo, ¿pero por qué los acomodas así?*
- A: *pues bueno, así como que ya no sé bien por qué... yo creo que se me ocurrió, pero la verdad no te puedo explicar bien a bien por qué*
- E: *bueno, y ahora que lo ves ¿qué puedes decir?*
- A: *pues no, la verdad es que podría hacerlo así (garrapatea un polígono diferente), o así (otro nuevo garabato), siempre que cada carbono tenga otros cuatro alrededor, pero bueno, tú dime cuál es el que sí va de a deveras (sic)*

Sería importante poder verificar si los estudiantes son capaces de dibujar otras estructuras de sólidos covalentes aún cuando no tuvieran los ejemplos porque el diamante puede ser la estructura más prototípica y el hecho de que se dibujen figuras geométricas puede relacionarse con el hecho de que el diamante tiene evidentemente una estructura cristalina, lo cual podría decirnos que el estudiante está transfiriendo las propiedades macroscópicas de la sustancia, en este caso, el orden, a la estructura interna de la misma. Probablemente este es un mecanismo que los estudiantes tienen cuando no han logrado comprender y explicar. Como podemos ver a continuación:



E: *¿por qué dibujas esta figura con los carbonos?*

A: *pues porque es como el diamante, que está formada (sic) por carbonos*

E: *y entonces los átomos hacen la misma figura que tiene el diamante*

A: *pues como que sí, ¿no? ... no podría acomodarlos de otra manera, pues porque el diamante es así, o bueno, no sé, pero si fuera de otra forma, no sé, como un cubo, pues entonces los acomodaría como en un cubo.*

5.2.4 El punto de fusión y su relación con el enlace. Explicaciones unicasales

Peterson y Treagust (1989), han estudiado la comprensión de los estudiantes sobre algunos conceptos relacionados con el enlace químico, como polaridad en la molécula, en el enlace y forma de la molécula, entre otros. Muchas de las respuestas de los estudiantes parecieran dar a entender que si bien, pueden predecir algunas estructuras moleculares adecuadamente, no en todos los casos comprenden la razón por la que esto ocurre. En general, se tienden a reducir las

explicaciones de la polaridad, por ejemplo, a una sola causa, o bien, la polaridad del enlace o bien, la forma de la molécula, lo cual lleva a resultados incorrectos.

Furió y Catalayud (1996), han encontrado, al investigar temas similares, que los estudiantes tienden a utilizar razonamientos de sentido común, tales como la que denominan "reducción funcional", dado que, al determinar la polaridad de una molécula, los estudiantes consideran la polaridad del enlace, pero no la forma de la molécula, o bien, toman en cuenta la forma de la molécula sin tomar en cuenta la naturaleza de los átomos que forman parte de ella.

Los alumnos tienden a recurrir a un esquema causal muy simple para explicar los acontecimientos, según el cual la relación entre la causa y el efecto es lineal y en un solo sentido, derivado del uso de reglas simplificadoras para el aprendizaje. La mayor parte de las teorías científicas, por el otro lado, requieren entender las situaciones como una interacción de sistemas en las que, la relación implica no sólo una causa sino la interacción entre varias causas que se coordinan para producir un efecto dado (Pozo y Gómez Crespo, 1997).

Frente a la interpretación de los fenómenos en términos de sistemas en interacción, el conocimiento cotidiano utilizado por los estudiantes restringe el procesamiento en forma de esquemas de causalidad lineal simple, según la cual la relación es lineal y en un solo sentido: agente – efecto. Sin embargo, la mayor parte de las teorías científicas o del conocimiento disciplinar complejo, requiere entender las situaciones como una interacción. La tendencia a simplificar las situaciones, restringe la posibilidad de concebir los problemas en términos de interacciones entre variables o sistemas conceptuales (Pozo y Gómez Crespo, 1997).

El punto de fusión de una sustancia es una propiedad que se relaciona con:

- La fuerza del enlace entre cada uno de los núcleos que forman la sustancia

- La cantidad y direccionalidad de estos enlaces, es decir, la estructura de la sustancia.
- El número de núcleos que conforman el sistema.

Sin embargo, a través de nuestro estudio, podemos dar cuenta que sólo un porcentaje muy reducido de los alumnos (15% aproximadamente), toman en cuenta ambos factores al explicar a qué se debe que las sustancias tengan puntos de fusión tan diversos.

No sólo los alumnos, sino muchos de los libros de texto, hacen aseveraciones como:

- Las sustancias con enlace iónico generalmente tienen mayor punto de fusión que las sustancias con enlace covalente
- Si una sustancia presenta enlace iónico, su punto de fusión será muy elevado.
- El punto de fusión de una sustancia depende del tipo de enlace

Aseveraciones como estas, que son sólo parcialmente correctas desde el punto de vista del currículum científico, tienden a confundir a los estudiantes, quienes reducen la explicación del alto punto de fusión de una sustancia al tipo de enlace. En una de las respuestas escritas de una de las evaluaciones leemos la siguiente respuesta a la pregunta de por qué las sustancias tienen puntos de fusión diversos

Si el enlace es iónico, el punto de fusión es más alto que en el covalente por el orden entre sus moléculas [sic]

Como podemos ver, en esta respuesta aparece por un lado la concepción alternativa muy común respecto a que los enlaces o bien son iónicos o bien son covalentes. El concepto de enlace iónico no es claro, dado que en éste no existen moléculas, sino en todo caso iones dentro de una red. Esta respuesta es muy frecuente en los estudiantes y excluye por completo la explicación del alto punto

de fusión de algunos de los sólidos covalentes. En la pregunta del pos test que se refiere a la diversidad en los puntos de fusión de las sustancias, la mayoría de las respuestas (cercano al 70%), aluden, o bien al tipo de enlace o a la fuerza del enlace, lo cual quiere decir que, a pesar de que en la estrategia se incluía explícitamente la explicación de que los puntos de fusión en los sólidos covalentes, y en las sustancias iónicas se deben a la direccionalidad del enlace, no fue un conocimiento significativo para los estudiantes, ya que sólo un porcentaje menor al 15% responde que el punto de fusión de las sustancias se relaciona con el tipo de enlace y su direccionalidad.

En el siguiente ejemplo, uno de los estudiantes entrevistados relaciona el punto de fusión, únicamente con el tipo de enlace presente en las sustancias.

- E: *En esta respuesta dices que el punto de fusión es distinto porque el enlace es distinto, ¿puedes explicármelo mejor?*
- A: *Pues bueno, es que mientras más fuerte sea el enlace, pues se necesita mayor energía para romperlo*
- E: *Entonces, lo único que influye en los puntos de fusión es el tipo de enlace*
- A: *[...], bueno, pues sí, ¿no?, el enlace iónico es más fuerte que el enlace covalente y entonces, bueno pues su punto de fusión es mayor [sic]*
- E: *Bueno, y si piensas en sustancias como el diamante, ¿recuerdas cuál es el tipo de enlace que tienen?*
- A: *Pues [...] que me acuerde, el diamante son carbonos, así que pues el enlace es covalente, pero aquí sí es como que más fuerte el enlace*
- E: *¿Cómo lo sabes?*
- A: *Pues porque el punto de fusión es mayor*

La diferencia en las respuestas que se observan en el pre y en el pos test, para esta pregunta, nos indica que los estudiantes han reducido las categorías con las que explican la diversidad de puntos de fusión, desapareciendo por ejemplo la categoría de capacidad calorífica (que en el pre test concentra aproximadamente 25% de las respuestas), así como las que se relacionan con la energía cinética de

las moléculas y la temperatura. Vemos también que la respuesta que se refiere a fuerzas de cohesión desaparece, probablemente cambiando por categorías más precisas como tipo de enlace o fuerza del enlace.

Estas respuestas pueden indicarnos que si bien los estudiantes no han alcanzado el conocimiento requerido por el currículum científico, sí se han modificado sus respuestas de forma que éstas consideran algunos aspectos nuevos que han sido introducidos a través de la estrategia, o bien, han aprendido algunos conceptos nuevos, lo cual puede indicar que si bien no se ha logrado un cambio total en cuanto al razonamiento de los alumnos, sí se logran eliminar categorías lejanas al currículum científico.

5.3 Algunos otros aspectos derivados de la estrategia de enseñanza

5.3.1 Del conocimiento declarativo al conocimiento explicativo

Los contenidos desempeñan un papel central como eje estructurador de cualquier currículum científico. De acuerdo con Coll (1986), podemos distinguir entre tres tipos principales de contenidos verbales: los datos, los conceptos y los principios.

Un dato o un hecho es una información que afirma o declara algo sobre el mundo, el aprendizaje de la ciencia requiere conocer muchos datos y hechos concretos, parte de ellos se aprenden en las aulas, pero otros son producto de la interacción cotidiana con los objetos. Sin embargo, una cosa es tener un dato, conocer algo como un hecho y otra darle sentido o significado (Pozo y Gómez Crespo, 1999, p. 86). Comprender un dato requiere utilizar conceptos, es decir, relacionar esos datos dentro de una red de significados que explique por qué se producen y qué consecuencias tienen. Por lo tanto, interpretar o comprender un dato es más difícil que conocerlo. Muchos hechos o datos se aprenden literalmente, de forma reproductiva, dado que no se tienen los conocimientos factuales para interpretarlos, o no se está dispuesto a realizar el esfuerzo. Puede establecerse también una distinción entre los principios, o conceptos estructurantes de una

disciplina y los conceptos específicos. Los primeros, son conceptos muy generales, de un gran nivel de abstracción, que subyacen a la organización conceptual de un área, aunque no siempre se hagan lo suficientemente explícitos. Claxton (1991), señala que enseñar los conocimientos científicos como datos, como hechos, sin significado para el alumno, principios no entendidos ni discutidos, convierte el aprendizaje de la ciencia en una cuestión de fe, y a los alumnos en creyentes. La mejor forma de aprender los hechos de la ciencia, es comprenderlos. Recordemos lo que dicen Strike y Posner (1982) respecto a la inteligibilidad y la plausibilidad necesarias para el cambio conceptual.

Como hemos visto en los resultados, los alumnos en general, transitan desde respuestas meramente declarativas en el pre test, tales como: *"los átomos se unen por sus cargas"*, o bien, *"los átomos se unen para ser más estables"*, hacia respuestas que contienen algún tipo de explicación para el fenómeno que se les presenta en el pos test, por ejemplo: *"los átomos se unen, porque al obtener ocho electrones en su última órbita, son más estables"*, o bien, *"las partículas cargadas de los átomos, protones y electrones, interactúan provocando la atracción"*.

