

Estudios originales y rigurosos de interés general que involucren análisis, organización sistemática y reflexionada, explicación teórica y predicciones viables

## Un orden histórico-didáctico para la química. una experiencia investigativa en educación secundaria

Rómulo Gallego Badillo,<sup>1</sup> Royman Pérez Miranda<sup>1</sup> y Luz Nery Torres de Gallego<sup>2</sup>

### Resumen

Este artículo trata de una investigación en el aula, con profesoras y estudiantes de décimo y undécimo grados del nivel medio del sistema educativo colombiano, en las asignaturas de química. Para el desarrollo de la misma, se diseñaron, revisaron y evaluaron 17 unidades didácticas (UD), en las que se recogieron, desde una aproximación histórica, los contenidos, las actividades didácticas y las problemáticas para la evaluación. Se desarrolló mediante dos proyectos: el primero en 2002 y el segundo en 2003. Los propósitos fueron la reconstrucción de las competencias interpretar, argumentar y proponer (IAP) por parte de los estudiantes.

**Palabras clave:** Epistemología, historia, modelo, didáctica y transposición.

### Introducción

Los dos proyectos fueron evaluados, aprobados y financiados por la Universidad Pedagógica Nacional, de Bogotá, D.C., Colombia. El de 2002 se desarrolló en el grado décimo y el de 2003 en el undécimo, con los mismos estudiantes, cuyas edades oscilaban entre los 15 y los 17 años. Se aclara que el año lectivo para la educación básica y media en Colombia es de 36 semanas, divididas en dos períodos académicos.

Los objetivos fueron que los estudiantes: primero, reconstruyeran las competencias cognitivas (Gallego Badillo, 1999) IAP, con las que ingresaban al proceso; segundo, se aproximaran a una mirada de la química como una ciencia construida históricamente por una comunidad de especialistas; tercero, discutieran los impactos culturales, sociales, políticos

y económicos producidos por la formulación, reformulación y cambios en esos modelos; cuarto, desarrollar un proceso de evaluación por regulación y auto regulación (Jorba y Sanmartí, 1996), y quinto, diseñar unas UD (Sanmartí, 2000) como elemento central de las actividades didácticas adoptadas.

Se tomó distancia de las investigaciones, que, por lo general, se restringen al estudio de conceptos en el aula, independientemente de los modelos científicos (Gieré, 1990; Lombardi, 1998; Caldin, 2002; Tomasi, 1999; Del Re, 2002). La aproximación a la construcción histórica de la química constituyó uno de los puntos de partida para comprender los procesos de formulación y cambios de los modelos en química, para lo cual se adoptó la posición epistemológica deductivista constructivista. Lo anterior, debido a que toda reconstrucción histórica se enclava en un posicionamiento epistemológico determinado (Lakatos, 1983); de esta manera, la historia de cualesquiera de las ciencias de la naturaleza, no sigue la vieja definición que acerca de la historia, en general, sostiene que es la narración verídica de los hechos en su tiempo y en su espacio geográfico.

La investigación estuvo dirigida por las preguntas: ¿de qué se han ocupado y se ocupan los químicos como comunidad de especialistas?, y ¿cómo diseñar los cursos correspondientes desde una aproximación epistemológica y didáctica deductivista-constructivista moderada? (Gallego Badillo, 1997). ¿De qué manera centrarse en lo puramente didáctico, sin acudir a la psicología educativa? (Gil, Guisásola, Moreno, Cachapúz, *et al.*, 2002), ¿cómo adaptar el proceso a los desempeños habituales de los profesores en las instituciones educativas?

### Una versión histórica

La necesidad de una reconstrucción histórica (Serres, 1991) para que los estudiantes elaboren una aproximación de cómo se construyeron las ciencias, ha sido defendida por varios investigadores, en especial por aquellos que se ocupan del caso de la química (Izquierdo, 1998). En la actualidad, se postula que con la introducción de la historia y la filosofía de las ciencias en la enseñanza, puede el alumnado acceder a la comprensión de dichas cien-

<sup>1</sup> Profesores de la Universidad Pedagógica Nacional, Departamento de Química, Bogotá, D. C. Colombia.

**Correos electrónicos:** rgallego@uni.pedagogica.edu.co, royman@uni.pedagogica.edu.co

<sup>2</sup> Investigadora en Didáctica de las Ciencias, Grupo de Investigación Representaciones y Conceptos Científicos-Grupo IREC

**Recibido:** 29 de junio de 2005; **aceptado:** 22 de mayo de 2006.

cias (Matthews, 1994). Cabe recordar que T. S. Kuhn (1972) puntualizó que los textos y el proceso mismo de enseñanza de las ciencias se afincan en la historia, aun cuando ninguno de ellos tiene en cuenta la metodología que siguen estos investigadores.

De acuerdo con lo explicitado y con la respuesta dada por R. Hoffmann (1997), a la pregunta referente de qué se han ocupado y se ocupan los químicos, se partió de que esta ocupación se centraba teórica y experimentalmente en el problema de la molecularidad y de la fabricación de nuevos materiales. De hecho existen otras versiones, como son las de A. J. Ihde (1984), de W. B. J. Jensen, (1998a; 1998b) y P. G. Nelson (2002).

