

Estructura histórica y epistemológica sobre la teoría de valencia: una contribución para la enseñanza de la química

Diana Lineth Parga Lozano

Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá-Colombia.

Leonardo Fabio Martínez Pérez

Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá-Colombia.

William Manuel Mora Penagos

UNESP

Introducción

Desde la década de los 80 se comenzó a evidenciar una mayor preocupación por acercar historia y filosofía de las ciencias (HFC) con los problemas de la enseñanza de las ciencias. Las discusiones sobre constructivismo, multiculturalismo, formación de profesores, entre otros, se vieron fuertemente influenciados por trabajos de historiadores y filósofos de las ciencias. Precisamente, Matthews (1998, p. 983) expone la estructuración de un fructífero campo de trabajo en la enseñanza de las ciencias fuertemente fundamentado por la HFC, evidenciado en la realización de varios eventos, aumento significativo de artículos y revistas que indicaban la constitución de una comunidad académica preocupada en pensar la naturaleza cultural, política, ética y personal del conocimiento científico.

Antes de los 80 no existía una preocupación sistemática sobre las contribuciones que podría generar la HFC para la enseñanza de las ciencias, tal desarticulación discutida por Duschl (1985) debería ser repensada a la luz de las exigencias sociales de la década de 80 y 90 que reclamaban una necesaria alfabetización científica y tecnológica para todos y todas como condición ecúanime para la construcción de sociedades democráticas. Era ineludible introducir a los estudiantes en un proceso de enculturación científica dado que la ciencia era cada vez más influyente en todas las

esferas sociales y por tanto se precisaba vislumbrar los valores y cuestiones éticas comprendidos en esa cultura.

La idea de una alfabetización científica y tecnológica para todos fue adoptada como el objetivo central de la educación en ciencias en Canadá, Australia, Nueva Zelandia y otros países, atendiendo a la crisis de la educación científica registrada en los 80 en varios informes americanos que apuntaban bajos conocimientos científicos tanto por parte de egresados de la educación media, como de la población en general (MATTHEWS, 1994, p. 29).

Aunque la necesidad de una alfabetización científica para todos fue una preocupación inicialmente pensada para países desarrollados, en poco tiempo se constituyó en un reto para la educación científica del planeta, pasando a ser una preocupación de investigadores y profesores de todo el mundo. Atender el reto no fue fácil, siendo indispensable la HFC para comprender las ciencias como una actividad humana entrelazada con asuntos éticos, culturales, políticos y personales.

En este orden de ideas, siguiendo a Matthews (1994, p. 7), indicamos que la articulación de la HFC con la enseñanza de las ciencias contribuye en: i) comprensión de conocimiento específico como herramienta para construcción de nuevos significados ii) formación de profesores sobre la naturaleza de la ciencia y su lugar en la sociedad, teniendo en cuenta que sus concepciones influyen en la enseñanza de contenidos científicos iii) comprensión de dificultades de aprendizaje de los estudiantes a la luz de los problemas enfrentados históricamente en la construcción de conocimientos científicos y iv) valorización de cuestiones contemporáneas sobre la formación de profesores y programas curriculares enfocados a discusiones tales como: multiculturalismo, feminismo en la ciencia, ciencia ambiental, aprendizaje por investigación, currículos ciencia, tecnología, sociedad, entre otros.

Teniendo en cuenta los aspectos considerados anteriormente, a mediados de la década de 1990, se evidenciaba prácticamente la constitución de un campo de trabajo en la enseñanza de las ciencias articulado a la HFC y una preocupación permanente de visualizar esta relación tanto en las agendas de varias asociaciones científicas como en las orientaciones curriculares en materia de ciencia y tecnología (MATTHEWS, 1998, p. 985).

De acuerdo con Lombardi (1997) es prácticamente consenso en la comunidad de investigadores de la enseñanza de las ciencias la importancia que tiene la HFC en los procesos de enseñanza y aprendizaje de conceptos científicos. En el caso de la enseñanza de la química la situación parece no ser diferente, evidenciándose una preocupación permanente de investigadores por el estudio histórico y epistemológico de la química como elemento fundamental para

comprender dificultades epistemológicas y conceptuales de los estudiantes sobre teorías y modelos químicos (FURIÓ y FURIÓ, 2000; FURIÓ y DOMÍNGUEZ, 2001).

Otra contribución importante de la HFC se encuentra en la formación de profesores de ciencias, quienes requieren conocer la naturaleza del conocimiento objeto de enseñanza tanto en su estructura interna como en el contexto social e histórico de su producción. Como es planteado por Matthews (1994, p. 200), HFC deben ser un componente central de la formación del profesor para ayudarlo a entender la disciplina que enseña, en otras palabras, para ayudarlo a pensar la estructura del conocimiento específico (subject matter) que caracteriza su profesión, como asertivamente fue considerado por Shulman (1986, p. 9), los profesores no sólo deben ser capaces de definir lo que es aceptado en un determinado dominio, sino también, deben explicar el por qué es válido un determinado conocimiento y cómo este se encuentra relacionado con otras proposiciones, en este sentido, los contenidos de enseñanza no pueden ser los mismos contenidos elaborados por quienes producen el conocimiento científico, sino que requieren una transformación para ser enseñado; y para ello se necesita un conocimiento particular llamado por Shulman como conocimiento pedagógico del contenido (CPC).