En la primera actividad, realizada en la estrategia de enseñanza, se pide a los estudiantes que traten de explicar las razones por las que ocurren ciertos fenómenos, tales como la disolución de ciertas sustancias en agua y la conductividad eléctrica de distintas sustancias, entre otras. Como ejemplo, podemos ver la siguiente pregunta y algunas respuestas que ilustran o no la presencia de explicaciones:

¿A qué se debe que algunas sustancias conduzcan la electricidad en estado sólido y otras no?

- *Porque los que conducen son metales o metaloides*
- *A que unas sustancias tienen electrones libres, los cuales conducen la electricidad*
- *Se debe a los iones, ya que al agregar electricidad, éstos están móviles.*

En el primer caso, la respuesta, declara que sólo los metales o metaloides conducen la electricidad en estado sólido, mientras que en los dos casos siguientes, se hace referencia a la existencia de partículas en las sustancias (los electrones libres, o los iones), que al moverse originan la conducción de la electricidad.

Mientras se discutían estas respuestas con todo el grupo (el maestro puso todas las respuestas en un acetato) y discutía respecto a su inteligibilidad y plausibilidad, se trataba de hacer patente la necesidad de una explicación para los fenómenos, como podemos ver a continuación:

- M: *¿Esta respuesta (refiriéndose a la primera que hemos escrito), nos explica las causas por las que unos conducen la electricidad y otros no?*
- A₁: *Más bien, dice que los metales conducen*
- M: *¿Y eso es una explicación?*
- A₂: *Pues no (...), hay que decir algo de cómo lo hacen para poder explicar*
- A₃: *En la de abajo dice que hay electrones (...), eso como que ya lo explica más, ¿no?*

En este fragmento, encontramos cómo los estudiantes distinguen del conocimiento declarativo, "los metales conducen", a un conocimiento que requiere de conceptos para su comprensión, "los metales conducen porque tienen electrones libres".

En el caso de la razón en la variación en los puntos de fusión, también se ve un movimiento de las respuestas de los estudiantes, desde las declaraciones como: "el punto de fusión se debe a la capacidad calorífica", hacia otras afirmaciones como "la diferencia en los puntos de fusión se debe al tipo de enlace y la direccionalidad". Una respuesta como la primera implica dar a la capacidad calorífica una propiedad que no tiene, como es el explicar los puntos de fusión, mientras que una respuesta como la segunda implica una relación más sofisticada

entre diversos conceptos. Podemos ver el fragmento de una entrevista, que se llevó a cabo, aproximadamente a la mitad de la estrategia de enseñanza:

- E: *¿Por qué hay sustancias como el azúcar que funde a 80° C y otras como la arena que funde a 1600 ° C?*
A: *Por el enlace*
E: *¿Puedes explicar mejor?*
A: *(...) cuando digo enlace, quiero decir que el azúcar tiene menos fuerza que la arena, o sea, es más fácil separarlos (...) también es que en la arena hay más enlaces que en el azúcar*
E: *Entonces, no sólo es por el enlace*
A: *Bueno, son como las dos cosas, por un lado, cada enlace tiene una fuerza distinta, y por otro, (...) pues (...), mientras más enlaces tengas necesitas más calor para romperlos.*

El alumno, está construyendo su explicación a partir de las propiedades de las sustancias, es decir, no sólo repite que la causa del punto de fusión de las sustancias es el enlace, sino que toma algunas características de las sustancias y las relaciona tratando de dar una explicación más coherente.

En el caso de la capacidad calorífica como causa de la diferencia en el punto de fusión de las sustancias, esta respuesta desapareció por completo: en el pos – test, podemos suponer que se debe a una falta total de elementos explicativos alrededor de ella, es decir, en este caso, la capacidad calorífica es la responsable del enlace "porque sí".

Si bien nosotros vemos un cambio importante en las respuestas de los alumnos y a través de las entrevistas realizadas, podemos inferir que hay una mejor comprensión de algunos de los conceptos, nos parece que la comprensión del fenómeno del enlace químico está muy lejos de ser adecuada, por lejana al currículum científico.

En un estudio realizado por Birk y Kurtz (1999), sobre temas relacionados con el enlace químico, en estudiantes y maestros de distintos niveles universitarios, se

encuentra que aún existe distancia entre el conocimiento y la comprensión en el nivel de los profesores universitarios.

En algunas de las entrevistas realizadas, podemos ver que si bien en ocasiones las respuestas que los alumnos dan a ciertas preguntas son "correctas", en términos de las palabras que se dicen, éstas no están respaldadas por un aprendizaje significativo, un conocimiento y una comprensión sólidas del fenómeno. Es muy importante entonces poner énfasis no sólo en las estrategias de enseñanza-aprendizaje, sino también en la forma en la que se evalúan los conocimientos, para evitar que en la clase de ciencias el alumno no tenga más que repetir lo que el maestro ha dicho frente al pizarrón, sin tratar de ir más lejos en su comprensión.

5.3.2 El método de enseñanza y su relación con el aprendizaje

De acuerdo con Pozo y Gómez Crespo (1997), lograr que los alumnos aprendan ciencia, y lo hagan de un modo significativo y relevante, requiere superar muchas dificultades. La adquisición del conocimiento científico requiere un cambio profundo de las estructuras conceptuales y las estrategias habitualmente utilizadas en la vida cotidiana, y ese cambio, lejos de ser lineal y automático, debe ser el producto laborioso de un largo proceso de instrucción.

No basta con que pretendamos enseñar muchas cosas y muy relevantes, ni siquiera con que las enseñemos realmente, la eficacia de la educación científica deberá medirse por lo que logremos que los alumnos aprendan realmente. Para ello es necesario que las metas, los contenidos y los métodos de la enseñanza de la ciencia tengan en cuenta no sólo el saber disciplinar que debe enseñarse sino también las características de los alumnos a los que esa enseñanza va dirigida y las demandas sociales y educativas en las que esa enseñanza tiene lugar.

La forma de abordar el tema durante la estrategia didáctica implementada fue mediante la preparación de una enseñanza basada en el conflicto cognitivo, en el que los contenidos elegidos se organizan conceptualmente de acuerdo con el currículum científico (ver apéndice 1).

En esta estrategia, los contenidos se organizan de forma que se ajusten a la estructura lógica de la disciplina, y que se presenta en la mayoría de los libros de texto (ver como ejemplo Chang, 1999; Garritz y Chamizo, 2001), introduciendo algunos cambios en la organización, de forma que se atiendan algunas de las concepciones alternativas frecuentemente encontradas en los estudiantes de este nivel informadas en la literatura (Taber 1995, 1997b, 1999; Peterson y Treagust, 1989), entre ellas, tratamos de atender particularmente algunas sugerencias de Taber en cuanto a la presentación del enlace iónico, de forma que no se enfatizara el proceso de formación de iones tanto como el enlace mismo, de la misma forma se introdujo la enseñanza de las redes de sólidos covalentes de forma importante.

En tanto estrategia de enseñanza, se parte del análisis de las ideas de los estudiantes alrededor de la explicación que son capaces de ofrecer para una serie de propiedades de las sustancias (conductividad, punto de fusión, disolución en agua), lo cual se adhiere al enfoque de enseñanza planteado como conflicto cognitivo (Pozo y Gómez Crespo, 1997).

A partir de la explicitación de las ideas de los estudiantes sobre estos fenómenos, se realiza un análisis grupal sobre las ideas de los estudiantes para explicar fenómenos similares, o bien, para explicar algunos datos anómalos. Se hace, de acuerdo con Hewson (1996), la introducción del lenguaje del cambio conceptual, es decir, antes de hacer el análisis de las ideas de los estudiantes, se explican los términos inteligible, plausible y fructífero en cuanto a conocimiento se refiere, de forma que los estudiantes pueden aplicar estos mismos términos al conocimiento que se va generando. La idea es que a partir de este análisis los conocimientos previos de los alumnos se modificarán o sufrirán un cambio al someterlos a un

conflicto teórico o empírico que obligue a abandonarlos en beneficio de una teoría más explicativa.

Los modelos de enseñanza que se basan en el conflicto cognitivo adoptan una posición intermedia entre que el aprendizaje de la ciencia pueda alcanzarse por un descubrimiento personal o bien mediante instrucción por parte de los profesores. Se trata de partir de las concepciones alternativas de los alumnos para, confrontándolas con situaciones conflictivas, lograr un cambio conceptual, entendido como su sustitución o su complementación por otras teorías más potentes, es decir, más próximas al conocimiento científico. Aunque debe ser el propio alumno el que tome conciencia de ese conflicto y lo resuelva, los profesores pueden utilizar todos los recursos, expositivos y no expositivos, a su alcance para hacer ver al alumno las insuficiencias de sus propias concepciones (Pozo y Gómez Crespo, 1997).

La enseñanza basada en el conflicto cognitivo asume la idea de que es el alumno el que elabora y construye su propio conocimiento y quien debe tomar conciencia de sus limitaciones y resolverlas. En este enfoque las concepciones alternativas ocupan un lugar central, de forma que la meta fundamental de la educación científica será cambiar esas concepciones intuitivas de los alumnos y sustituirlas por el conocimiento científico o, como se menciona recientemente (Pozo et al, 1999), las concepciones intuitivas de los alumnos, muy difíciles de sustituir, se verán complementadas por representaciones más acordes con la concepción científica. Este enfoque adopta una posición claramente constructivista ante la naturaleza del conocimiento y su adquisición.

Si bien, la estrategia fue planteada desde el punto de vista del cambio conceptual, mediante el conflicto cognitivo, como lo hemos detallado en los capítulos anteriores, el estilo de enseñanza fue cercano al estilo expositivo (Pozo y Gómez Crespo, 1998), planteado por Ausubel y que se asemeja a lo que muchos profesores expertos intentan llevar a cabo en sus aulas: establecer conexiones

explícitas entre distintas partes del currículo, ayudar al alumno a activar los conocimientos pertinentes en cada caso, tener en cuenta el punto de vista del alumno y conectar con él los nuevos aprendizajes. Se trata además de una concepción cercana a la que pueden mantener muchos profesores de ciencia en la educación de este nivel educativo: transmitir cuerpos de conocimiento cerrados de una manera inteligible, basados en una fuerte organización disciplinar y apoyados sobre todo en una enseñanza expositiva que, sin embargo, atienda también, como punto de partida, algunos rasgos del aprendizaje de los alumnos para llevarles finalmente al único saber posible: la estructura lógica de la disciplina. En este caso, y como lo plantea Ausubel (1978), la estrategia didáctica consiste básicamente en realizar un acercamiento progresivo de las ideas de los alumnos a los conceptos científicos que constituyen el núcleo de los currículos de ciencias.

