

# La argumentación en la formación de profesores de química: relaciones con la comprensión de la historia de la química<sup>1</sup>

Argumentation in chemistry teacher training: relations with the understanding of the history of chemistry

Argumento de química formação de professores: relações com a compreensão da história da química

Fecha de recepción: marzo de 2013  
Fecha de aprobación: agosto de 2013

Pablo Antonio Archila<sup>2</sup>

## Resumen

En este artículo se trata el tema de la argumentación en ciencias de la naturaleza como habilidad de pensamiento y se promueve su inclusión en la formación inicial de profesores de química, pues se reconocen sus potencialidades para la mejora de las comprensiones que los futuros profesores podrían construir acerca de la historia de la química. Para tal fin, se aborda una breve revisión histórica de uno de los hitos de la química, como lo es el desarrollo de la química estructural, con lo cual se sugiere una de las actividades que forman parte de un módulo propuesto para la preparación en argumentación de profesores de química. Finalmente, se discuten algunas reflexiones y perspectivas que resultarían de la articulación entre argumentación e historia de la química.

**Palabras clave:** argumentación en ciencias, formación de profesores, historia de la química.

## Abstract

This article addresses the issue of argumentation in science as thinking skill and promotes its inclusion in pre-service chemistry teacher training after being recognized some potentialities to improve understanding that pre-service teachers could build on the history of chemistry. It addresses a brief historical review of one of the landmarks of chemistry such as the development of structural chemistry, which suggests one of the activities that are part of a proposed module that helps argumentations training of pre-service chemistry teachers. Finally, it is discussed some thoughts and perspectives that result from the joint between argumentation and history of chemistry.

**Keywords:** argumentation in science, teacher training, history of chemistry.

---

1 Artículo de investigación.

2 Université Lumière Lyon 2 -Francia.- Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá- Colombia  
Contacto: pablo-antonio.archila@univ-lyon2.fr

## Resumo

Este artigo aborda a questão da argumentação em ciências naturais como as habilidades de pensamento e promove a inclusão na formação inicial de professores de química como eles reconhecem o seu potencial para melhorar o entendimento de que os futuros professores poderiam construir em história da química. Para este fim, ele aborda uma breve revisão histórica de um dos marcos da química, como o desenvolvimento da química estrutural, o que sugere uma das atividades que fazem parte de um projeto de módulo argumento preparação professores de química. Finalmente, discutiremos algumas idéias e perspectivas que resultam da articulação entre argumentação e história da química.

**Palavras-chave:** argumentação na ciência, formação de professores, história da química.

## Introducción

Los estudios acerca de la argumentación son bien amplios y diversos si se presta atención a los procesos sociales y cognitivos que promueve en el aprendizaje (Muller y Perret-Clermont, 2009), ello ha permitido una construcción dinámica de sus concepciones que, entre otros hechos, ha demostrado ser un tema de gran interés para la comunidad académica por autores como Kuhn (1993, 2010), Jiménez-Aleixandre (2007), Plantin (2004, 2005), Candela (1999a), Newton (1999), García (2002), Van Eemeren y Grootendorst (2002), Cademártori y Parra (2004), Leitão y Banks-Leite (2004) y Stipcich (2005), entre otros. También la argumentación en el campo de la formación de profesores presenta grandes avances en los trabajos de Altet (1994), Calderón y León (2001) y Stipcich (2006). El panorama que dejan ver estas investigaciones es bastante amplio, y reafirma la importancia de continuar avanzando en el estudio de la argumentación y más profundamente el relacionado con su impacto en la formación de profesores, pues es allí donde se encuentran menos trabajos y, por tal razón, es en la actualidad una problemática a explorar (Archila, 2012).

En tal sentido, y en concordancia con estos planteamientos, adquiere lugar la reflexión propuesta por Stipcich y otros autores (2006), quienes han propuesto darle fundamento a la conveniencia de incorporar contenidos vinculados con la argumentación en la formación de profesores de ciencias. Lo anterior, bajo el supuesto de que, para actuar

sobre la formación y el perfeccionamiento docente, es preciso definir las bases teóricas que den fundamento a los cambios que se intenten implementar, con el fin de profundizar en ciertos aspectos a partir de un soporte teórico que haya sido establecido como producto de la reflexión de las comunidades académicas que investigan en educación en ciencias.