Para elaborar una versión histórica de la construcción de la química con miras al diseño de las UD, se plantearon tres ejes, además del de la protohistoria que tiene sus comienzos en las prácticas artesanales de los metalurgistas (Lockemann, 1960). El primer eje es el del inicio del estudio de los gases, a partir de la solución del problema que presentó la bomba impelente-expelente de Ctesibio de Alejandría; solución esta que condujo al experimento de los hemisferios de Magdeburgo. Robert Boyle (1627-1691) leyó en 1657 los resultados de este experimento, cuando construía un laboratorio en Oxford. Llamó entonces como ayudante a R. Hooke (1635-1702) quien rediseñó la bomba de vacío (Mason, 2001). Con ésta y la campana neumática, realizaron los experimentos en torno a la corporeidad del aire, dando nacimiento a la química neumática (Ihde, 1984). R. Boyle se propuso una reforma radical del pensamiento químico imperante (Schneer, 1975), cargado de ideas metafísicas procedentes de Aristóteles y de los alquimistas.

En este eje, considerar que, también centrado en el estudio de los gases, A. L. Lavoisier (1743-1794) y su equipo de trabajo demostraron que el modelo del flogisto era inaceptable, a pesar de que en el interior del mismo elaboraban sus explicaciones químicas J. Priestley (1733-1804), C.W. Scheele (1742-1786) y H. Cavendish (Lain Entralgo y López Piñero, 1963). Lavoisier formula la primera ley química: la de la conservación de los pesos; precisa el concepto de reacción química e introduce la balanza como instrumento científico, iniciando una química con un modelo científico: el de la oxidación, de carácter cuantitativo. A partir de Lavoisier, el universo de los químicos no se sitúa en la naturaleza, pues rompe con la historia natural (Bensaude-Vincent, 1991a).

En el segundo eje tratar la propuesta del primer

modelo icónico o gráfico sobre los átomos por J. Dalton; modelo que no aceptaron los físicos y del que siempre se burlaron (Schneer, 1975). Publica en 1808, su libro *A New System of chemical Philosophy*. Expone su representación en los capítulos "Acerca de la constitución de los cuerpos" y "Acerca de la composición química". Este modelo fue paulatinamente modificado y perduró hasta cuando se tuvieron en cuenta las leyes de M. Faraday, los trabajos de W. Crookes y el descubrimiento de la radiactividad por H. Becquerel (Uribe y Cuellar, 2003).

En este eje trabajar, igualmente, las denominadas leyes empíricas. Así, J. Dalton enuncia, en 1804, la de las proporciones múltiples y J. L. Proust (1755-1826) establece la de las proporciones constantes. En 1802, J. L. Gay Lussac (1787-1850) formula la de los Volúmenes de Combinación; ley esta que Dalton no admitió, a lo mejor por la disputa en torno a la autoría de la determinación empírica del coeficiente de dilatación térmica de los gases (Lockemann, 1960). La extraña aritmética de la Ley de los volúmenes de combinación, fue explicada, en 1811, por A. Avogadro (1776-1856), con la hipótesis que lleva su nombre (Lockemann, 1960; Ihde, 1984). Con base en ésta, A. Laurent (1807-1853) definió los conceptos de peso molecular y peso atómico.

Se aborda también en este eje la ley de periodicidad de D. Mendelejeff (1834-1907), quien con la intención de dar a conocer a sus estudiantes la sistemática lograda hasta entonces por los investigadores, en 1869 publica su ensayo *Un Sistema de los Elementos fundado en el peso atómico*. Una ordenación análoga fue hecha también por L. Meyer (1830-1895) que dio a conocer en 1868, y que fue publicado simultáneamente con el ensayo de Mendelejeff; sobre las concepciones científicas de este investigador ruso, existen discusiones (Besaude-Vicent, 1991b).

Un tercer eje es el de la introducción del concepto de valencia, por E. Frankland (1825-1899) quien lo formula en el interior de las leyes de las proporciones constantes y de las proporciones múltiples. De la misma manera, el surgimiento de la química estructural. Estudiar también el concepto de electronegatividad y el modelo de la electrovalencia, de R. Abegg (1869-1910). Como se sabe, a partir de este modelo, G. N. Lewis (1875-1946) propone, para explicarle a sus estudiantes el problema del enlace químico, la regla del octeto (Laidler, 1993) a cuyo desarrollo posterior contribuyó también I. Langmuir (1881-1956). W. Kossel (1888-1956) usó este modelo electrónico de la valencia, para afirmar que dos

átomos de carbono se enlazan por un par de electrones compartidos. En 1926, G. N. Lewis asumió el modelo para hablar de covalencia. Se modificó el modelo de Dalton.