Aunque se utilizan diferentes recursos para la presentación de ese material, es el profesor quien dirige y guía la atención de los alumnos de forma que capten esa organización. y del mismo modo, las actividades de evaluación se centran de modo casi exclusivo en el conocimiento conceptual y consisten en tareas que hagan explícita la estructura conceptual adoptada por el alumno y su capacidad de relacionar unos conceptos con otros.

No debe rechazarse la enseñanza expositiva porque puede ser útil para lograr que los alumnos comprendan algunas nociones científicas cuando disponen de conocimientos previos a las que asimilarlas, su eficacia es más dudosa cuando se trata de cambiar de modo radical esos conocimientos previos. Es un modelo eficaz para lograr un ajuste progresivo de las concepciones de los alumnos al conocimiento científico, pero insuficiente para lograr la reestructuración de las concepciones de los alumnos. Se otorga un papel más bien pasivo a los conocimientos previos de los alumnos, por lo que resulta difícil lograr mediante este tipo de enseñanza una reestructuración de los mismos.

Si nos atenemos a los resultados que se presentan en el pre y en el pos test, podemos ver que la estrategia de enseñanza no fue del todo exitosa, al no poder sustituir las concepciones alternativas de los estudiantes por otras más acordes con las teorías científicas aceptadas. En muchos de los casos, los estudiantes no alcanzan a ver que sus ideas o explicaciones no son suficientes para enfrentarse a ciertos fenómenos, es decir, los estudiantes no cuentan con las herramientas suficientes para darse cuenta del conflicto cognitivo que para el profesor es evidente (Duit, 1999).

Como ejemplo, podemos volver al caso del punto de fusión en el que la relación directa entre el enlace y el punto de fusión sigue siendo la respuesta más común en el pos test, aún después de la introducción de la idea de direccionalidad en la estrategia de enseñanza, como podemos ver en el siguiente fragmento de una entrevista:

- E: (...) y bueno, ¿cómo explicas que hay sustancias que tienen muy alto punto de fusión como la sal que funde a 800 °C y el azúcar, que funde a 80 °C?
- A: pues eso tiene que ver con el enlace, porque uno es iónico y el otro no
- E: ¿y qué pasa cuando los enlaces son iónicos?
- A: pues es que son más fuertes
- E: ¿por qué?
- A: pues eso tiene que ver con los átomos que los forman, porque como que son muy diferentes, como en la sal, el sodio es un metal y el cloro es un no metal, así que entre más distintos [sic], más fuertes (...). bueno, el enlace es como que más difícil de romper
- E: ¿y en el azúcar?
- A: ah, pues es que (...) en el azúcar el enlace es covalente, como que se parecen más los átomos y entonces pues el enlace no es como que tan fuerte como en la sal.
- E: ¿y puedes pensar en alguno que no tenga enlace iónico pero que tenga un alto punto de fusión?
- A: mmm, (...) pues creo que si había alguno, pero la verdad, no me acuerdo.

Lo que podemos ver en este caso, es un estudiante que probablemente haya adquirido algunos conocimientos nuevos, y que sin embargo sigue explicando el punto de fusión de las sustancias en relación con el tipo de enlace, independientemente del énfasis puesto en la estrategia de enseñanza en la explicación del punto de fusión a partir de la direccionalidad, este estudiante vagamente recuerda que hay sustancias que no son iónicas y tienen altos puntos de fusión, pero no ha logrado incorporarlas a su estructura conceptual.

Si bien, en este caso, el conflicto cognitivo trataba de introducirse mediante sustancias como el diamante, o el dióxido de silicio, que tienen enlaces covalentes y altísimos puntos de fusión, estos no fueron suficientemente importantes para que el estudiante modificara su estructura, y tenemos elementos para pensar, a partir de las respuestas en el pos test, que es el caso de muchos de los estudiantes.

De acuerdo con Duit (1999), la aplicación de estos modelos de enseñanza, que sin duda han tenido efectos muy beneficiosos en la renovación de la didáctica de las ciencias, no parece haber logrado el objetivo básico de que los alumnos abandonen sus concepciones alternativas.

Al tratar de analizar la causa de este fracaso relativo, podemos pensar que existe una vaguedad en las propuestas del conflicto cognitivo que dejan implícitos muchos de sus supuestos (Pozo, 1991). Hemos ya señalado que este enfoque de enseñanza tiene algunas similitudes con la enseñanza más "tradicional", en cuanto a la forma en la que organiza y evalúa el currículo, así como con sus metas, que consisten en la sustitución del conocimiento de los estudiantes por un conocimiento más cercano al currículo científico, lo cual puede conducir a una asimilación de la propuesta del cambio conceptual a modelos más tradicionales, interpretándose no como una forma distinta de concebir el currículo de ciencias sino solamente como una estrategia distinta para enseñar la ciencia, asume que lo que este enfoque aporta es la necesidad de tener en cuenta las concepciones

alternativas de los alumnos como punto de partida, pero sin modificar ni las metas, ni la organización del currículo, ni la evaluación.

En este caso, lo importante es que los alumnos acaben por compartir los significados de la ciencia. Este énfasis en un conocimiento externo al alumno, que éste debe recibir con la mayor precisión posible, se complementa con la asunción de que los alumnos poseen una lógica propia de la que es posible partir.

Puede ser por ello, que la importancia de las ideas previas de los alumnos haya sido fácilmente aceptada e integrada, ya que puede reducirse a incluir algunas preguntas iniciales que las detectan sin que se modifique en lo más mínimo el desarrollo posterior de la actividad en el aula, centrada en la explicación por parte del profesor.

Lo que nuestra observación de la clase puede decirnos es que, efectivamente, el hecho de tomar las ideas de los alumnos como punto de partida para un tema, incluso el uso explícito del lenguaje de cambio conceptual, no logrará modificar las concepciones de los alumnos sobre determinados temas, mientras no se acompañe de un cambio en la forma de organizar el currículum y evaluarlo. Del mismo modo, hay que evitar pensar en el "cambio conceptual" como sustitución, además de pensar que el cambio conceptual no es un proceso exclusivamente racional, sin considerar factores emotivos, sociales, motivacionales, entre otros.

5.4 La necesidad de dar una cobertura conceptual única a los diferentes modelos de enlace.

Ante la evidencia presentada no sólo en este trabajo, sino en la bibliografía consultada, de que el tema de enlace químico no es comprendido de forma correcta por los estudiantes de este nivel de estudios, se deben proponer maneras de abordarlo que consideren el nivel de desarrollo cognitivo de los estudiantes, la existencia de concepciones alternativas sobre éste y otros temas relacionados, así como las condiciones de aula en la que deben ser aprendidos.

Pudimos darnos cuenta, al final de la estrategia didáctica, que los alumnos tienen (o siguen teniendo, en algunos casos) 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. Veamos esto implícito en la siguiente entrevista:

E: Aquí escribes que los enlaces son uniones, ¿son todos los enlaces iguales?

A: Pues no, en verdad, no tanto, lo que pasa es que todos son enlaces y entonces sí son uniones

E: entonces, bueno, ¿todas las uniones o enlaces son del mismo tipo?

A: pues no, en clase vimos que hay enlaces de distintos tipos

E: y entonces ¿a qué te referías con que todos son enlaces?

A: bueno, es que sí, el enlace es como lo que hace que los átomos estén juntos, pero bueno, a veces es de un tipo y a veces es de otro

E: ¿a qué te refieres?

A: ya me acuerdo, a veces es covalente y a veces es (...) iónico

E: ¿y éstos no tienen nada en común?

A: no, no que yo sepa, porque aunque sean uniones, lo que unen, pues es como que muy diferente, ¿no? cuando es iónico une unas cosas y cuando es covalente pues une otras

E: pero, ¿entonces?

A: pues ya, unos enlaces son covalentes y otros enlaces son iónicos

Solbes y Vilchis (1991) han encontrado que es común que los libros de texto aborden cada uno de los modelos de enlace como descripciones reales y correctas más que como aproximaciones con limitaciones inherentes. Del mismo modo, Pauling (1983) ha señalado que los libros de química para niveles preuniversitarios tienen demasiado material avanzado, y de acuerdo con él, estas teorías complejas deberían ser reemplazadas con teorías más simples que pudieran explicar de forma efectiva.

Algunos investigadores como Kutzelnig (1984), sostienen que el enlace químico es un fenómeno muy complejo que escapa a todas las tentativas de describirlo de un modo simple. Sin embargo, otros investigadores como Borsese (1991), sostienen

que *"no debe preocuparnos la diferencia entre la complejidad de los modelos que se utilizan y la realidad que pretenden explicar, sino más bien, hacer que los estudiantes sean conscientes del rol provisorio de los modelos, de su significado y de sus limitaciones"*. Borsese considera que puede utilizarse un enfoque elemental del enlace químico que se derive a partir de una única matriz conceptual basada en la comprensión del enlace químico como producto de las interacciones coulombianas de atracción. Es bien cierto que este puede ser un modelo muy simplificado, pero permite explicar de manera cualitativa la tendencia de los átomos a unirse entre sí, lo cual puede ser suficiente para un curso de química básica, porque permite a través de algunos conceptos (carga nuclear efectiva, ley de Coulomb, núcleo, electrones), interpretar todos los tipos de enlace, y además no interfiere, sino promueve aprendizajes posteriores más profundos relacionados con este tema, a diferencia de la insistencia en la regla del octeto como explicación al enlace, como ya lo ha señalado Taber (1997a).

De acuerdo con este último, la mejor forma para avanzar en la comprensión del enlace químico en este nivel educativo, debe caracterizarse por la construcción de un esquema explicativo basado en los principios electrostáticos. Se trata de dar a los estudiantes un marco explicativo que tenga sentido para ellos, que sea poderoso para explicar fenómenos diversos y que no tenga que adoptar un marco de explicación en el que los átomos quieren y necesitan tener ocho electrones en su última órbita, porque esa es su naturaleza. Es bien cierto que en química los modelos utilizados, muchas veces tienen precisión y aplicación limitada, sin embargo, el maestro de ciencias debe estar consciente que cada simplificación hecha puede producir obstáculos para el aprendizaje posterior, favoreciendo el que los estudiantes adopten una posición lejana a la del currículum científico, pero que desde su punto de vista, sirve para explicar una cantidad importante de fenómenos.