Formar profesores de ciencias exige necesariamente dar cuenta por el qué y el cómo enseñar, como hacen referencia, Porlán y Martín (2006), es necesario poner de manifiesto la importancia de un “conocimiento profesionalizado sobre los contenidos a enseñar” que incluya como referente el conocimiento de la materia a enseñar, indispensablemente articulado a su naturaleza filosófica e histórica.

En la perspectiva de continuar pensando la articulación de la HFC con la enseñanza de las ciencias y en particular con los procesos de formación de profesores, en este trabajo se realiza una discusión teórica sobre la construcción de una estructura histórica-epistemológica (EHE) sobre las teorías de valencia, como fundamento indispensable para la organización de actividades de enseñanza o para la construcción de unidades didácticas sobre enlace químico. Para atender a esta intención, primero realizamos una contextualización sobre la línea de investigación conocimiento didáctico del contenido curricular de la química (CDCCQ) que articula la historia y epistemología de las ciencias como un componente fundamental para la construcción de currículos y materias al rededor de *estructuras conceptuales evolutivas* cada vez más complejas.

Conocimiento didáctico del contenido curricular de la química: el papel de la HFC

Veal y MaKinster (1999) definen el CPC como la habilidad para *traducir* el contenido temático a un grupo diverso de estudiantes usando estrategias y métodos de instrucción y evaluación múltiples, tomando en cuenta las limitaciones contextuales, culturales y sociales en el ambiente de aprendizaje; a su vez, Grossman (1990) identifica cuatro fuentes a partir de las cuales el CPC se desarrolla en la formación del profesorado: la etapa como observador en las clases, tanto en su papel como estudiante como en la de profesor-estudiante (formación inicial del profesorado); la formación disciplinaria; los cursos específicos durante la formación como profesor y la experiencia de enseñanza en el salón de clases, los cuales determinan los siguientes componentes del conocimiento didáctico del contenido (CDC) considerados por Bolívar (1993) haciendo referencia a Grossman y Marks: (a) el conocimiento de la comprensión de los alumnos: su modo de comprender un tópico disciplinar, sus malentendidos y grados de dificultad; (b) el conocimiento de los materiales curriculares y medios de enseñanza en relación con los contenidos y alumnos; (c) las estrategias didácticas y procesos instructivos: representaciones de tópicos particulares y actividades; y (d) los conocimientos de los propósitos o fines de la enseñanza de la materia: concepciones de lo que significa enseñar un tema.

Martín del Pozo y Rivero (2001) al referirse a las ideas anteriores de Grossman enfatizan en que las concepciones del para qué se enseña un contenido, de las estrategias para enseñarlo, de cómo lo aprenden los estudiantes y del currículo, capacitan para entender cómo se pasa de la lógica disciplinar a la lógica de la enseñanza; cambio de lógica que es llamado por Shulman transformación, para Chevallard, transposición didáctica y para García-Díaz (1998) integración didáctica. Aunque los tres modelos difieren en algunos principios en torno a la finalidad educativa de las disciplinas y de las estrategias de aplicación en el aula de clase, se puede decir que corresponden a un proceso de mediación didáctica realizada por el profesor sobre el contenido específico de enseñanza.

Por su parte, la *transposición didáctica* pretende aproximar el conocimiento que tienen los estudiantes con el conocimiento científico, donde la meta es llegar al conocimiento científico. La *integración didáctica*, pretende la integración y complejización del pensamiento de los estudiantes, desde visiones simples y cotidianas en donde los problemas científicos se abordan desde perspectivas amplias y el conocimiento científico es sólo un referente y no una meta (MORA y PARGA, 2007).

Estando de acuerdo con la perspectiva de la integración didáctica, consideramos el diseño curricular de los contenidos para la enseñanza de la química como un espacio de intersección

interdisciplinar entre cuatro grandes áreas (o esferas del conocimiento): i) conocimiento disciplinar ii) conocimiento histórico – epistemológico y sociológico iii) psicología del aprendizaje iv) conocimiento de la didáctica específica y conocimiento del contexto escolar donde se realiza la labor docente. La interacción de estas disciplinas conforma, para nosotros, el conocimiento didáctico del contenido curricular, CDCC (Ver figura 1).

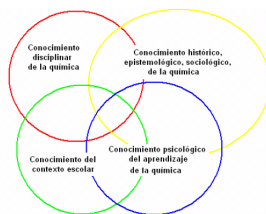


Figura 1: Conformación del conocimiento didáctico del contenido curricular tomado de Mora y Parga (2007)

Bolívar, (2005) sostiene que tanto el programa de Shulman del CPC como el de la transposición didáctica de Chevallard, tienen limitantes y donde las críticas más significativas son: primero, ambas aquejan unas concepciones en exceso tradicional del “profesionalismo docente” y que además, sólo es válida para la didáctica de las disciplinas en secundaria y comienzo de la universidad que destaca lo disciplinar y no la interdisciplinariedad y la integración del conocimiento que es un objeto central de la educación científica. Un segundo aspecto, es que el conocimiento didáctico curricular (CDC) parece ser más una construcción psicológica-cognitiva del condicionamiento profesional del profesorado y que dentro de la tradición europea se ha incluido dentro de las metodologías didácticas, también se plantea un cierto sesgo de reducción de la profesión docente y su desarrollo profesional a la formación en contenidos. El tercer aspecto es el de los límites ambiguos entre el conocimiento disciplinar y el conocimiento curricular.