En el presente artículo se propone una reflexión en torno al papel de la argumentación en la formación inicial de profesores de química, así como la necesidad de incorporar “contenidos argumentativos” en los programas de formación inicial, entendiendo que a diario los futuros profesores de química se enfrentan a posiciones diferentes en relación con algún tema y sus implicaciones. De este modo, como continuidad de dicha reflexión, se sugiere una actividad que forma parte del módulo titulado “Enseñar y aprender química argumentando”, propuesto para la preparación en el tema de la argumentación de profesores de química en formación inicial. En dicha actividad, se promueve el uso de habilidades argumentativas para la comprensión de una breve revisión acerca de la construcción histórica y epistemológica de la teoría estructural. Así mismo, se considera que la argumentación surge como una vía de negociación entre las personas, ya que, de acuerdo con Stipcich (2006), esta privilegia la capacidad de entendimiento y de razonamiento crítico cuando hay divergencias de opinión frente a un tema. En clase de ciencias, donde se aspira a la formación global de los ciudadanos, se espera que los estudiantes adquieran habilidades

de pensamiento que puedan emplearen discusiones sobre conocimientos científicamente consensuados, pero también sobre conocimientos que, desde otras manifestaciones culturales, explican situaciones del entorno social y natural.

En un primer momento se conceptualizará la argumentación como habilidad de pensamiento para luego estudiar su papel en la formación de profesores de química y finalmente sugerir su inclusión —por ejemplo— en el estudio histórico y epistemológico de la química.

### Argumentación y didáctica de las ciencias

Toulmin (1958) define la argumentación como la elaboración de un discurso que tiene como finalidad convencer o hacer partícipes a otros de una conclusión, una opinión o de un sistema de valores. De otra parte, Habermas (1983) entiende la argumentación como un macro acto de habla, como un medio para conseguir un entendimiento lingüístico, que es el fundamento de una comunidad y es el uso de la intersubjetiva que se alcanza un consenso que se apoya en un saber proporcional compartido, en un acuerdo normativo y una mutua confianza en la sinceridad subjetiva de cada uno. Por ende, resalta Habermas (1983), los sujetos capaces de lenguaje y de acción deben estar en condiciones no solo de comprender, interpretar, analizar, sino también de argumentar según sus necesidades de acción y de comunicación.

La argumentación se pone en práctica en clase cuando se propone la resolución de problemas auténticos o cuando se le brinda a los estudiantes la oportunidad de discutir problemas relevantes para ellos (Jiménez-Aleixandre, 1998). Se podrían considerar las siguientes fases dentro del proceso argumentativo (Aragón, 2007):

- La presentación de datos o hechos.
- La conclusión o tesis que se defiende.
- La justificación, o elaboración de razones o argumentos que se proponen para conectar los hechos iniciales con la conclusión.

La justificación de una tesis depende de las circunstancias en las que se realiza la argumentación.

Pueden reforzarse con comentarios para darles más énfasis, sobre todo si la fundamentación no es concluyente y suelen ir acompañadas de refutadores que son comentarios en los que se ponen de manifiesto sus límites de validez o las circunstancias en las que no son ciertas las justificaciones.

La argumentación tiene un papel muy importante en el aprendizaje de los conceptos científicos (Sardá y Sanmartí, 2000):

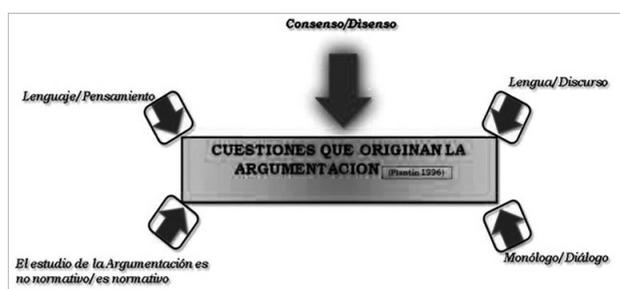
- Favorece su comprensión ya que implica relacionar los contenidos científicos con problemáticas reales.
- El diálogo argumentativo contribuye al aprendizaje de los estudiantes siendo una herramienta fundamental en el trabajo de grupos cooperativos.
- Estructura diversas formas de razonamiento.
- Mejora la comprensión de la naturaleza de la ciencia.
- Potencia y beneficia la capacidad de comunicación.
- Promueve el pensamiento crítico y la capacidad de decisión.

Reconocer la argumentación como una habilidad de pensamiento permite explorar algunas de las contribuciones potenciales que le brinda a la enseñanza y al aprendizaje de las ciencias, entre las que se encuentran el desarrollo de procesos cognitivos de alto orden, enculturación en la cultura científica, alfabetización científica y aportes para el logro del pensamiento crítico en los estudiantes (Erduran y Jiménez-Aleixandre, 2007). Al respecto, Pera (citado en Candela, 1999b) considera que el contexto cultural cotidiano no es el mismo que el de la cultura científica y que los discursos en cada contexto tienen características diferentes que deben ser contempladas cuando se pretende desarrollar un conocimiento científico. Pera (1994) también estudia las relaciones que se pueden establecer entre la ciencia y la cultura, para lo cual plantea que la ciencia no es un espejo de la naturaleza, pero tampoco es un constructo cultural arbitrario. Este último aspecto es relevante en la construcción de concepciones dinámicas de la ciencia por medio del estudio de su historia.