El cuarto eje está constituido por la introducción de la termodinámica clásica con miras a dar explicaciones a la estabilidad de las moléculas y la dirección de las reacciones químicas. Los conceptos de energía, energía interna, entalpía, entropía y la función de trabajo de J. W. Gibbs (1839-1903) o energía libre, fueron de capital importancia para dichas explicaciones. Gibbs desarrolló entre 1874 y 1878 su termodinámica del equilibrio químico con base en el concepto fase. El modelo científico que da razón de la cinética química fue explicitado en 1884, por J. H. van't Hoff, en su libro *Estudios de dinámica química*.

#### La nueva didáctica de las ciencias

Emergió de las nuevas aproximaciones epistemológicas de carácter deductivista, algunos de cuyos especialistas adoptaron y desarrollaron la posición constructivista moderada. En 1992, D. Hodson, desde una revisión de las investigaciones en la enseñanza de las ciencias, concluye que los trabajos investigativos realizados permiten afirmar que se está frente a la constitución de una nueva ciencia. Los didactas han hoy delimitado unos campos de saber y de investigación (Gil, Carrascosa y Martínez-Terrades, 1999), entre los cuales se cuenta el problema de la enseñabilidad y la enseñanza de los modelos científicos.

Se es del parecer de que el de la enseñabilidad se resuelve acudiendo a la transposición didáctica (Chevallard, 1985), desde unos supuestos, también didácticos, que han de contrastarse en aula, mediante el diseño de unas actividades igualmente didácticas, que son el núcleo de la enseñanza. La introducción de la transposición en la didáctica de las ciencias, ha generado el campo de la confiabilidad de los textos de enseñanza (De la Gándara, Gil y Sanmartí, 2002; Perales y Jiménez, 2002). Las investigaciones en este campo concluyen que todo texto impone a docentes y estudiantes una determinada versión histórico-epistemológica, de didáctica y de pedagogía del autor(a) o autores (Sanmartí, 2000). Incluso, la mayoría sigue una aproximación empiropositivista, reducida a una mirada de tipo tecnicista, en la que el problema de lo histórico-epistemológico no suele ser considerado. Cuando aluden a la historia, ésta se encuentra, por lo general, condensada en brevísimas

biografías, dentro del paradigma del genio aislado (Gallego Torres, 2002).

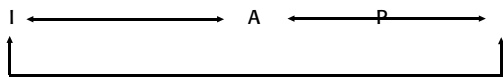
Otro de los campos es el de las relaciones ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA). Con él se busca socializar entre los estudiantes los impactos producidos por las reformulaciones y cambios en los modelos científicos, en las concepciones de mundo y en las relaciones entre los seres humanos. Persigue situar también las ciencias en el contexto crítico de la conversión de los productos de las investigaciones científicas y tecnológicas en mercancías. De aquí ha surgido la necesidad de una alfabetización científica y tecnológica como derecho ciudadano (Fourez, 1994). Surge en 1976 (Solomon, 1995) y en su interior se han adelantado trabajos tendientes a su precisión e implementación en la educación secundaria (Esteban, 2003; Membiela, 1995). La ausencia de este tratamiento parece ser una de las causas del desinterés de los estudiantes de secundaria por la física y la química (Solbes y Vilches, 1995).

Teniendo en cuenta lo explicitado en los párrafos anteriores, una UD es una construcción profesional que hace un didacta o un colectivo de didactas de una ciencia determinada. Siguiendo el concepto de transposición didáctica, organiza desde la lectura de los originales y la interpretación de las intencionalidades curriculares de cada sistema educativo, sobre la versión de ciencia que, oficialmente, quiere socializar entre la población estudiantil. Cada UD hace parte de una estructuración que se espera obedezca a una versión histórica admisible.

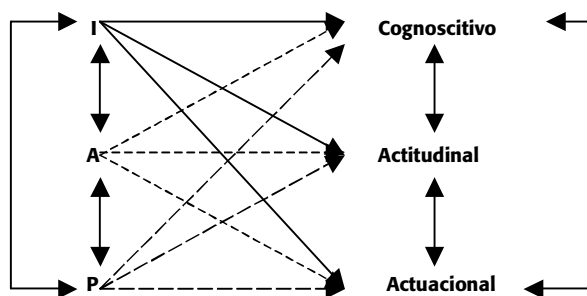
#### De las competencias IAP

En Colombia, todos los egresados de la educación media han de someterse a un examen de estado que diseña y practica el Servicio Nacional de Pruebas (SNP), del Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES). A partir de 1998, y por influencia de decisiones internacionales, ese examen empezó a realizarse en términos de competencias. Las versiones iniciales daban preponderancia a aproximaciones empiropositivistas, referidas al desarrollo de habilidades y destrezas. Surgió entonces una discusión entre los investigadores, dentro de la cual y contra la aproximación señalada, se propuso la de competencias cognoscitivas (Gallego Badillo, 1999).