Martín del Pozo y Rivero (2001) consideran que el CDC se caracteriza por ser el conocimiento profesionalizado de los contenidos en los profesores, y no se concibe exclusivamente como una metodología a enseñar y a evaluar, se trata del conocimiento especializado y característico del profesorado, que no deja de lado la historia, la epistemología y las implicaciones sociales y tecnológicas de las disciplinas; que se integran a los conocimientos que reseña Tamir (2005) en el conocimiento profesional docente y que incluye: el conocimiento sobre la educación en general, sobre la actuación personal, sobre la materia a enseñar, sobre la didáctica general, la didáctica específica de la materia y el conocimiento sobre los fundamentos de la profesión de la enseñanza.

Nos unimos a la idea de que el CDC es un dominio único del conocimiento profesional del profesor, producto de un campo de integración del saber pedagógico y didáctico del profesorado en relación con el saber de las ciencias con la intención de lograr una comprensión para el desempeño

profesional del profesorado de la educación en ciencias en la cual se investigan estas relaciones con fines de *enseñabilidad de los contenidos* en el *contexto disciplinar de las didácticas específicas*.

El CDC armoniza con el planteamiento de una epistemología escolar particular y un conocimiento epistemológico profesional del profesorado en el cual la enseñabilidad de los contenidos tendrían por objetivo no el paso del conocimiento cotidiano al científico, ni la transposición didáctica, sino una tercera posibilidad más centrada en la complejización de un pensamiento simple a uno complejo en el que la ciencia no es un fin sino un medio y en el que el CDC incluye el conocimiento socioambiental, científico, cotidiano y metadisciplinar. Esta complejización del CDC unido al conocimiento escolar, comprendería también niveles de formulación de progresión cada vez más complejas para lo cual la historia, la epistemología, la psicología y la sociología de las ciencias se hacen fundamentales, generando un *conocimiento pedagógico y didáctico profesionalizado del contenido*.

Este tipo de conocimiento profesional de los profesores posee como elemento fundamental el desarrollo de estructuras histórica-epistemológicas (EHE), entendidas como del análisis didáctico de las disciplinas científicas que resultan útiles para la determinación del conocimiento escolar a enseñar. Son un instrumento para organizar los conocimientos que se van a trabajar para ser luego articulados en **unidades didácticas** (como forma de organización y operacionalización del currículum). Estas estructuras son elaboradas desde la perspectiva del profesorado de acuerdo con la realidad de su institución escolar y de su práctica docente, estando orientada específicamente hacia la enseñanza de los contenidos en el contexto disciplinar de la didáctica de las ciencias atendiendo a procesos concretos de controversia sobre construcción de conceptos químicos en la historia de la química, como ya fue comentado en la primera parte de este artículo realizaremos un análisis histórico y epistemológico sobre las teorías de valencia delimitando nuestro estudio hasta el programa de investigación liderado por Lewis G.N.

Trabajar la construcción histórica del concepto de valencia se justifica en virtud de su importancia para comprender los conceptos de enlace químico estudiados en materias de programas de formación inicial de profesores y su correspondiente abordaje en la educación media. Tanto en los procesos de enseñanza y aprendizaje como en los libros de texto se presentan las ideas sobre enlace químico sin prestar mayor atención a su construcción histórica. Gallego et al (2004) al analizar el tratamiento histórico del concepto de valencia en algunos libros de texto de educación media del sistema colombiano concluyen que libros, tanto de educación media como de educación superior, presentan una definición del concepto de valencia que no tiene en cuenta la construcción histórica del concepto. Presentan el concepto de valencia referido a los electrones de la capa externa

del átomo, sin encontrarse en ninguno de ellos una mención del concepto relacionada con el poder combinatorio de los átomos.

La reconstrucción histórica y epistemológica del concepto de valencia se constituye en un conocimiento indispensable para la formación de profesores de química que articulados a los otros tipos de conocimientos favorece mejores procesos de enseñanza y aprendizaje en los estudiantes partiendo de niveles básicos para niveles complejos de comprensión.