En el siguiente fragmento de entrevista, podemos apreciar que los estudiantes no tienen una clara comprensión del enlace químico:

E: ¿Por qué se unen los átomos?

A: Pues por el enlace

E: ¿Qué quieres decir con enlace?

A: Pues eso, que los átomos se juntan

E: de acuerdo, pero ¿cuál es la razón por la que se juntan?

A: pues no sé [...], es que no siempre son las mismas razones [...] ¿o sí?

E: ¿tú qué dices?

A: pues es que hablamos de muchas cosas del enlace, pero tu pregunta [...], no sé, no la puedo contestar

Las investigaciones recientes en educación química, muestran un interés creciente por enfatizar la comprensión de los conceptos más allá de la memorización de algoritmos o datos (Niaz, 2001), es por ello fundamental que la enseñanza de conceptos centrales para el estudio de la química, como es el enlace, tienda a la comprensión del fenómeno, de modo que tenga sentido para los estudiantes que lo aprenden. Es por ello importante decisión el abordar los elementos que les son comunes a los diversos modelos de enlace, más allá de hacer una exposición y explicación exhaustiva de las características de cada uno de ellos. De esta manera se pueden ubicar todos los modelos de enlace bajo un mismo marco conceptual, cuestión que ha permanecido ajena a la enorme mayoría de los libros de texto de química y a la enseñanza en los niveles preuniversitarios.

Capítulo 6

CONCLUSIONES

6.1 El concepto de enlace químico y su enseñanza en el bachillerato

El concepto de enlace químico es central para la comprensión de la química como disciplina, y si bien, como hemos visto, muchos de los investigadores argumentan que es un concepto complejo para el nivel de abstracción y capacidad cognitiva de los estudiantes del nivel bachillerato, a lo largo de esta investigación y en la misma línea de otros investigadores como K. S. Taber y A. Borsese, consideramos que es posible la comprensión de este concepto como producto de las atracciones electrostáticas de las partículas en las sustancias y además es fundamental para la construcción de muchos de los conceptos de química que se estudian en este nivel y otros posteriores.

Si estamos seguros que el concepto de interacción eléctrica entre las partículas, presente en el tema de enlace químico, es muy importante, ¿por qué limitar su aprendizaje a la recitación de unos modelos y a la correcta aplicación de principios heurísticos? Sería fundamental tratar de que los alumnos comprendieran el enlace químico como un fenómeno que tiene una explicación única, intentando romper con la idea de que existen tres enlaces totalmente distintos y que entonces son modelos que tienen distintas bases y se activan de acuerdo al contexto.

Es evidente, a partir de los resultados de este trabajo, que el abordaje tradicional del enlace químico, como se hace en los libros de texto preuniversitarios y en los programas de la materia, no provoca un aprendizaje conceptual del fenómeno.

6.2 La estrategia de enseñanza y el conflicto cognitivo

Para poder llevar a cabo este trabajo, se planeó una estrategia de enseñanza organizada a partir de la lógica de la disciplina y siguiendo, fundamentalmente, el mismo orden de la mayoría de los libros de texto de este nivel. La estrategia,

diseñada a partir de la secuencia constructivista propuesta por Driver *et al* (1996), descansa fuertemente en el conflicto cognitivo como la herramienta para lograr el cambio conceptual. La estrategia utilizada incorpora, además, algunos de los hallazgos más relevantes en la literatura sobre concepciones alternativas en el tema de enlace químico. Al analizar, los efectos de la estrategia en el aprendizaje del concepto, podemos concluir que:

- El conflicto cognitivo planteado por el maestro y los materiales, así como el hecho de tomar las ideas de los alumnos como punto de partida para un tema, incluso el uso explícito del lenguaje de cambio conceptual, no logra modificar las concepciones de los alumnos sobre determinados temas, mientras no se acompañe de un cambio en la forma de organizar el currículum y evaluarlo. De acuerdo con nuestros resultados, hay cambios importantes en las concepciones de los estudiantes, sin embargo, el punto central, que se refiere a la comprensión del enlace químico como un fenómeno producto de la interacción de las partículas, no se logró del todo con base en esta estrategia.
- A partir de nuestros resultados, podemos también ver que se logra una construcción gradual del concepto por parte de los estudiantes, es decir, los estudiantes, después de la enseñanza formal del concepto, adquieren herramientas que les permiten explicar mejor algunos fenómenos, sin que esto implique que sus marcos explicativos hayan sufrido cambios radicales, necesarios para el aprendizaje de conceptos científicos.

6.3 La incorporación de los hallazgos de la literatura en la estrategia de enseñanza.

Incorporar a la estrategia de enseñanza algunos de los hallazgos de la literatura resultó en la desaparición de ciertas concepciones alternativas en torno al tema de enlace químico, al menos, a partir del cuestionario aplicado. Esto es importante,

sobre todo, porque se ha sugerido que muchas de las concepciones alternativas respecto a este tema se generan en el salón de clases, por la forma en la que se aborda.

- El caso más evidente es el de la existencia de "*un par de iones*" formando el cloruro de sodio. Tanto De Posada (1993), como Taber (1997b), sugerían que la presencia de esta concepción se relaciona con el énfasis que se pone durante la enseñanza del enlace iónico al proceso de transferencia de electrones. En nuestra estrategia, no se hizo énfasis en el proceso de formación de iones, sino más bien, en las interacciones entre las partículas que forman la red de iones, y de esta forma, una concepción recurrente de acuerdo a investigaciones como las mencionadas, no aparece en nuestros resultados.
- La estrategia de enseñanza hizo hincapié continuamente en la comprensión del fenómeno, más allá del conocimiento declarativo de ciertos hechos, lo cual se sugiere en prácticamente todas las estrategias de enseñanza analizadas. Es notable, a partir de las respuestas en los cuestionarios y las entrevistas, que los estudiantes cuentan con más recursos para construir explicaciones más coherentes y consistentes para algunos de los temas, como en el caso de la naturaleza del enlace y de los sólidos iónicos. Sin embargo, hay algunos fenómenos, en los que los estudiantes apenas adquieren la información y no son capaces de elaborar ningún tipo de explicación a partir de ella como en el caso del enlace metálico.
- Hay cambios importantes en este sentido, por ejemplo, las respuestas que los estudiantes tienen para explicar por qué las sustancias tienen distintos puntos de fusión, han pasado de lo meramente declarativo, es decir, de características de las sustancias, como el caso de la capacidad calorífica, a explicaciones más elaboradas, tales como el tipo, fuerza, o direccionalidad del enlace.

- Así mismo, en la bibliografía (Taber, 1997a), se recomienda no hacer énfasis en la regla del octeto como principio explicativo del enlace químico, dadas las fuertes implicaciones antropomórficas que tiene. Sin embargo, aún cuando en la estrategia no se hizo hincapié en la regla del octeto como principio explicativo, la aparición de esta idea, que los estudiantes tienen en el cuestionario antes de la enseñanza, sólo disminuye un poco después de aplicar la estrategia, lo cual puede dar cuenta de que es un principio explicativo muy poderoso y en ese sentido, no se logra el cambio conceptual mediante la estrategia basada en el conflicto cognitivo propuesta por nosotros.

6.4 Algunas propuestas de investigación

Una de las fortalezas de este trabajo radica en haber podido documentar una experiencia de enseñanza–aprendizaje en condiciones normales de aula, es decir, con dos grupos de aproximadamente treinta estudiantes, en un periodo de dos semanas de clases, con los recursos con los que cuentan la mayoría de los maestros y escuelas de este nivel.

A partir de los resultados obtenidos, es posible distinguir que hace falta generar más y mejores estrategias para abordar el tema dentro de una perspectiva constructivista.

Es importante hacer investigaciones alrededor de estrategias didácticas, construidas sólidamente, no sólo en cuanto a la disciplina, sino también atendiendo a los procesos de construcción del concepto que deben llevar a cabo los estudiantes e incorporar en ellas los hallazgos reportados en la literatura acerca de las concepciones alternativas y los orígenes de éstas. Así mismo, es fundamental investigar sobre estrategias que tiendan al cambio conceptual con aproximaciones diferentes a la del conflicto cognitivo, ya que se ha visto que,

siendo mejor que una estrategia *tradicional* de enseñanza, como ya lo han mencionado otros investigadores (Duit, 1999), no tiene los efectos requeridos para el aprendizaje de un concepto fundamental como es el del enlace químico.

Es importante también, diseñar e implementar estrategias que presenten el tema de enlace químico no como una serie de modelos diversos, sino haciendo énfasis en la interacción eléctrica entre partículas, de forma que los estudiantes puedan comprender cabalmente uno de los conceptos fundamentales que construyen la química.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ausubel, D. P. (1973) Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento, en Stanley Elam (ed.), *La educación y la estructura del conocimiento*.
- Ben – Zvi, R. y Hofstein, A. (1996). Strategies for remediating learning difficulties in chemistry. En D. Treagust, R. Duit y B. Fraser (editores), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*. Nueva York: Teachers College Press. 109 – 119.
- Birk, J. Y Kurtz, M. (1999) Effect of experience on retention and elimination of misconceptions about molecular structure and bonding, *Journal of Chemical Education*, 76 (1), 124–128.
- Boo, H.K (1998). Students' Understandings of Chemical Bonds and the Energetics of Chemical Reactions, *Journal of Research in Science Teaching*, 35 (5), 569–581.
- Carr, M. (1984). Model confusion in chemistry. *Research in Science Education*, 14, 97 – 103.
- Borsese, A. (1991). Una matriz conceptual única para los diversos tipos de enlace químico. *Enseñanza de las ciencias*, 9 (2), 306 – 307.
- Chinn, C. A. y Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework. *Review of Educational Research*, 63, 1 – 49.
- Clement, J., Brown, D. E. y Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education*, 11 (número especial), 554 – 565.
- Childrens' learning in science (CLIS). (1987). CLIS in the classroom: approaches to teaching. Leeds, England: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds

- Coll, C. (1988). Significado y sentido en el aprendizaje escolar. Reflexiones en torno al concepto de aprendizaje significativo. *Infancia y aprendizaje*, **41**, 131 – 142.
- De Posada, J. M. (1993) Concepciones de los alumnos de 15 – 18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido, *Enseñanza de las ciencias*, **11** (1), 12–19.
- De Posada, J. M. (1997) Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: structure and evolution. *Science Education*, **81** (4), 445–467
- De Posada, J. M. (1999a) 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.
- De Posada, J. M. (1999b) The presentation of metallic bonding in high school science textbooks during three decades: science educational reforms and substantive changes of tendencies. *Science Education*, **83**, 423 – 447
- diSessa, A. A., y Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, **20** (10), 1155 – 1191.
- Driver, R., Leach, J., Scott, P., y Wood-Robinson, C. (1994). Young people's understanding of science concepts: implications of cross-age studies for curriculum planning. *Studies in Science Education*, **24**, 75 – 100.
- Driver, R y Scott, P. H. (1996). Curriculum development as research: a constructivist approach to science curriculum development and teaching. En D. Treagust, R. Duit y B. Fraser (editores), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*. Nueva York: Teachers College Press. 94 – 108
- Duit, R. y Confrey, J. (1996). Reorganizing the curriculum and teaching to improve learning in science and mathematics. En D. Treagust, R. Duit y B. Fraser (editores), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*. Nueva York: Teachers College Press. 79 –93.
- Duit, R., (1999). Conceptual change approaches in science education. En W. Schnotz, S. Vosniadou y M. Carretero (editores), *Advances in Learning and*

- Instruction Series. New Perspectives on Conceptual Change.* Oxford: Pergamon. 263 – 283.
- Dykstra, D. I., Boyle, C. F. y Monarch, I. A. (1992). Studying conceptual change in learning physics. *Science Education*, **76** (6), 615 – 652.
- Fensham, P. J. (1975). Concept formation, en D. J. Daniels (ed.) *New movements in the study and teaching of chemistry*, Londres: Temple Smith, 199 – 217.
- Fensham, P. J. (1994). Beginning to teach chemistry. En P. Fensham, R. Gunstone y R. White (editores). *The Content of Science: a constructivist approach to its teaching and learning*. Washington: The Falmer Press. 14 – 28.
- Furió, C. y Calatayud, M.L. (1996), Difficulties with the Geometry and Polarity of Molecules. Beyond Misconceptions, *J. Chem. Educ.* **73**(1), 36-41.
- Gabel, D. (1999) Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future, *Journal of Chemical Education* **76**(4) 548-554.
- Garritz, A. (2000). De ideas previas y enseñanza de la química. Editorial, *Educación Química* **11**(2), 211-212.
- Gilbert, J., Osborne, R. y Fensham, P. (1982). Children's science and its consequences for teaching, *Science Education*, **66** (4), 623-633.
- Gunstone, R. F. (1994). The importance of specific science content in the enhancement of metacognition. En P. Fensham, R. Gunstone y R. White (editores). *The Content of Science: a constructivist approach to its teaching and learning*. Washington: The Falmer Press. 131 – 146.
- Hawkins, D., (1994). Constructivism: some history, en P. Fensham, R. Gunstone y R. White (eds.) *The content of Science*. Wahington: The Falmer Press. 9 – 13.
- Herron, J. Dudley (1996), *The Chemistry Classroom. Formulas for Successful Teaching*, American Chemical Society, Washington, D.C.
- Hewson, P. W., (1996). Teaching for conceptual change. En D. Treagust, R. Duit y B. Fraser (editores), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*. Nueva York: Teachers College Press. 131 – 140.

- Hewson, P. W., Beeth, M. E. y Thorley, N. R. (1998). Teaching for conceptual change. En B. J. Fraser y K. G. Tobin (editores), *International Handbook of Science Education*. Londres: Kluwer Academic Publishers, 199 – 218.
- Jensen, W.B. (1998a) Logic, history, and the chemistry textbook, Part I. Does Chemistry Have a Logical Structure *Journal of Chemical Education*, **75** (6), 679–687.
- Jensen, W. B.(1998b) Logic, history, and the chemistry textbook, Part II. Can we unuddle the chemistry textbook? *Journal of Chemical Education*, **75** (7), 817–828.
- Jensen, W. B. (1998c) Logic, history, and the chemistry textbook, Part III. One Chemical Revolution or Three? *Journal of Chemical Education*, **75** (8), 961–969.
- Karplus, R. (1981) Education and formal thought – A modest proposal. En I. E. Siegel, D. M. Brodzinsky y R. M. Golinkoff (Editores). *New directions in Piagetian theory and practice*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates
- Kuhn, T. (1970). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Kutzelnigg, W. (1984), Chemical Bonding in Higher Main Group Elements, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **23**, 272-295.
- Macbeth, D. (2000) On an actual apparatus for conceptual change. *Science Education*, **84**, 228 – 264.
- Nelson, P.G. (1994) Classifying Substances by Electrical Character. An Alternative to Classifying by Bond Type, *Journal of Chemical Education*, **71**(1) 24-26.
- Nersessian, N.J. (1989), Conceptual Change in Science and in Science Education, *Synthese* **80**, 163-183.
- Niaz, M (2001). A rational reconstruction of the origin of the covalent bond and its implications for general chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*, **23** (6), 623 – 641.
- O’Loughlin, M. (1992). Rethinking science education: beyond piagetian constructivism toward a sociocultural model of teaching and learning. *Journal of Research in Science Teaching*, **29** (8), 791 – 820.

- Pauling, L. (1983). Throwing the book at elementary chemistry. *The Science Teacher*, 50, 25 – 29.
- Pauling, L. (1992) The Nature of the Chemical Bond-1992, *Journal of Chemical Education*, 69(6) 519-521.
- 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.
- 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.
- Pfundt, H. y Duit, R. (1998), *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education*. Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel (versión de agosto de 1998, distribuida electrónicamente).
- Piaget, J. (1970). Estudios de epistemología genética. Argentina: Emece editores.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W. y Boyle, R. A. (1993). Beyond conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63 (2), 167 – 199.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1998) , *Aprender y enseñar ciencia*, Ed. Morata, Madrid.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., y Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211 – 227.
- Pozo, J. I, Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- Pozo, J. I., Gómez, M. A. y Sanz, A. (1999). When change does not mean replacement: different representations for different contexts. En W. Schnoltz, S. Vosniadou y M. Carretero (editores), *Advances in Learning and*

- Instruction Series. New Perspectives on Conceptual Change.* Oxford: Pergamon. 161 – 174.
- Sánchez Blanco, G. y Valcárcel Pérez, M. V. (1993) Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales. *Enseñanza de las ciencias*, **11** (1), 33 – 44.
- Sánchez Blanco, G., De Pro Bueno, A. y Valcárcel Pérez, M. A. V. (1997). La utilización de un modelo de planificación de unidades didácticas: el estudio de las disoluciones en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, **15** (1), 35 – 50.
- Scott, P., Asoko, H., Driver, R., y Emberton, J. (1994). Working from children's ideas: planning and teaching a chemistry topic from a constructivist perspective. En P. Fensham, R. Gunstone y R. White (editores). *The Content of Science: a constructivist approach to its teaching and learning*. Washington: The Falmer Press. 201 – 220.
- Solbes, J. y Vilches, A. (1991). Análisis de la introducción de la teoría de enlaces y bandas, *Enseñanza de las ciencias*, **9** (1), 53-58.
- Taber, K. S. (1994) Misunderstanding the ionic bond. *Education in Chemistry*, **31**(4)100–103.
- Taber, K. S. (1997a) *Understanding Chemical Bonding*. Tesis de doctorado no publicada. Instituto Roehampton, Universidad de Surrey.
- Taber, K.S. (1997) Student understanding of ionic bonding: molecular versus electrostatic framework?, *School Science Review* **78**(285), 85-95.
- Taber, K.S. (1999) Alternative frameworks in chemistry. *Education in Chemistry*, **36**(5) 135–137.
- Taber, K. S. (2000) Multiple frameworks?: Evidence of manifold conceptions in individual cognitive structure. *International Journal of Science Education*, **22** (4), 399 – 417
- Toulmin, S. (1972). *Human understanding: an inquiry into the aims of science*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

- Vosniadou S. (1999). Conceptual change research: state of the art and future directions. En W. Schnotz, S. Vosniadou y M. Carretero (editores), *Advances in Learning and Instruction Series. New Perspectives on Conceptual Change*. Oxford: Pergamon. 3 – 13.
- Wandersee, J. Mintzes, J. y Novak, J. (1994) Research on alternative conceptions in science, en D. Gabel (editora) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. NSTA 177 – 210.

APÉNDICE 1

ESTRUCTURA DE LA ESTRATEGIA DIDÁCTICA DE ENLACE QUÍMICO

SESIÓN 1

- Los estudiantes explicitarán sus ideas preeliminares acerca de las fuerzas que mantienen unidas a las sustancias y que les dan ciertas propiedades como solubilidad en agua y conductividad
- Exploración de las propiedades de diferentes compuestos utilizando el experimento de propiedades físicas y enlace químico en los sólidos.
- Generar, ya sea por equipos o individualmente un documento donde los alumnos expliciten las respuestas a las preguntas que se plantean en esta actividad.

SESIÓN 2

- Se confrontan las ideas de los estudiantes en sesión plenaria, y se analizan las ideas en términos de su inteligibilidad y plausibilidad.
- Los alumnos explicitarán sus ideas sobre las partículas cargadas que existen en los átomos y cómo interactúan éstas cuando los átomos se acercan. Se introduce la idea de que existen cambios de energía cuando los átomos se aproximan entre sí. Es importante explicitar que el enlace es producto de la atracción electrostática entre las partículas de carga opuesta de los átomos que se enlazan
- Se introduce la idea del modelo de enlace químico como una forma de clasificación de las sustancias

SESIÓN 3

- A partir de los resultados del experimento que se realizó en la sesión anterior sobre conductividad eléctrica en disolución acuosa, se introduce la idea de que existen sustancias formadas por partículas cargadas para introducir la idea del enlace iónico
- Los estudiantes tratarán de dilucidar si pueden existir moléculas en estas sustancias y de qué forma se ordenan los iones, para después presentar distintas estructuras cristalinas
- Los estudiantes explicarán a partir de este modelo de enlace las propiedades físicas de estos compuestos, particularmente solubilidad en agua, conductividad en estado sólido, en disolución y fundido, así como la fragilidad de estos compuestos

SESIÓN 4

- Introducción de la necesidad de un nuevo modelo para explicar el enlace en las sustancias que al disolverse en agua no conducen la electricidad o que existen como gases se introduce la idea del enlace covalente
- Se presenta el modelo de "compartición" de electrones y de cómo mediante éste se minimizan las repulsiones entre los átomos al mismo tiempo que los átomos adquieren configuraciones electrónicas más estables.
- Se introduce la idea de enlace covalente polar
- Se introduce la idea de electronegatividad y de gradación entre enlace iónico y enlace covalente

SESIÓN 5

- Fuerzas intermoleculares en las sustancias con enlace covalente: fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrógeno. Diferenciación de éstas con el enlace covalente
- Cristales moleculares y cristales atómicos. Propiedades y estructura. Utilizar estructuras del cuarzo, grafito y diamante.
- Enlace metálico. Propiedades que se explican a partir del modelo de deslocalización de los electrones: conductividad eléctrica y térmica, ductibilidad y lustre.