Frente al reto de diseñar el proyecto de 2002, se hizo necesario estipular que esas competencias no podían ser más de tres y que deberían tener implicaciones conceptuales y metodológicas mutuas, como se muestra en el siguiente gráfico:



Además, cada una de esas competencias era elaborada implicando tres componentes: el cognoscitivo, el actitudinal y el actuacional, igualmente imbricados. Lo cognoscitivo, por cuanto el estudiante no podía construir o reconstruir las competencias IAP, si no se les daba la oportunidad de trabajar en el aula los contenidos, en este caso, dentro de una aproximación histórico-didáctica sostenible. Lo actitudinal (Furió y Vilches, 1997), por cuanto ese estudiante para involucrarse en el proceso de reconstrucción y construcción de sus IAP, tendría que cambiar igualmente sus actitudes hacia las ciencias (Shrigley, 1983; Shrigley y Rileytt, 1986; Zeidler y Lederman, 1989), construidas como consecuencia de sus experiencias escolares anteriores, con miras a elaborar actitudes positivas (Schibecci, 1984). Las imbricaciones aludidas se esquematizan como sigue:



Para los propósitos de la reconstrucción de las competencias IAP, se hizo una analogía con lo de las ideas alternativas (Furió, 1996; Pozo, 1996), es decir, que los estudiantes ingresaron al proceso con estas competencias, las que debían ser objeto de transformación.

### Las precisiones metodológicas adoptadas

El grupo se enfrentó a una problemática. Primero, el examen de estado seguía los lineamientos curriculares que sobre la química estaban determinados por el Ministerio de Educación. Segundo, que esos lineamientos tenían como fundamento la versión habitual de química de los textos de enseñanza. Tercero, que la investigación en el aula tenía que considerar

que los profesores en ejercicio, en la normalidad de sus desempeños, no cuentan con el tiempo disponible para diseñar, aplicar y analizar los resultados de pruebas convalidadas por especialistas en didáctica de las ciencias. Cuarto, que la investigación se realizaría en todos los contenidos curriculares y no en un modelo científico específico, lo que imponía la necesidad de modificaciones.

Se decidió, entonces, hacer de las UD el centro alrededor del cual debían girar todas las actividades didácticas, incluyendo la evaluación del proceso de reconstrucción y construcción de las competencias IAP; evaluación esta que sirvió de retroalimentación para los responsables de los proyectos. Las actividades didácticas se centraron en la lectura individual primero y luego en pequeños grupos de cada una de las UD programadas.

Puntualizada una versión histórico-epistemológica y didáctica se diseñaron 17 UD en total (Anexo 1), para los grados décimos y undécimo, que suman unas 204 páginas. Para el proyecto del 2002 y consecuentemente para el del 2003, se les solicitó a las profesoras titulares que suministraran la planeación que, con base en lo mandado por el MEN, habían establecido. Esas planificaciones fueron interpretadas y reorganizadas de conformidad con la versión histórica propuesta. Puesto que uno de los objetivos era el de que los estudiantes pusieran en juego sus competencias cognoscitivas IAP, en la perspectiva de las reconstrucciones y construcciones, se decidió entonces que la columna vertebral del diseño tenía que ser el planteamiento de situaciones problemáticas, que los concitara a interpretarlas y proponer soluciones argumentadas ante el colectivo aula (Anexo 2).

Tales problemáticas tendrían que estar relacionadas con el conjunto de problemas que formularon y resolvieron los químicos en el transcurso de la construcción de su ciencia. De acuerdo con la intencionalidad de que los estudiantes se aproximaran a la idea de que esos modelos fueron construidos por seres humanos, cada UD se acompañó de trozos de publicaciones seleccionados, que habían sido significativas para la admisión de cada uno de los modelos.

En lo tocante a las relaciones CTSA se acordó que, desde la perspectiva histórica, el diseño de las UD tenía que especificar de qué manera lógica el desarrollo de la química se encontraba estrechamente ligado al de los saberes tecnológicos, comenzando por el análisis del carácter instrumental de los conceptos métricos. Debían, igualmente, suscitar discusión

en torno a cómo los modelos químicos habían incidido en las concepciones de mundo y de las relaciones entre los seres humanos. En cuanto a lo ambiental, en cada una de las UD se propuso un taller que los estudiantes debían organizar recolectando la información que consideraran indispensable.

Como se ha sostenido, para la evaluación de los resultados de la investigación se siguió una aproximación a la propuesta de la regulación y autorregulación (Jorba y Sanmartí, 1996). La calidad de las soluciones consensuales propuestas por los estudiantes a las problemáticas presentadas en cada una de las UD, fue una de las consideraciones para dar cuenta hasta qué punto los resultados podrían ser calificados como admisibles. Para tal efecto, se diseñó una matriz de análisis (Anexo 3) y unos criterios (Anexo 4). Otra fue elaborar un cuestionario (Anexo 5) para indagar por la aceptación que los estudiantes tuvieron de las UD y de las estrategias didácticas. Algo análogo se llevó a cabo con las profesoras titulares de los cursos décimo y undécimo (Anexo 6). Los grupos de estudiantes estuvieron conformados por cuatro cursos en el 2002 y cuatro cursos en el 2003; décimos A, B, C y D, y undécimo A, B, C y D.