Construcción de una estructura histórica y epistemológica de las teorías de valencia

Para comprender el desarrollo histórico del concepto valencia en las diferentes teorías sobre la combinación química, conviene estudiar la construcción y evolución de las investigaciones que llevaron a su formulación y reformulación a lo largo de los años, para esto, Toulmin (1977) nos ofrece un modelo de análisis evolutivo que articulado a una concepción compleja del conocimiento (MORIN, 1984), posibilita la superación de un abordaje lineal del desarrollo histórico de las disciplinas científicas, de esta forma los conocimientos científicos, abarcan un proceso complejo de transformación histórica, movilizada por la actividad humana de los científicos que constituyen empresas racionales bien estructuradas, que por lo menos comprenden dos fases: la primera, cuando es concebida como una disciplina, con una tradición comunal de procedimientos y técnicas para abordar problemas teóricos o prácticos y la segunda como una profesión con un conjunto organizado de instituciones, roles, y hombres, cuya tarea es aplicar o mejorar los procedimientos, estas dos fases plantean diferentes lecturas del desarrollo de la ciencia, pero es allí donde la historia puede indagar sobre los conceptos que poseen estas empresas racionales preguntando: ¿por qué una disciplina tiene los conceptos que tiene? ¿cómo estos conceptos empiezan siendo especulativos y luego adquieren un estatus de aceptación, que con el tiempo pierden autoridad y quedan reducidos a meras especulaciones?

A partir de estas preguntas buscamos comprender la aparición y evolución de la idea de valencia al interior de las investigaciones de químicos sobre la combinación química, para esto, articulamos nuestra orientación epistemológica (TOULMIN, 1977) con aportes históricos de la química ofrecidos por Stranges (1982); Partington (1989) y Laidler (1993); en consecuencia, proponemos 4 momentos de desarrollo de las ideas de valencia hasta la actualidad, aclarando que nuestro análisis estará restringido hasta la aparición del programa de investigación científica de Lewis G.N. El último momento correspondiente a la ampliación del concepto de valencia, en conformidad con las contribuciones de la teoría cuántica será un propósito de trabajos futuros.

Los preludios del concepto de valencia (primer momento: Finales del siglo XVIII y primera mitad del siglo XIX)

Hasta mediados del siglo XIX no existía en el lenguaje de los químicos la expresión valencia, a pesar que desde el siglo XVIII la preocupación por explicar la formación de sustancias orientaban las investigaciones sobre la combinación química.

Los estudios de Davy Humphry (1778-1829) junto con los trabajos de J.J. Berzelius (1779-1848) constituirían los fundamentos de la teoría electroquímica o teoría dualística de la combinación química que parecía funcionar adecuadamente para explicar la formación y composición de sales inorgánicas, el presupuesto básico de esta teoría era que los compuestos eran combinaciones de una parte positiva y una parte negativa atraídos por la naturaleza de las cargas, así, por ejemplo, Cobre y Azufre son más positivos que el Oxígeno, por tanto, son atraídos y sujetos por la carga negativa del oxígeno. La carga de los elementos no se cancela, de esta forma los productos permanecen ligeramente cargados.

Las primeras inconsistencias de esta teoría serían establecidas para el caso de sustancias orgánicas, lo que llevaría a su reconstitución y ampliación con los trabajos de J. Von Liebig (1803-1873) y F. Wöhler (1800-1882) quienes propusieron la teoría de los radicales que sin dejar de ser dualista dependía menos de la idea de atracción electrostática de óxidos fuertemente considerada en la teoría original del dualismo. Esta teoría estaba basada en la idea que durante una reacción orgánica hay un grupo de átomos que no tienen carga contando con un tipo de estabilidad especial, así, las sales de amonio podían ser descritas en conformidad con la teoría del radical.

La teoría de los radicales, como toda teoría química, fue parte de una construcción comunitaria construida a partir de una lectura crítica de los trabajos que vislumbraba la idea de radical como era el caso de J.B.A Dumas (1800-1884) quien consideraba que los compuestos estaban constituidos por dos partes que no necesariamente debería ser óxidos, por ejemplo, para él existían un grupos de átomos estables, llamados de radicales que podrían estar combinados con elementos comunes.

No obstante, los estudios sobre sustitución química en reacciones orgánicas mostraban que un elemento fuertemente electronegativo como el Cloro podría combinarse con un radical orgánico, lo que no era explicable con la teoría dualística, ni con la teoría de los radicales en su versión dualística.

Fue necesario la creación de nuevas ideas para explicar la obtención y caracterización de nuevos compuestos, apareciendo la teoría unitaria de la combinación química, considerando que muchos compuestos podrían ser una organización unitaria, así, átomos podrían ser reemplazados por otros átomos sin alterar significativamente las propiedades del compuesto original, de hecho la evidencia empírica mostraba la sustitución de un elemento electropositivo como el Hidrógeno por un elemento electronegativo como el Cloro apoyando las ideas de la teoría unitaria propuesta por

Auguste Laurent (1808-1853) que tenía como fundamento principal las reglas de sustitución expuestas por Dumas, en palabras de este autor citado por Stranges (1982, p. 13) el Hidrógeno contenido en una sustancia es substituido por la acción deshidrogenadora del Cloro, Bromo, Yodo, Oxígeno, etc, por cada átomo de Hidrógeno perdido se ganaba un átomo del Cloro, Bromo, Yodo, etc. Intentando explicar la sustitución de hidrógenos por átomos electronegativos en un radical, Laurent desarrollo su teoría fundamentada en los radicales o “núcleos fundamentales” considerando que estos definían el arreglo o disposición geométrica de los átomos en los compuestos y la clase de átomo determinaría las propiedades de la sustancia formada. Así en el proceso de sustitución de un átomo de Hidrógeno por uno de Cloro, este es aceptado y organizado para conservar el arreglo geométrico definido por el radical. Aunque esta teoría no fue aceptada por Liebig y Berzelius, entre otros, Dumas la retomó para proponer en 1839 su teoría de tipos considerando que algunos átomos podrían reemplazar el lugar de otros sin alterar substancialmente las propiedades de la sustancia, en este sentido, existían ciertos tipos iguales cuando en el lugar del hidrógeno era introducido un mismo volumen de Cloro, Bromo o Yodo.