SESIÓN 6

- Punto de fusión en las sustancias. ¿Tiene relación con el modelo de enlace? A partir de las estructuras de las diversas sustancias que se han revisado a lo largo de la unidad, tratar de que los estudiantes generen explicaciones sobre cuál es el principal factor que influye en los diversos puntos de fusión
- Recapitulación

SESIÓN 7

- Evaluación

APÉNDICE 2

ENTREVISTAS

Grupo 1

Alumno 1

Entrevistador (E): ¿Puedes decirme cuál es la diferencia entre las líneas que están representadas aquí?

Alumno (A): Pues bueno la que está aquí [señalando la punteada] es la unión entre las moléculas y la otra es la unión entre los átomos

E: y entonces, ¿cuál es la diferencia?

A: [...] pues es que si unen cosas distintas no pueden ser iguales [...] y bueno, esta [señalando la punteada] es como que más larga

E: ¿y cuáles son sus semejanzas?

A: pues no sé, yo diría que no tienen semejanzas

E: ¿estás seguro?

A: pues sí, o sea, si son un poco iguales porque como que unen átomos pero si fueran del todo iguales pues unirían siempre átomos o siempre moléculas

E: De acuerdo con tu respuesta la causa de que el enlace ocurra es por razones de estabilidad... ¿puedes explicarlo mejor?

A: [...] pues bueno, lo que pasa es [...], bueno, cuando se enlazan son más estables

E: Sí, pero, ¿puedes decirme por qué?

A: [...] mmm, pues, lo que pasa es que cuando se enlazan se acomodan sus electrones

E: ¿Cómo es este reacomodo, al azar?

A: no, cada vez que hay un enlace se acomodan para que cada uno de los átomos tenga ocho electrones

E: Ocho, ¿por qué ocho?

A: Pues ... porque ... según yo, son los electrones que hay en un gas noble

E: ¿Ocho en total?

A: No, ocho electrones externos, esos son los únicos que cuentan

E: De acuerdo, pero, ¿por qué ocho son más estables que siete, conoces alguna razón?

A: [...], los gases nobles no reaccionan, entonces son estables [...], algo así, ¿no?

E: pero, ¿puedes tratar de encontrar alguna razón?

A: [...], no sé, [...] la verdad creo que no, no sé porque ocho

E: Aquí dices que la diferencia en el punto de fusión de las sustancias es por la capacidad calorífica, ¿puedes explicarlo mejor?

A: Pues es que el punto de fusión depende de cuánto calor puedan absorber

E: ¿Por qué?

A: Pues porque si pueden absorber mucho calor sin calentarse mucho pues entonces su punto de fusión es muy alto

E: Los metales, ¿por ejemplo?

A: ¿qué con ellos?

E: ¿Cómo son sus puntos de fusión y su capacidad calorífica?

A: Pues los dos son altos, ¿o no?

E: [Para el caso de la botella llena de oxígeno] Aquí dibujas estas bolitas juntas, ¿puedes explicarme qué son?

A: pues son las moléculas de oxígeno [...] cada bolita es un átomo de oxígeno

E: [Para el caso del diamante] Y este dibujo, ¿me lo puedes explicar?

A: pues es que no sé bien cómo está el diamante, por eso pongo así nada más una figura que como que parece diamante

E: [Para el caso del clavo de hierro] Y aquí, ¿qué significan las bolitas?

A: Pues es que el clavo está hecho de átomos de hierro, no, como que están muy muy juntitos

E: ¿y cómo están unidos?

A: [...] pues no sé, no lo tengo muy claro, porque están como así, yo creo que algo de los electrones, pero no sé

E: ¿Por qué los electrones?

A: Pues bueno, es que los electrones atraen a los protones y al revés, así que pues por eso se han de unir

E: Y aquí, en el cloruro de sodio

A: [...] pues eso es lo que vimos en clase, que están como unos positivos y otros negativos y se atraen

E: y entonces las bolitas que pones aquí, ¿qué representan?

A: pues aquí son los iones, ¿no? allá arriba eran los átomos pero aquí, creo que no hay átomos sino que tienen como una carga

E: ¿y entonces el enlace es diferente?

A: pues no tanto, porque es como que por sus cargas, pero en el otro las cargas están adentro y aquí están como que afuera o algo así

E: ¿afuera de qué?

A: [...] bueno, no me haga mucho caso, no es como que afuera [...] sino que aquí son iones y en el oxígeno son átomos.

Alumno 2

E: Aquí dices que la diferencia entre estas dos líneas es la fuerza, ¿puedes explicarlo mejor?

A: pues es que si uno es adentro de la molécula y el otro es entre moléculas, pues tienen que tener distinta fuerza

E: ¿Por qué?

A: Pues yo veo el caso del agua, que tienes el agua y cuando hierve, pues como que se rompen los enlaces de acá [línea punteada], pero no se rompen los de acá [línea sólida], entonces pues bueno, así, tienen distinta fuerza.

E: ¿Y en qué son semejantes?

A: pues es que los dos se dan por las cargas, entonces pues la razón por la que ocurren ambos es la misma

E: Aquí dices que los átomos se unen por las cargas, ¿puedes explicarlo mejor?

A: Bueno, pues es que los átomos tienen cargas opuestas y por eso se unen, los de las cargas opuestas

E: ¿Los átomos tienen cargas?

A: Bueno, no son los átomos, sino que tienen protones y electrones y esos tienen cargas y se atraen y se unen

E: ¿Me puedes explicar un poco más?

E: ¿A qué se debe la diferencia en el punto de fusión de las sustancias?

A: Pues bueno, yo digo que se debe al enlace, porque, pues bueno a veces es más fuerte y otras no, como lo que te explicaba arriba del agua

E: Y de qué depende eso

A: Pues de muchas cosas, pero sobre todo depende de los átomos que se unan

E: ¿Cómo es eso?

A: pues sí, si es un enlace iónico, que está hecho por átomos de metales y de no metales, pues entonces es como que más fuerte que uno covalente como el del oxígeno y eso hace que los puntos de fusión sean diferentes.

E: entonces, ¿el enlace depende de los átomos que se unan?

A: pues si no, y también la fuerza del enlace y eso hace que sean diferentes los puntos de fusión

E: [En el dibujo del cloruro de sodio] ¿Me puedes explicar este dibujo de la sal?

A: en el enlace iónico hay muchos iones y es como que todos están unidos con todos porque unos son positivos y otros negativos.

E: ¿y entre todos hay la misma fuerza?

A: pues sí, bueno los de carga igual se repelen pero al final sí, entre todos hay la misma fuerza

E: y en este caso, ¿a qué se debe el enlace?

A: pues bueno, es por la atracción entre iones que tienen cargas diferentes

E: [En el caso de la botella llena de oxígeno] ¿Y en este caso?

A: Bueno, pues aquí más bien ahí hay como que moléculas que están formadas por átomos

E: ¿Y esas moléculas interactúan?

A: Pues no tanto, porque es un gas entonces, igual y llegan a chocar pero no mucho

E: [En el caso del diamante] ¿Qué quieren decir las líneas que pones entre los distintos carbonos?

A: Pues es que como el carbono puede formar cuatro enlaces, pues así se acomoda de forma que esté rodeado de cuatro y entonces a donde volteas cada carbono tiene cuatro carbonos y así se hace una estructura grande

E: ¿Y por qué ocurre esto?

A: Pues tiene que ver con las propiedades del carbono porque casi nadie más lo hace así, y también así se parece al grafito, pero creo que ahí se acomodan de otra forma

E: ¿Y cómo es el enlace aquí?

A: Pues muy fuerte, es covalente, pero es que además como todos se enlazan con todos, pues eso hace que sea todavía más fuerte

E: [En el caso del hierro] ¿Y aquí?

A: Bueno, ahí lo que pasa con los metales es que sueltan sus electrones

E: ¿Los sueltan?

A: Pues es que no pueden robarse los del otro entonces cuando se acercan a otro átomo de metal atraen a los electrones del otro, pero no tanto como para quedarse por él, entonces se quedan por ahí

E: ¿y qué hacen por ahí?

A: pues pueden moverse y yo digo que se acomodan donde puedan estorbar las fuerzas de repulsión entre los núcleos... porque si no, pues entonces no podría existir el metal

E: ¿Cómo?

A: lo que digo es que esos electrones son los que hacen que los metales sean maleables y conduzcan la electricidad y todo eso

Alumno 3

E: Aquí pones que no hay ninguna diferencia entre estas dos líneas, puedes explicarme por qué

A: Pues porque son enlaces las dos, así que son iguales

E: y entonces, ¿no son distintas en nada?

A: Pues no, no son distintas en nada

E: ¿y en qué son similares?

A: pues en todo, son enlaces así que son igualitas

E: En esta respuesta dices que los átomos se unen porque así logran tener mayor estabilidad, ¿puedes explicar mejor?

A: pues es que los átomos cuando están solos son inestables, se unen con otros y disminuyen la energía

E: ¿Qué energía?

A: Pues la energía, es como, no sé muy bien, pero lo importante es que como con todo, los sistemas quieren tener poca energía y entonces cuando se unen disminuye su energía

E: ¿y cómo logran esto?

A: pues casi siempre se juntan con otro que tenga los electrones que le hagan falta

E: ¿Falta, para qué?

A: Pues es que [...] para eso de la estabilidad como que tienen que tener ocho electrones, o bueno, parecerse a los gases nobles, entonces se juntan con otro que le puedan dar los electrones que le hacen falta

E: ¿Y por qué son ocho?

A: Pues porque [...] esa está buena, [...] no sé porque ocho, pero sé que con ocho se parecen a los gases y lo que les pasa a los gases es que no reaccionan.