### Resultados

Referidos al cuestionario aplicado a los estudiantes al final de 2002 y de 2003, se encontró que:

Un 80% de los estudiantes de décimo grado reconoció que desde el inicio del proceso, las UD les ofrecieron la oportunidad de elaborar sus “opiniones personales” sobre los diversos problemas planteados. Advirtió, además, que esos problemas y los contenidos teóricos eran muy difíciles de comprender. El otro 20% hizo referencia a que a los contenidos le faltaban más “gráficos” para que “fueran más agradables”. En lo atinente a la “estrategia didáctica”, ese 80% manifestó su aceptación desde el principio, en tanto que el 20% restante, reclamó de las profesoras titulares explicaciones complementarias de los contenidos.

Un 75% de los estudiantes destacó la importancia de la historia para la comprensión de los modelos científicos trabajados. Un 10% respondió que no vio la importancia, mientras que el 15% restante no respondió.

El 80% de los estudiantes del grado décimo manifiesta que los talleres los situaron en el problema de la dimensión ambiental de los modelos científicos trabajados. El 20% restante expresó que esas actividades fueron poco significativas. Ese mismo

20% precisó que hubo poca participación en las actividades experimentales, ya que las convocatorias a ellas no las encontraron en los textos escolares consultados, ni el colegio contaba con la infraestructura necesaria.

Las percepciones de estos mismos estudiantes en el grado undécimo, y el compromiso que asumieron frente a la estrategia didáctica, dio pie para concluir que, en un 90% de ellos, se operó una transformación actitudinal en relación con la tarea de leer, escribir y hablar, desde lo que habían elaborado en el grado anterior, poniendo en juego sus competencias IAP, en el horizonte de las reconstrucciones y construcciones propuestas. Manifestaron que eran ellos quienes tenían que dar cuenta de sus construcciones individuales y colectivas.

Expresaron estar de acuerdo con el hecho de que se valorara, tanto la interpretación individual como la grupal de las UD y las soluciones argumentadas que proponían a las situaciones problemáticas. Les pareció que la participación en las discusiones colectivas sobre dichas soluciones, así como el compartir para llegar a acuerdos colectivos, fue estimulante. Pusieron de presente que nunca antes sus ideas habían sido tenidas en cuenta. Escribieron, además, que la química les parecía ser un cuento o una historia en la que cada temática se derivaba de la anterior, por lo que comprendían de donde habían salido las “cosas”.

En lo relacionado con la contribución de las lecturas complementarias, un 90% de los estudiantes del grado undécimo fue de la opinión de que tales lecturas les proporcionaban una visión más amplia del desarrollo de la química, agregando que lecturas de ese tipo no aparecen en los textos escolares consultados. El resto de los estudiantes (20%) se limitó a afirmar que eran “muy buenas”.

Un 80% de estos estudiantes se mantuvo en la apreciación que expresaron en el grado décimo en cuanto a los talleres y a las actividades experimentales. En cuanto a estas últimas, un 20% fue de la misma opinión, mientras que sobre los talleres anotaron que eran “aburridos”.

En cuanto a las apreciaciones de las profesoras titulares sobre el diseño de las dos primeras UD y de la estrategia didáctica, señalaron que al comienzo del proceso en los grados décimos, el material les pareció insuficiente y que los alumnos repetían las explicaciones contenidas en cada una de las UD. Fueron del parecer de que las situaciones problemáticas contempladas eran excesivas en relación con el tiem-

po disponible. Agregaron que el lenguaje empleado era complejo, lo que dificultaba la comprensión de los temas por parte de los estudiantes.

Luego, mudaron de parecer. Se refirieron a las UD siguientes afirmando que permitían, entre otras cosas, la reflexión de los estudiantes en torno a las situaciones problemáticas y la construcción de ideas nuevas sobre los contenidos, a la vez que destacaron el mejoramiento logrado en las competencias comunicativas. Indicaron, además, que mediante la estrategia didáctica se proponía una versión distinta de la enseñanza, ya que se dejaba de lado el paradigma de la transmisión de información especializada. Pusieron de relieve que, paulatinamente, los estudiantes se fueron adaptando al reto de ser ellos los constructores de su propio conocimiento. Resaltaron los efectos positivos de la evaluación por regulación y auto regulación. Señalaron que desde este convencimiento se integraron definitivamente al papel que les correspondía, no sólo como reguladoras del proceso, sino como concitadoras para que cada uno de los estudiantes lo ejerciera sobre los demás condiscípulos, a la vez que de manera individual se comprometieran con su propia regulación.

De conformidad con la matriz de análisis y los criterios, las reconstrucciones y construcciones de las IAP de los integrantes del grupo décimo A, en el periodo febrero-marzo, fueron mínimas; en abril-agosto, insuficientes; en septiembre-noviembre, suficientes. Para el décimo B, en los mismos períodos, mínimas, insuficientes e insuficientes. Para el décimo C y el D fueron las mismas del décimo B.