Los trabajos de Dumas permitieron caracterizar 4 tipos (amonio, agua, hidrógeno-cloro e hidrógeno), a partir de los cuales químicos orgánicos esperaban derivar y clasificar los compuestos obtenidos o caracterizados. Estos trabajos fueron importantes para visualizar la idea de valencia y estructura de las formulas químicas asociados a los diferentes tipos.

Otras consideraciones sobre el cambio de modelo dualística al modelo unitario abarcando el papel de la teoría de los tipos puede consultarse en un trabajo elaborado anteriormente (MORA y PARGA, 2007).

A pesar de los considerables esfuerzos para explicar la naturaleza de la unión química de los átomos en las combinaciones químicas, en la mitad de siglo XIX aún existencia serias inconsistencias en las teorías elaboradas hasta aquella época. Con las investigaciones de E. Frankland (1825-1899) sobre compuestos órgano-metálicos se establecería el comienzo propiamente hablando de las teorías de valencia.

La constitución de la teoría clásica de valencia (segundo momento 1852-1904)

Pauling (1965, p. 1) plantea que Frankland propuso el concepto de valencia en 1852¹, estableciendo que un elemento forma compuestos uniéndose con un número definido de otros elementos. De acuerdo con Stranges (1982, p, 16) Frankland en su artículo publicado en 1852 sobre una nueva serie de compuestos orgánicos que contienen metales mostró que si bien el átomo de Arsénico se combina con 5 equivalentes de Oxígeno dando AsO_5 , el $As(C_2H_3)_2$ [$As_2 (CH_3)_4$]

¹ Considerando el abordaje de la combinación química desarrollado por Frankland varios autores consideran el creador del concepto de valencia, no obstante, siguiendo a Stranges (1982, p. 17) la palabra como tal fue inserida por Carl Wilhelm Wichelhaus (1842-1927) profesor de Tecnología química de la Universidad de Berlín.

(*Cacodyl*) reaccionaba con máximo 3 equivalentes de Oxígeno formando el (*Cacodylic acid*) $\text{As}(\text{C}_2\text{H}_3)_2 \text{O}_3$ $[(\text{CH}_3)_2 \text{AsO}_2\text{H}]$, el cual resistía fuertemente el ataque de agentes oxidantes, con base en esta y otras reacciones Frankland concluyó el valor superior e inferior de combinación del Arsénico sería 5 y 3 respectivamente. Al establecer el número de átomos o radicales con el cual un átomo específico podría combinarse, Frankland crearía la idea fundamental de una teoría de valencia, claro está, que su trabajo no se limitó al estudio de pocos compuestos órgano-metálicos de Arsénico y Antimonio ampliando sus indagaciones al estudio de compuestos inorgánicos.

Las consideraciones teóricas de Frankland no enfrentaron justamente las ideas sobre tipos y radicales, intentando comprender su naturaleza, sin embargo, no realizó mayores desarrollos sobre los radicales presentes en los compuestos órgano-metálicos estudiados, cuestión que sería abordada por otros químicos en la perspectiva de entender el papel de Carbono en estas sustancias. Precisamente en 1855 William Holding (1829-1921) y F. Kekulé (1829-1857) aclararon la regla del átomo de Carbono ampliando los 4 tipos considerados con anterioridad, incluyendo el metano (tipo CH_4), para superar estas ideas aún vinculadas a la teorías de los tipos, los químicos tuvieron que pensar y aceptar la unión entre átomos de Carbono (STRANGES, 1982, p. 18).

Justamente trabajos posteriores de Kekulé, al igual que estudios independientes de Archibald Scott Couper (1831-1892) discutirían la capacidad del Carbono para formar cadenas y su capacidad tetravalente para combinarse con varios átomos. Con estas investigaciones se constituiría la teoría clásica de valencia que posibilitaba pensar en las estructuras químicas² de las sustancias, en conformidad con la capacidad de combinación de estas con átomos de la misma o diferente naturaleza.