E: Y los puntos de fusión diversos, ¿a qué se deben?

A: Pues es que es por los enlaces, hay unos fuertes y otros no tanto, entonces si son menos fuertes el punto de fusión es más bajo

E: O sea, que depende sólo del enlace

A: básicamente sí, aunque bueno [...], pues también importa como se acomoden porque si hay muchos enlaces pues va a ser más difícil romperlos, o sea que como que ha de depender como de todo eso del enlace y también del número de enlaces, como en el diamante, ¿no?

E: [Para el dibujo del hierro], ¿y esto que pones aquí?

A: Bueno, las rayitas esas son como los electrones que se mueven y aquí se quedan como que los átomos de hierro

E: ¿los átomos?

A: Bueno, es que los átomos dejan sus electrones y se quedan con cargas positivas [...] y lo que quiero decir así, es que los electrones se andan moviendo todo el tiempo

E: ¿Y por qué dejan los electrones?

A: Pues porque así están más estables, sólo así tienen ocho electrones externos y con eso ya están bien [...], bueno, no bien sino que estables

E: [En el caso del cloruro de sodio] ¿puedes identificar cuál es el enlace iónico aquí?

A: mmm [...] ¿cómo? [...] pues todos son enlaces iónicos, ¿no? tus preguntas confunden

E: ¿y todos son iguales?

A: pues sí, porque todos son entre los iones, o sea, aquí no hay como que un enlace sino que todos cuentan como enlaces

Alumno 4

E: ¿Por qué no contestaste la pregunta?

A: Pues no sé, es que la verdad creo que todos los que están ahí son enlaces, pero no entiendo bien por qué son diferentes o por qué son iguales, así que pues mejor lo dejé así

E: ¿Y ahora puedes decir algo al respecto?

A: Pues no, la verdad, no.

E: ¿Aquí pones que los átomos se unen para tener ocho electrones, por qué?

A: Pues porque eso nos dijeron desde la secundaria

E: Pero, ¿puedes pensar en alguna razón para que eso ocurra así?

A: Pues no sé, es que así están bien, cuando tienen ocho

E: Sí, pero ¿por qué?

A: No sé [...] ha de ser por las cargas o algo así

E: En este caso, dices que los puntos de fusión son diferentes porque son diferentes compuestos, ¿se te ocurre alguna razón por la que esto ocurra?

A: pues es que así son los compuestos, algunos tardan más para fundirse que otros

E: de acuerdo, pero ¿por qué?

A: pues es que todo es diferente, los elementos que tienen y también como se acomodan, entonces pues todas las otras propiedades también tienen que ser diferentes, ¿no?

E: pues sí, pero la idea es tratar de explicar a qué se deben las diferencias

A: bueno, pues ha de ser algo de los átomos o algo, pero la verdad es que no sé bien qué es lo que sea

E: [En el caso del cloruro de sodio] y este dibujo, ¿qué representa?

A: pues que así se acomodan

E: ¿y por qué?

A: pues no sé bien, pero he visto este dibujo repetido muchas veces

E: ¿y qué te imaginas que significa?

A: pues yo creo que son como los átomos o así, pero no sé bien. Creo que no había pensado en eso nunca.

Grupo 2

Alumno 5

E: Aquí dices que la diferencia entre estas líneas es lo que unen, ¿puedes explicar mejor?

A: [...] pues yo diría que esta representa un enlace intramolecular y esta uno intermolecular, o sea que está es entre las moléculas y esta es adentro de las moléculas, más bien entre los átomos que forman a las moléculas

E: y entonces ¿cuáles son sus semejanzas?

A: pues son semejantes, porque las dos se dan porque ahí cargas en los átomos

E: ¿Cargas?

A: pues sí, como en el agua, que ya hemos visto eso de que tiene como que cargas parciales, pues así entonces se unen, yo diría que este [señalando la línea punteada] es como el puente de hidrógeno, porque es entre las moléculas y se da porque hay algo positivo y algo negativo

E: ¿y la otra línea?

A: pues ahí también es por cargas, pero es por las que están adentro de los átomos como los protones y los electrones y eso, y por eso es más fuerte esa que la de las moléculas

E: entonces, ¿también la fuerza es diferente?

A: pues sí, porque la fuerza también depende de lo que unen y si unen moléculas es menos fuerte

E: Tú dices que los átomos se enlazan para equilibrar las cargas, ¿qué quiere decir eso?

A: Pues [...] no sé, quiere decir que los átomos tienen cargas, entonces cuando se juntan, pues tienen que juntarse positivo con negativo para que al final no tenga carga, sino que se equilibren y haya igual de positivos que de negativos

E: ¿Todos los átomos tienen cargas?

A: Pues sí porque todos tienen protones que son positivos y electrones que son negativos y neutrones que pues esos más bien no cuentan

E: ¿y qué pasa con las cargas cuando se unen?

A: pues las cargas se quedan como están, no cambian mucho, sino que más bien pues cuando están junto con las de los otros pues se equilibran

E: ¿o sea, que hay el mismo número?

A: pues esa puede ser una, [...], no sé, más bien sí, si tienes ocho positivas pues necesitas ocho negativas para que al final la suma sea cero

E: y si los átomos no se juntan con otros, ¿cuál es su carga?

A: pues eso depende del átomo, unos positivos y otros negativos

E: ¿y los puntos de fusión, por qué son diferentes?

A: pues igual, por los enlaces

E: ¿puedes explicar mejor?

A: pues como hay diferentes enlaces pues entonces las fuerzas son diferentes, porque se atraen de maneras diferentes

E: ¿y por qué se atraen de maneras diferentes?

A: ah, pues eso depende de los átomos, [...] vimos en clase que unos hacen enlaces iónicos y entonces tardan en fundirse, como la sal y así y también hay otros como el nitrógeno líquido, que para que sea líquido tiene que estar a unas temperaturas muy muy muy bajas, entonces bueno, pues no siempre es igual aunque siempre sea un enlace

E: [En el caso del clavo de hierro] ¿Por qué dibujas así el hierro?

A: Bueno, es que en los metales, pues así se acomodan

E: ¿Bueno sí, pero puedes explicar mejor?

A: Bueno, pues es que estos que están aquí, los de en medio, son pues son los cationes y estos como de alrededor son los electrones

E: ¿y por qué se quedan los cationes así en medio?

A: pues lo que pasa es que no se forman iones, pero algo así como que sueltan sus electrones

E: ¿por qué?

A: pues es que es como que un átomo de metal con otro átomo de metal, entonces pues como que se atraen, pero no tanto y entonces como que se quedan todos los electrones, pues no sé..., se quedan pues como que se pueden mover...

E: [En el caso de la botella de oxígeno] ¿y aquí, qué significan esas rayas?

A: Pues es que el enlace en el oxígeno es doble porque tiene muchos electrones

E: y ¿cómo es el enlace entre esos átomos?

A: pues es como que comparten los electrones y entonces ya no tienen cargas y entonces ya están como que mejor

E: y entre las moléculas de oxígeno, ¿hay uniones?

A: pues yo creo que no [...], no pues igual si se mueven y a veces pueden tocarse, pero sólo poquito porque si no pues ya más bien no sería un gas

E: [En el caso del cloruro de sodio] ¿y aquí, qué es lo que tienes?

A: Pues es que aquí de nuevo las cargas, como el sodio tiene una carga positiva pues entonces necesita una negativa y entonces agarra la del cloro y entonces se van acomodando de la mejor forma que puedan para equilibrarse y casi siempre es como un cubo

E: ¿y cómo es el enlace en ese caso?

A: pues así como lo ves en ese dibujo, como de muchos al mismo tiempo, no tienes como que un enlace sino muchos y esos muchos al final hacen el enlace

E: [En el caso del diamante] ¿y en este caso, qué pasa?

E: ¿puedes explicar mejor?

A: pues como hay diferentes enlaces pues entonces las fuerzas son diferentes, porque se atraen de maneras diferentes

E: ¿y por qué se atraen de maneras diferentes?

A: ah, pues eso depende de los átomos, [...] vimos en clase que unos hacen enlaces iónicos y entonces tardan en fundirse, como la sal y así y también hay otros como el nitrógeno líquido, que para que sea líquido tiene que estar a unas temperaturas muy muy muy bajas, entonces bueno, pues no siempre es igual aunque siempre sea un enlace

E: [En el caso del clavo de hierro] ¿Por qué dibujas así el hierro?

A: Bueno, es que en los metales, pues así se acomodan

E: ¿Bueno sí, pero puedes explicar mejor?

A: Bueno, pues es que estos que están aquí, los de en medio, son pues son los cationes y estos como de alrededor son los electrones

E: ¿y por qué se quedan los cationes así en medio?

A: pues lo que pasa es que no se forman iones, pero algo así como que sueltan sus electrones

E: ¿por qué?

A: pues es que es como que un átomo de metal con otro átomo de metal, entonces pues como que se atraen, pero no tanto y entonces como que se quedan todos los electrones, pues no sé..., se quedan pues como que se pueden mover...

E: [En el caso de la botella de oxígeno] ¿y aquí, qué significan esas rayas?

A: Pues es que el enlace en el oxígeno es doble porque tiene muchos electrones

E: y ¿cómo es el enlace entre esos átomos?

A: pues es como que comparten los electrones y entonces ya no tienen cargas y entonces ya están como que mejor

E: y entre las moléculas de oxígeno, ¿hay uniones?

A: pues yo creo que no [...], no pues igual si se mueven y a veces pueden tocarse, pero sólo poquito porque si no pues ya más bien no sería un gas

E: [En el caso del cloruro de sodio] ¿y aquí, qué es lo que tienes?

A: Pues es que aquí de nuevo las cargas, como el sodio tiene una carga positiva pues entonces necesita una negativa y entonces agarra la del cloro y entonces se van acomodando de la mejor forma que puedan para equilibrarse y casi siempre es como un cubo

E: ¿y cómo es el enlace en ese caso?

A: pues así como lo ves en ese dibujo, como de muchos al mismo tiempo, no tienes como que un enlace sino muchos y esos muchos al final hacen el enlace

E: [En el caso del diamante] ¿y en este caso, qué pasa?

A: Pues igual es que como son iguales se unen mucho

E: ¿Por qué?