Para el undécimo A, contrario a los esperado, para los mismos períodos, mínimas, mínimas e insuficientes. Para el undécimo B, mínimas, insuficientes e insuficientes. Para el undécimo C, insuficientes para todos los períodos. El undécimo D, mínimas, insuficientes e insuficientes. Todo lo anterior, válido para el 90% de los integrantes de dichos cursos, subrayando que hubo un 10% que no calificó dentro de los criterios definidos.

Se adelanta que en el examen de estado del SNP, del ICFES, los estudiantes del grado undécimo, hacia mediados de octubre de 2003, se ubicaron en la posición media. Este resultado coincidió parcialmente con los análisis derivados de la solución a las problemáticas de las interpretaciones de los trozos de las lecturas complementarias y de la organización y conclusiones elaboradas para cada uno de los talleres propuestos.

## Conclusiones

Si de las reconstrucciones y construcciones de las IAP sobre el lenguaje conceptual y metodológico de los modelos químicos que se hicieron objeto de trabajo en el aula y con las cuales ingresaron al proceso los estudiantes en el grado décimo se trata, los resultados generales permiten afirmar que este objetivo se logró aceptablemente. Que se aproximaron, también de manera admisible, a una mirada de la química como una ciencia construida históricamente por una comunidad de especialistas. Que de las discusiones acerca de los impactos culturales, sociales, políticos y económicos producidos por la formulación y cambios en esos modelos, elaboraron, igualmente, concepciones sustentadas al respecto.

En lo tocante a la aproximación a una evaluación por regulación y auto regulación, tanto para los estudiantes como para las profesoras, se trató de un proceso que los comprometió en la construcción individual y colectiva de su propio conocimiento. Que el diseño de las UD, como elemento central de las actividades didácticas adoptadas, desde una versión histórico-epistemológica sostenible, contribuyó significativamente a que los estudiantes se aproximaran a una explicación integral del cómo se construyó, colectivamente, la química como ciencia.

Las actividades didácticas incorporadas a las UD, posibilitaron que, tanto las profesoras como los estudiantes, construyeran respuestas válidas en torno a la pregunta sobre la ocupación histórica de los químicos y su objeto de conocimiento e investigación. Que es factible, separarse de las concepciones histórico-epistemológicas, didácticas y pedagógicas de los autores de los textos de enseñanza, tanto como diseñar cursos de química desde una aproximación epistemológica y didáctica deductivista-constructivista moderada. Que es posible formular y desarrollar investigaciones didácticas, que se adapten a los compromisos profesionales, por los que han de responder los profesores titulares de química de las instituciones educativas del nivel medio, en el caso de Colombia o del nivel secundario en otros sistemas educativos. ■

## Referencias bibliográficas

- Bensaude-Vincent, B., Mendelejeff: historia de un descubrimiento. En: *Historia de las ciencias*. M. Serres (ed), 503-525. Madrid: Cátedra, 1991a
- Bensaude-Vincent, B., Lavoisier: una revolución científica. En: *Historia de las ciencias*. M. Serres (ed), 411-435. Madrid: Cátedra, 1991b.
- Caldin, E. F., The Structure of Chemistry in Relation to the