Los conocimientos construidos sobre valencia y estructura química contribuyeron significativamente en la comprensión de la formación de muchas sustancias orgánicas e inorgánicas, además de facilitar la escritura de formulas químicas. También, parecía ofrecer una alternativa para solucionar los cuestionamientos sobre el isomerismo del cianuro de amonio y la urea, pero no ayudaba en la comprensión de un segundo grupo de isómeros (ácido láctico, tartárico, aspártico y málico), abarcando inquietudes que no podían ser resueltas con el uso de estructuras químicas planas, este problema sería pensado a la luz de los trabajos de Wislicenus (1835-1902) citado por Stranges (1982, p. 19) quien al determinar la existencia de dos formas ópticamente activas de estos ácidos, pensaría en la existencia de estos isómeros como resultado

² De acuerdo con Pauling (1965, p. 2) el término estructura química fue insertado por el Ruso Butlerov A, quien considero importante expresar la estructura de un compuesto por una sola fórmula que debería mostrar cómo se unen los átomos de la molécula. Además, argumentaba que las propiedades de una sustancia estarían determinadas por su estructura molecular, sugiriendo también que sería posible encontrar la formula estructural de una sustancia estudiando la síntesis de la misma.

de la organización espacial de sus átomos, idea que sería independientemente trabajada por Van't Hoff (1852-1911) y Le Bel (1847-1930), cuando cada uno de ellos argumentó que los enlaces del Carbono estarían direccionados en el espacio de una determinada forma, así la valencia del átomo de Carbono determinaba la formación de 4 enlaces orientados hacia vértices de un tetraedro, de esta forma la actividad óptica de muchos compuestos de Carbono resultaba a partir del arreglo espacial de diferentes átomos organizados alrededor del átomo de Carbono central. Por su parte, Alfred Werner (1866-1919) desarrollaría la estereoquímica de las sustancias inorgánicas complejas.

Desenlace de la teoría electrónica de valencia (tercer momento 1904-1925)

Al principio del siglo XX la teoría clásica de valencia se vería fuertemente influenciada y redefinida por las investigaciones hechas por Thomson J (1856-1940) sobre la naturaleza de los electrones en los átomos. Para esta época, los químicos debieron prestar atención a las investigaciones de los físicos sobre la estructura del átomo para ampliar sus comprensiones sobre valencia. Justamente Laidler (1993. p. 339) considera que la primera teoría electrónica de valencia fue expuesta por R. Abegg (1869-1910) en 1904, sugiriendo que la configuración de los electrones en los gases nobles (recientemente caracterizados para aquella época) podría ser particularmente estable y que varios elementos poseían una valencia positiva y una valencia negativa (contravalencia) correspondiendo la suma de ambos a 8, notando además que la valencia positiva de un elemento correspondía a su grupo en la tabla periódica. Así mismo, consideró que cuando un elemento presenta su electrovalencia positiva o negativa esto depende de la diferencia de polaridad del elemento con el cual se está combinando.

A pesar de las contribuciones de Abegg el arquitecto de la teoría electrónica de valencia, sería G.N Lewis (1875-1946). En un trabajo anterior discutimos (MARTÍNEZ y MOLINA, 2005) los trabajos de Lewis y de otros investigadores de su época como la constitución de un programa de investigación de la química del primer cuarto del siglo XX.

Lewis (1916) comenzó la presentación de su teoría analizando la clasificación tradicional de moléculas como orgánicas e inorgánicas, considerando que es más adecuado organizar las moléculas en polares y no polares. Aunque muchas moléculas orgánicas son consideradas como polares y las inorgánicas como no polares, se pueden evidenciar comportamientos químicos de algunas moléculas orgánicas que dan cuenta de su polaridad.

Lewis comienza a construir su explicación de la polaridad a partir de la manera como se distribuyen los electrones en el átomo, lo cual determinaría la representación de la carga, asumiendo

que cuando dos átomos se combinan, los dos átomos comparten un par de electrones entre ellos. Esto eliminó la existencia de cargas opuestas en los átomos en compuestos cuyas propiedades físicas y químicas no las indicaban, así el cambio de concepción, se ilustra, por ejemplo, en la representación del enlace presente en el HCl, en términos de la *Teoría cargas positiva-negativa* resultaría: H^+-Cl y en la nueva representación de Lewis sería $H:Cl$.

Para los compuestos polares Lewis sugirió que por cada enlace formado entre dos átomos en un compuesto polar, uno de los átomos atrae mucho más fuertemente los electrones que el otro, y el caso extremo es la pérdida del par de electrones. La razón por la cual Lewis enuncia la compartición del par de electrones está sustentada en la información que tenían los químicos de muchos compuestos que contenían un número par en la suma de los electrones totales de valencia; $NH_3= 8$ $CH_4= 8$ $CO_2= 16$, de esta forma podría con facilidad, armar estructuras combinando átomos que compartieran pares de electrones. Esto satisface la representación de numerosos compuestos, como la del cloruro de amonio, oxiácidos y de hidruros metálicos. Una nueva forma de simbolizar las estructuras químicas sería propuesta y adoptada rápidamente casi universalmente.

El programa de investigación inaugurado por Lewis, sería retomado en cierta parte por Langmuir (1919) quien al principio de su artículo “The structure of atoms and the octet theory of valence”, expresaba la constitución de una nueva teoría del enlace químico, guiada por los datos químicos, siendo esta una extensión de la teoría de Lewis del átomo cúbico y la propuesta atómica de Rutherford. Aunque hay que aclarar que la contribución de Langmuir, fue intentar sintetizar aportes de físicos y químicos en una teoría unificada, en muchos apartes de su propuesta se reflejan principios del núcleo firme de la teoría de Lewis.