A: Pues bueno, es que ahí no hay cargas, o sí bueno, [...] por eso se unen, pero ya que se unieron, no quedan cargados, entonces pues están entre muchos y por eso es así el diamante, como que todos se unen con todos

Alumno 6

E: Aquí escribes ambas líneas son enlaces y que los enlaces son uniones, ¿son todos los enlaces iguales?

A: Pues no, en verdad, no tanto, lo que pasa es que todos son enlaces y entonces si son uniones

E: entonces, bueno, ¿todas las uniones o enlaces son del mismo tipo?

A: pues no, en clase vimos que hay enlaces de distintos tipos

E: y entonces ¿a qué te referías con que todos son enlaces?

A: bueno, es que sí, el enlace es como lo que hace que los átomos estén juntos, pero bueno, a veces es de un tipo y a veces es de otro

E: ¿a qué te refieres?

A: ya me acuerdo, a veces es covalente y a veces es (...) iónico

E: ¿y éstos no tienen nada en común?

A: no, no que yo sepa, porque aunque sean uniones, lo que unen, pues es como que muy diferente, ¿no? cuando es iónico une unas cosas y cuando es covalente pues une otras

E: pero, ¿entonces?

A: pues ya, unos enlaces son covalentes y otros enlaces son iónicos

E: Y, siguiendo un poco con lo mismo, ¿por qué se enlazan los átomos?

A: pues, yo creo que tiene que ver con la estabilidad

E: ¿A qué te refieres?

E: Pues es que cuando están solos son como muy inestables y no pueden estar así, creo que hay unos que sí, pero no me acuerdo cuáles

E: ¿y por qué se vuelven estables?

E: pues tiene que ver con la configuración de los electrones que tienen

A: ¿Podrías explicar mejor?

A: bueno, es que es de esas cosas que como que dices pero no entiendes, pero [...] bueno, depende de cómo están los electrones, o algo así, que a veces se unen con unos o con otros y entonces cuando se unen comparten sus electrones

E: y entonces, ¿por qué se unen?

A: pues creo que la razón por la que se unen es porque cuando comparten sus electrones se quedan más estables

E: entonces, ¿siempre que se enlazan comparten los electrones?

A: yo creo que sí, aunque no, eso es en el enlace covalente, en el iónico es por las cargas

E: Y los puntos de fusión de las sustancias, ¿por qué son tan distintos?

A: Bueno, pues porque unos tienen enlace covalente y otros iónicos

E: ¿y entonces?

A: pues nada un enlace es más fuerte que el otro y por eso unos tienen mayor temperatura y otros menor

E: ¿depende solamente del enlace?

A: pues hasta donde yo entiendo, sí.

E: [en el caso del dibujo del diamante] ¿Por qué dibujas el diamante así?

A: pues lo que hay aquí, pues bueno, son átomos de carbono, porque pues todos los átomos del diamante son carbonos...

E: ¿por qué los dibujas así, de esta forma?

A: pues porque si te fijas, pues cada uno tiene cuatro juntos, eso nos lo enseñaron en la secundaria, que cada carbono puede tener cuatro

E: de acuerdo, ¿pero por qué los acomodas así?

A: pues bueno, así como que ya no sé bien por qué... yo creo que se me ocurrió, pero la verdad no te puedo explicar bien a bien por qué

E: bueno, y ahora que lo ves ¿qué puedes decir?

A: pues no, la verdad es que podría hacerlo así (garrapatea un polígono diferente), o así (otro nuevo garabato), siempre que cada carbono tenga otros cuatro alrededor, pero bueno, tú dime cuál es el que si va de a deveras

E: [En el caso del clavo de hierro] ¿Y aquí?

A: Pues se parece un poco al diamante, sólo que aquí pues lo que tienes son átomos de hierro, y esos átomos pues se acomodan de otra forma

E: ¿y de qué depende la forma?

A: pues yo creo que puede depender de muchas cosas, la verdad es que este no sé como sea y por eso pues lo pinté así

E: [Para el cloruro de sodio] Este cubo que tu pintas aquí, ¿qué es lo que representa?

A: bueno, es que adentro de ese cubo están los iones que forman a la sal, eso es lo que estoy intentando pintar

E: ¿cómo están los iones?

A: pues así, repartidos

E: ¿cómo?

A: pues no están muy ordenados, pero bueno sí, porque los negativos tienen que estar lejos de los negativos y cerca de los positivos

E: ¿y entonces el cubo?

A: bueno, pues yo creo que así es como pueden acomodarse

E: [Para la botella de oxígeno] Y estas bolitas de aquí, ¿qué son?

A: Pues es el oxígeno, que está en toda la botella

E: y las bolitas qué son

A: pues son los átomos de oxígeno

E: ¿así están solitos los átomos?

A: pues no deberían, ¿verdad?

E: bueno, tú dime

A: pues yo creo que no, pero la verdad es que ahí no me acordé, ya me acuerdo que el oxígeno que respiramos tiene dos átomos de oxígeno, ¿no?

Alumno 7

E: ¿Cuáles dirías tú que son las diferencias entre estas líneas?

A: Pues la verdad es que creo que la única diferencia es que aquí se unen moléculas y aquí átomos

E: ¿Puedes pensar en algunas características de estas uniones?

A: [...] Bueno, a lo mejor tienen diferente fuerza, ¿no? yo creo que esa es la diferencia pero en todo lo demás son iguales

E: ¿cómo?

A: pues sí porque tienen que ver con las cargas y eso, así que más bien, es como que la fuerza diferente, pero más bien son como iguales

E: ¿Por qué se unen los átomos?

A: Pues por el enlace

E: ¿Qué quieres decir con enlace?

A: Pues eso, que los átomos se juntan

E: de acuerdo, pero ¿cuál es la razón por la que se juntan?

A: pues no sé [...], es que no siempre son las mismas razones [...] ¿o sí?

E: ¿tú qué dices?

A: pues es que hablamos de muchas cosas del enlace, pero tu pregunta [...], no sé, no la puedo contestar

E: ¿Por qué hay sustancias como el azúcar que funde a 80°C y otras como la arena que funde a 1600°C ?

A: Por el enlace

E: ¿Puedes explicar mejor?

A: [...] cuando digo enlace, quiero decir que el azúcar tiene menos fuerza que la arena, o sea, es más fácil separarlos [...] también es que en la arena hay más enlaces que en el azúcar

E: Entonces, no sólo es por el enlace

A: Bueno, son como las dos cosas, por un lado, cada enlace tiene una fuerza distinta, y por otro, [...], pues mientras más enlaces tengas necesitas más calor para romperlos

E: [En el caso del cloruro de sodio] y esto que representas aquí

A: pues esos, los que tienen el signo de más son los cationes, y los que tienen el signo de menos son los aniones, y se acomodan así, todos

E: ¿cómo?

A: pues así, unos junto a los otros, pero forman figuras geométricas, a veces cubos y a veces otras cosas

E: ¿y de qué depende?

A: pues de los átomos que estén juntos, pero cuando son iónicos siempre es así

E: ¿sólo en los iónicos?

A: pues según yo, sí

E: [En el caso de la botella de oxígeno] Y aquí, ¿qué quiere decir esto?

A: pues estos son los átomos de oxígeno, que tienen un doble enlace y forman el oxígeno que respiramos y estas rayitas, pues quiere decir que se están moviendo

E: ¿y se unen entre sí?

A: pues no, porque se están moviendo

E: [En el caso del hierro] ¿Aquí también pintaste iones?

A: [...] Parece, ¿verdad?, pero no, es diferente, aquí estos [los que tienen carga negativa] son electrones, no iones

E: ¿y por qué están así?

A: pues es que así tienen que estar

E: ¿por qué?

A: pues porque se mueven y entonces así conducen la electricidad y todo eso

E: ¿pero por qué tienen que estar así?

A: pues es que es algo de la electronegatividad o algo así, no me acuerdo [...]

Alumno 8

E: Entonces, ¿cuáles crees tú que son las diferencias y las semejanzas entre estas líneas?

A: pues la semejanza es que son enlaces no, y entonces pues pueden ser iguales y además unen a los mismos átomos, entonces pues no, no le veo la diferencia, más bien yo creo que son siempre iguales

E: ¿Y por qué crees que se unan los átomos?

A: pues yo creo que tiene que ver con eso de las cargas

E: ¿cómo?

A: pues sí, si unos tienen cargas positivas y otros no, pues esos son los que se van a unir y los que tienen cargas iguales pues no se unen, se quedan separados

E: ¿y por qué las cargas hacen que se unan?

A: pues es que las cargas se tienen que neutralizar, por eso es positivo con negativo

E: ¿y todos los átomos tienen carga?

A: yo creo que sí, aunque bueno [...] pues sí, ¿no? todos tienen partes positivas y partes negativas, así que eso es lo que hace al final que hagan el enlace

E: ¿Cómo explicas que hay sustancias que tienen muy alto punto de fusión como la sal que funde a 800 °C y el azúcar, que funde a 80 °C?

A: pues eso tiene que ver con el enlace, porque uno es iónico y el otro no

E: ¿y qué pasa cuando los enlaces son iónicos?

A: pues es que son más fuertes

E: ¿por qué?

A: pues eso tiene que ver con los átomos que los forman, porque como que son muy diferentes, como en la sal, el sodio es un metal y el cloro es un no metal, así que entre más distintos, más fuertes [...]. bueno, el enlace es como que más difícil de romper

E: ¿y en el azúcar?

A: ah, pues es que [...] en el azúcar el enlace es covalente, como que se parecen más los átomos y entonces pues el enlace no es como que tan fuerte como en la sal.

E: ¿y puedes pensar en alguno que no tenga enlace iónico pero que tenga un alto punto de fusión?

A: [...] pues creo que sí había alguno, pero la verdad, no me acuerdo.

E: [En el caso del diamante] ¿Por qué dibujas esta figura con los carbonos?

A: pues porque es como el diamante, que está formada por carbonos

E: y entonces los átomos hacen la misma figura que tiene el diamante

A: pues como que sí, ¿no? ... no podría acomodarlos de otra manera, pues porque el diamante es así, o bueno, no sé, pero si fuera de otra forma, no sé, como un cubo, pues entonces los acomodaría como en un cubo.

E: [En el caso del hierro]. ¿Y aquí, cuál es tu idea?

A: Pues se parece al del diamante, ¿no?, se acomodan como para formar esta figura, así, todos están muy juntos y tienen muchas uniones

E: ¿y por qué ocurre eso?

A: pues no sé bien, pero así son los metales, están como que muy juntos sus átomos y entonces por eso son maleables y eso