- Philosophy of Science. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 8(2), 103-121, 2002. En línea: <http://hyle.org/journal/issues/8-2/caldin.html>
- Chevallard, Y., *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigne*. Grenoble: La pensée Sauvage, 1985.
- De la Gándara, M., Gil, M. J. y Sanmartí, N., Del modelo científico de "Adaptación biológica" al modelo de "adaptación biológica" en los libros de texto de enseñanza secundaria obligatoria (ESO). *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2), 303-314, 2002.
- Del Re, G., Models and Analogies in Science. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 6(1), 5-15, 2000. En línea: <http://hyle.org/journal/issues/6-1/delre.html>
- Esteban, S., La perspectiva histórica de las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad y su papel en la enseñanza de las ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3) Art. 11, 2003. En línea: <http://www.saum.uvigo.es/reec>
- Fourez, G., *Alfabetización científica y tecnológica*. Buenos Aires: Calihue, 1994.
- Furió, C., Las concepciones alternativas del alumnado. Dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 7, 7-17, 1996.
- Furió, C. y Vilches, A., La dimensión afectiva del aprendizaje de las ciencias: Actitudes hacia las ciencias y relaciones ciencia, tecnología y sociedad. En: *La enseñanza-aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona, 1997
- Gallego Badillo, R., *Discurso constructivista sobre las ciencias experimentales. Una concepción actual del conocimiento científico*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio, 1997.
- Gallego Badillo, R., *Competencias cognoscitivas. Un enfoque epistemológico, pedagógico y didáctico*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio, 1999.
- GallegoTorres, A. P., *Contribución del cómic a la imagen de la ciencia*. (tesis doctoral). Valencia: Universidad de Valencia, 2002.
- Giére, R., *Explaining science*. Chicago: University of Chicago Press, 1990
- Gil Pérez, D., Carrascosa, J., Moreno, A., Cachapúz, A. et al., Defending Constructivism in Science Education. *Science & Education*, 11, 557-571, 2002
- Gil Pérez, D., Carrascosa Alis, J. y Martínez-Terrades, F., El surgimiento de la didáctica de las ciencias como campo específico de conocimiento. *Revista de Educación y Pedagogía*, XI (25), 13-65, 1999.
- Hodson, D., Philosophy of Science, Science and Science Education. *Studies in Science Education*, 72(1), 25-27, 1985.
- Hodson, D., In Search of a Relationship: An Exploration of some issues relating to integration in Science and Science Education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-566, 1992.
- Hoffmann, R., *Lo mismo y no lo mismo*. México: Fondo de Cultura Económica, 1997
- Ihde, A. J., *The development of modern chemistry*. New York: Dover Publication, 1984.
- Izquierdo, M., La contribución de la teoría del flogisto a la estructuración actual de la ciencia química. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(1), 67-74, 1984, 1988a.
- Jensen, W. B., Logic, history, and the chemistry textbook: II. Can we unuddle the chemistry textbook? *Journal of Chemical Education*, 75(7), 817-829, 1998a.
- Jensen, W. B., Logic, history, and the chemistry textbook: III. One chemical revolution or three? *Journal of Chemical Education*, 75(8), 961-970, 1998b.
- Jorba, J. y Sanmartí, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: Un proceso de evaluación continua. Propuestas didácticas para las áreas de las ciencias de la naturaleza y matemáticas*. Madrid: MEC, 1998.
- Kuhn, T. S., *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica, 1972.
- Leidler, K. J., *The World of physical chemistry*. New York: Oxford University Press, 1995.
- Laín Entralgo, P. y López Piñero, J. M., *Panorama histórico de la ciencia moderna*. Madrid: Guadarrama, 1963.
- Lakatos, I., *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza, 1983.
- Lockemann, G., Historia de la química. México: Uteha, 1960.
- Lombardi, O., La noción de modelo en ciencias. *Educación en Ciencias*, II(4), 5-13, 1998.
- Mason, S. F., *Historia de las ciencias. 4. La ciencia del siglo XIX*. Madrid: Alianza, 2001.
- Matthews, M., *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. New York: Routledge, 1994.
- Membiola, P., Ciencia-Tecnología-Sociedad en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias experimentales. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 3, 7-11, 1995.
- Nelson, P. G., Teaching chemistry progressively: From substances, to atoms and molecules, to electrons and nuclei. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3(2), 215-228, 2002.
- Perales, F. J. y Jiménez, J., Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de los libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 3-19, 2002.
- Pozo, J. I., Las ideas del alumno sobre ciencias. De dónde vienen, a dónde van y mientras tanto, qué hacemos con ellas. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 7, 18-26, 1996
- Popper, K., *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos, 1962
- Sanmartí, N., El diseño de unidades didácticas. En: *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de las ciencias*. Francisco J. Perales Palacios y Pedro Cañal de León, Ed. p. 239-266. Alcoy (España): Marfil, 2000.
- Schneer, C. J., *Mente y materia*. Barcelona: Bruguera, 1975).
- Schibecchi, R. A., Attitude to science: On update. *Studies in Science Education*, 11, 26-59. 1984.
- Schibecchi, R. A. y Rileytt, J. P., Influence of students background and perception on science attitude and achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(3), 177-187, 1986.
- Serres, M., *Historia de las ciencias*. Madrid: Cátedra, 1991.
- Shrigley, R. L., The attitude concept and science teaching. *Science Education*, 67(4), 425-442, 1983.
- Solbes, J. y Vilches, A., El profesorado y las actividades CTS. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 3, 30-38, 1995.
- Solomon, J., El estudio de la tecnología en la educación. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, No. 3, 13-18, (1995).
- Tomasi, J., Towards "chemical congruence" of the models in theoretical Chemistry. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 5(2), 79-115, 1999. En línea: <http://hyle.org/journal/issues/5-2/tomasi.html>
- Uribe, M. V. y Cuellar, L., Estudio histórico-epistemológico del modelo atómico de Rutherford. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 14, 88-97, 2003.
- Zeidler, D. L. y Lederman, N. G., (1989). The effect of teachers language on students conception of nature of science. *Journal of Reserarch in Science Teaching*, 26(9), 771-783, 1989.

## Anexo 1

### Títulos de las UD diseñadas y aplicadas durante el desarrollo de los proyectos de 2002 y 2003

1. La química: Una ciencia experimental.
2. Propiedades de las sustancias.
3. Estudio de los gases y sus propiedades.
4. Modelos atómicos.
5. Periodicidad de las propiedades químicas.
6. Teorías sobre el enlace químico.
7. Las reacciones químicas.
8. Líquidos y sólidos.
9. Mezclas y soluciones.
10. Las relaciones ácido/base.
11. Reacciones químicas y energía.
12. Los elementos de los grupos IA, IIA y IIIA.
13. Los elementos de los grupos IVA, V y VIA.
14. La química del carbono.
15. La química orgánica de los compuestos oxigenados.
16. Compuestos carboxílicos.
17. Compuestos de interés biológico.