Es así como Langmuir considera que la organización molecular más estable y simétrica corresponde a la de los gases “inertes”, afirmación expuesta previamente por Lewis. Dicha estabilidad se puede explicar por la existencia de fuertes campos de atracción interna y débiles campos de atracción externa; además Langmuir consigue relacionar esto con el peso atómico, ya que cuando es menor al parecer el campo externo es más débil, así mismo, asume que la organización electrónica más estable es la que corresponde al par de electrones que posee el átomo de Helio. No obstante, el aporte más significativo de Langmuir tiene que ver con su teoría del octeto, extensión de la propuesta de los ocho electrones de Lewis, su teoría del octeto brinda una respuesta a la organización electrónica de moléculas que poseen más de un par de electrones.

Desde la perspectiva de la teoría del octeto el arreglo más estable es el que puede ser representado por ocho electrones; con base en esto propuso una regla aritmética ($e = 8n - 2p$ en donde p representaría el número de enlaces covalentes) que podía predecir la existencia de

compuestos químicos y en 1919 también utilizó el término de enlace covalente para reemplazar al antes utilizado “enlace de pares compartidos”.

De la misma forma que los trabajos sobre estructura atómica realizados por los físicos influyeron en la construcción del programa de investigación de Lewis, la revolucionaria teoría cuántica se constituiría rápidamente en un referente fundamental de las teorías modernas de valencia discutidas ampliamente por Pauling (1965), siguiendo las ideas de este autor (p. 3) el mejoramiento de la teoría electrónica de valencia hasta la forma actual se ha debido en su gran mayoría al desarrollo de la mecánica cuántica que no sólo ha proporcionado métodos para el cálculo de las propiedades de las moléculas simples aclarando la formación de una unión covalente, también ha ayudado en la construcción del concepto de resonancia. Dadas las intenciones de este trabajo no será discutido el cuarto momento de la evolución de las teorías de valencia conformadas por la teoría de enlace de valencia y la teoría del orbital molecular.

Consideraciones Finales

A partir de las consideraciones teóricas expuestas sobre la importancia de la HFC para la enseñanza de las ciencias en general y en particular para la enseñanza de la química, en términos de ser un componente fundamental del conocimiento didáctico curricular relacionado tanto con la formación de profesores como con el desarrollo profesional de los mismos, en la tabla 1 se propone una estructura histórica-epistemológica acotada solamente a la descripción de los presupuestos básicos de las teorías de valencia y sus inconsistencias.

La construcción de estructuras histórica-epistemológicas son un elemento fundamental para la estructuración de actividades didácticas sobre cualquier contenido químico, constituyéndose en una contribución para profesores de química en formación inicial o continua, teniendo en cuenta que la didáctica de la química pensada desde una perspectiva histórica visualiza y problematiza los conceptos químicos desde su complejidad, superando un abordaje reduccionista de los mismos, así es un reto continuar desarrollando trabajos que articulen la historia y filosofía de la ciencia desde una perspectiva amplia para orientar la construcción de propuestas de enseñanza y aprendizaje de contenidos químicos en los procesos de formación inicial y continuada de profesores de química.

]

Teorías	Presupuestos teóricos	Inconsistencias
Teoría electroquímica o dualística	<ul style="list-style-type: none"> - Los compuestos son combinaciones de una parte positiva y una parte negativa atraídos por la naturaleza de las cargas. - La carga de los elementos no se cancela, de esta forma los productos permanecen ligeramente cargados. - Los compuestos están constituidos por dos partes que no necesariamente debería ser óxidos, por ejemplo, existen grupos de átomos estables, llamados de radicales que podrían estar combinados con elementos comunes. 	<ul style="list-style-type: none"> - No explica naturaleza química de los compuestos orgánicos. - No explica sustitución química en reacciones orgánicas.
Teoría unitaria de la combinación química y teoría de los tipos	<ul style="list-style-type: none"> - Los compuestos son una organización unitaria, por tanto, es posible que átomos sean reemplazados por otros átomos sin alterar significativamente las propiedades del compuesto original. - Los radicales o “núcleos fundamentales” definen el arreglo o disposición geométrica de los átomos en los compuestos y la clase de átomos determina las propiedades de la sustancia formada. - Existen 4 tipos (amonio, agua, hidrógeno-cloro e hidrógeno), a partir de los cuales es posible derivar y clasificar los compuestos orgánicos obtenidos o caracterizados. 	<ul style="list-style-type: none"> - No brinda una explicación satisfactoria sobre la unión química de compuestos orgánicos e inorgánicos. - No explica la formación de compuestos órgano-metálicos.
Teoría clásica de Valencia	<ul style="list-style-type: none"> - Existe un número de átomos o radicales determinados con el cual un átomo específico podría combinarse. - El Carbono posee la capacidad de formar cadenas además de poseer un carácter tetravalente para combinarse con varios átomos. - La estructura de un compuesto determinada por su fórmula debe mostrar cómo se unen los átomos de la molécula. - Las propiedades de una sustancia están determinadas por su estructura molecular. - Los 4 enlaces del Carbono están direccionados en los vértices de un tetraedro. - La actividad óptica de muchos compuestos de Carbono resultan del arreglo espacial de diferentes átomos organizados alrededor del átomo de Carbono central. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es limitada para explicar el papel de los electrones en la formación de enlaces químicos.
Teoría electrónica de Valencia	<ul style="list-style-type: none"> - Los átomos se combinan compartiendo un par de electrones entre ellos. - El arreglo más estable de un compuesto puede ser representado por ocho electrones. 	<ul style="list-style-type: none"> -No da cuenta de cuestionamientos sobre geometría molecular, paramagnetismo, valores de energía de enlace y de ángulos de enlace.

Tabla 1. Síntesis de estructura histórica-epistemológica de las teorías de valencia acotada hasta la teoría electrónica de valencia.

Referencias Bibliográficas

BOLÍVAR, A. Conocimiento didáctico del contenido y formación del profesorado: el programa de L. Shulman. *Revista Interuniversitaria del Profesorado*. n. 16, p. 113-124, ene/abr. 1993.

BOLÍVAR, A. Conocimiento didáctico del contenido y didácticas específicas. *Profesorado: Revista de currículum y formación del profesorado*. n. 9, 2, p. 1-35. 2005.

DUSCHL, R. Science Education and Philosophy of Science, Twenty-five Years of Mutually Exclusive Development. *School Science and Mathematics*, v. 87, n. 7, p. 541-555. 1985.

FURIÓ, C y FURIÓ, C. Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos, *Educación química*. v. 11, n. 3, p. 300-308. 2000

FURIÓ, C y DOMÍNGUEZ, C. Conocer la historia de la ciencia para comprender las dificultades de los estudiantes sobre el concepto de sustancia química. En: VI Congreso Internacional sobre investigación en Didáctica de las ciencias, *Enseñanza de las ciencias*, n. extra, p. 55-56. 2001.

GALLEGO, et al. El concepto de valencia: su construcción histórica y epistemológica y la importancia de su inclusión en la enseñanza, *Ciência & Educação*. v. 10, n. 3, p. 571-583, 2004.

GARCÍA-DÍAZ, E. *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. Sevilla: Diada Editora. 1998.

GROSSMAN, P. L. *The making of a teacher: teacher knowledge and teacher education*, New York: Teacher College Press. 1990.

LANGMUIR, I. The Structure of atoms and the octet theory of valence. *Proceedings of the National Academy of Science*, v. 5, n. 252. 1919. Disponible em: <www.Dbhs.wvusd.k12.ca.us/Chem-History>. Acceso en: 20 Mar 2007.

LAIDLER K. *The World of Physical Chemistry*. USA: Oxford New York. 1993.

LEWIS, G. 1916. The Atom and the Molecule. *Journal of the American Chemical Society*, v. 38, p. 762-786. 1916. Disponible em: <www.dbhs.wvusd.k12.ca.us>. Acceso en: 20 Mar 2007.

LOMBARDI, O. I. La pertinencia de la historia en la enseñanza de ciencias: argumentos y contraargumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 15, n. 3, p. 343-349, 1997.

MATTHEWS, R. M. *Science Teaching: The role of history and philosophy of science*, Routledge Press: New York. 1994.

MATTHEWS, R. M. The nature of science and science teaching en Fraser y Tobin (comp), *International Handbook of Science Education*. Great Britain: Kluwer Academic Publisher, pp. 981-999. 1998.

MARTÍNEZ, L y MOLINA, M. La química como un programa de investigación científica: un ejemplo a través de la teoría de enlace químico de Lewis, *Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología, TEΔ*, n. 15, p. 93-103. 2005.

MARTÍN DEL POZO R. Y RIVERO A. Construyendo un conocimiento profesionalizado para enseñar ciencias en la educación secundaria: los ámbitos de investigación profesional en la formación inicial del profesorado. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*. n. 40, p. 63-79, abr. 2001.

MORA W y PARGA D. Tramas histórico-epistemológicas en la evolución de la teoría estructural en química orgánica. *Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología, TEA*, n.21. 2007.

MORIN, E. *Ciencia con conciencia*. Barcelona: Anthropos, 1984.

PARTINGTON, J. R. *A Short History of Chemistry*. 3ed. Original London: Macmillan; New York: St Martin's Press, 1957. New York: Dover Publications, Inc. 1989.

PAULING, L. *Uniones químicas y la estructura de moléculas y cristales: una introducción a la química estructural moderna*. Buenos Aires: Kapelusz. 1965.

PORLÁN, R y MARTÍN DEL POZO, R. ¿Cómo progresa el profesorado al investigar problemas prácticos relacionados con la enseñanza de las ciencias? *Alambique: didáctica de las ciencias experimentales*. n. 48, p. 92-99. 2006.

TAMIR, P. Conocimiento profesional y personal de los profesores y de los formadores de profesores. *Profesorado: Revista de Currículum y formación del profesorado*. v. 9, n.2. p. 1-10. 2005.

TOULMIN, S. *La comprensión humana: el uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Vol. 1. Madrid: Alianza. 1977

SHULMAN L. S. Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*. v. 15, n. 2, p. 4 -14. 1986.

STRANGES, A. *Electrons and valence*. United States of America Texas A & M University Press. 1982.

VEAL, W. R, y MAKINSTER, J.G. Pedagogical content knowledge taxonomies. *Electronic Journal of Science Education*. v.3, n. 4, Jun.1999.