## Anexo 2

### Ejemplos de situaciones problemáticas

De la Unidad 2, ¿cómo podría el grupo de trabajo en el aula determinar experimentalmente el punto de fusión del hielo? Llegar a acuerdos y presentar el protocolo correspondiente.

De la Unidad 3, históricamente, la demostración de la existencia de los gases fue una labor que requirió conceptualizaciones y construcción de instrumento apropiados para ese efecto. ¿Desde qué argumentos puede el grupo de trabajo en el aula valerse para demostrar la existencia de los gases? Elaborar el protocolo de la discusión adelantada y la propuesta acordada.

Taller de la Unidad 3. El desarrollo industrial y el consumo de los derivados del petróleo está contaminando la atmósfera terrestre. Además, la tala y quema de los bosques y selvas, como la amazónica, contribuyen en gran proporción con esta contaminación. Esto trae como consecuencia un aumento de la temperatura global. ¿Qué es el aumento de la temperatura global y el por qué de ese aumento? ¿Por qué éste es un problema mayúsculo para la vida sobre la Tierra y cómo contribuiremos todos para resolverlo? Presentar el protocolo elaborado.

De la Unidad 5. Consultando en la Tabla Periódica el número atómico ( $Z$ ) del nitrógeno, calcular el número de

neutrones en el núcleo de cada isótopo y el peso atómico promedio del elemento. Reportar los resultados obtenidos. De acuerdo con lo anterior, formular una regla para representar los isótopos. Lectura complementaria de esta unidad, el descubrimiento del radio, por María S. Curie (Laín Entralgo, P. y López Piñero, J. M. (1963). *Panorama histórico de la ciencia moderna*. Madrid: Guadarrama).

De la Unidad 7. En el grupo de trabajo en el aula discutir aquello que han elaborado sobre los fenómenos químicos y de la expresión de éstos en ecuaciones químicas. Hacer una propuesta acerca del uso de dichas ecuaciones para calcular los pesos de las sustancias que intervienen como reactantes y de las que se producen. Entregar por escrito lo elaborado. Taller para esta Unidad: consultar la información requerida y discutir lo relacionado con el tratamiento químico en los acueductos para obtener agua potable y el tratamiento que se da a las aguas residuales. Lectura complementaria de la unidad 7: Las combinaciones químicas orgánicas e inorgánicas, por J. J. Berzelius (Laín Entralgo, P. y López Piñero, J. M. (1963). *Panorama histórico de la ciencia moderna*. Madrid: Guadarrama.



### Anexo 3. De la matriz de Análisis

1. Hace una interpretación admisible de los conceptos propios de la unidad didáctica.
2. Da cuenta de los fundamentos matemáticos y experimentales presentados.
3. Hace uso apropiado de los conceptos científicos estudiados para plantear y resolver las situaciones problemáticas que se le presentan.
4. Elabora una interpretación de la unidad didáctica con un sistema que permita construir nuevas ideas respecto de ellas.
5. Manifiestan los resultados de las evaluaciones un atreverse a pensar y a actuar de otra manera.
6. Las lecturas complementarias les ha permitido elaborar una idea acerca de los aportes de los químicos a la construcción de esta ciencia.

---

### Anexo 4. De los criterios

Mínimos: El grupo se mantuvo alrededor de las IAP con las cuales ingresaron al proceso. Insuficiente, hubo reconstrucciones no satisfactorias. Suficiente, las reconstrucciones y construcciones fueron las esperadas. Notables, esas reconstrucciones superaron las expectativas de los investigadores. Óptimas, esas reconstrucciones y construcciones se aproximaron a lo establecido por la comunidad científica correspondiente.

---

### Anexo 5. Cuestionario a estudiantes

1. ¿Qué opinión tiene usted de los contenidos de las unidades didácticas trabajadas?
2. ¿Qué pueden afirmar acerca de la metodología de trabajo desarrollada?
3. ¿Qué dificultades encontraron en la identificación de los problemas planteados en cada unidad didáctica?
4. ¿De qué manera las lecturas complementarias contribuyeron a la elaboración de que la química es una ciencia que posee una historia?
5. ¿Qué apreciación le merece el desarrollo de los talleres y la convocatoria a la posibilidad de demostrar experimentalmente sus argumentaciones?

---

### Anexo 6. Cuestionario a las profesoras

1. ¿Cuál es su parecer acerca del diseño de las unidades didácticas, sus contenidos y problemáticas planteadas?
2. Como profesional de la educación en química, ¿cuál es su concepto en torno a las estrategias didácticas planteadas en las unidades didácticas?
3. ¿Hasta dónde el proceso seguido ha contribuido a la reconstrucción y construcción de las competencias interpretar, argumentar y proponer?
4. ¿Qué análisis le merecen los resultados de la evaluación como regulación y autorregulación?