En tal sentido, en este artículo se asume la argumentación como una habilidad de pensamiento que favorece procesos cognitivos de alto orden como es el caso del razonamiento público defendido por Cohen (1989, 1993, 1997a-b, 1999, 2001) quien sostiene que la concepción deliberativa de la democracia no se refiere únicamente a la discusión con primacía sobre la negociación o la votación. Este autor considera que la discusión es valiosa ya que permite aumentar la información disponible en el debate público. Sin embargo, desde una perspectiva estratégica de la democracia, el objetivo de la discusión es persuadir al otro para que acepte las propuestas que favorecen el propio beneficio. Mientras que para la perspectiva deliberativa el objetivo es producir decisiones políticas que favorezcan el bien común. La discusión es productiva en cuanto conlleve la deliberación, con lo cual se da lugar al razonamiento público. Para Cohen (2001) la deliberación es sinónimo de razonamiento público.

### Fundamentos de la argumentación relevantes para un estudio crítico de la historia de la química

Con el propósito de reconocer algunos de los fundamentos de la argumentación viables para la construcción de concepciones críticas de la historia de la química, por parte de profesores de química en formación inicial, hay que considerar de forma amplia algunas cuestiones que son origen de la argumentación que serán de utilidad (ver figura 1).



**Figura 1.** Cuestiones que originan la argumentación

Fuente: elaboración propia

En la posterior actividad que se sugerirá como parte de la inclusión de la argumentación en el estudio histórico y epistemológico de la química, se

incorporará la cuestión del consenso/disenso, pues tiene afinidad con la argumentación en ciencias ya que es válido afirmar que una de las finalidades de la actividad argumentativa en ciencias es la construcción de un consenso, es decir, la resolución de las diferencias de opinión (Plantin, 1996). Por el contrario, la disonancia es una muestra de carencia o de error, es en este punto en el cual la argumentación es, de acuerdo con Plantin (1996), un medio favorable para integrar la disidencia por la eliminación racional de una de las opiniones en conflicto.

De otra parte, el diálogo y el monólogo argumentativo podrían ser vinculados al quehacer científico, para ello se tendrán en cuenta los estadios del diálogo argumentativo propuestos por Plantin (1996):

- Primer estadio, una proposición: quien habla produce un discurso mínimo que expresa un punto de vista, una proposición. Esta proposición es entendida como un discurso que puede estar conformado por una sola proposición, y esta, si se apoya en datos, posteriormente procederá a ser una conclusión.
- Segundo estadio, una oposición: luego de que la proposición es emitida por el locutor, quien es el interlocutor puede poner en duda dicha proposición. Por ello, la argumentación solo puede prosperar si la proposición origina un desacuerdo sobre esta, es decir, confrontación entre un discurso y un contradiscurso.
- Tercer estadio, un problema: producto del conflicto que sostiene con una oposición, la proposición se problematiza, se cuestiona y de ella es generado el tema del debate: el problema.
- Cuarto estadio, los argumentos: el locutor, quien, como ya se ha mencionado, realiza la proposición puede defenderla haciendo uso de hechos que puedan darle la razón. En adición es necesaria la inclusión de datos a fin de justificar la proposición inicial.

En el proceso argumentativo de las ciencias de la naturaleza, el papel de los datos es determinante, pues cuando estos son apoyados en una ley de paso apropiada adquieren el estatus de argumento

y la proposición el estatus de conclusión (Plantín, 1996). En la actividad que se sugerirá en el presente artículo, se promueve el uso de los cuatro estadios para comprender el desarrollo de la teoría estructural, como muestra de las múltiples actividades que pueden ser vinculadas en la formación inicial de profesores de química para el fomento del desarrollo de habilidades argumentativas.

A continuación, se hará referencia a las posiciones que Plantín (1996) tiene frente a los conceptos de *argumentar*, *argumentación*, *premisa*, *argumento*, *conclusión* y *ley de paso*. Estos conceptos son, en el presente documento, orientadores para el desarrollo de la argumentación en la formación inicial de profesores de química, y las posiciones aquí expuestas son bien compartidas pues se relacionan con el quehacer profesional de los profesores de química.

- **Argumentar:** es dirigir a un interlocutor un argumento, es decir, una buena razón para hacerle admitir una conclusión e incitarlo a adoptar otros comportamientos.
- **Argumentación:** es una operación que se apoya en un enunciado asegurado (aceptado, es decir el argumento) para llegar a un enunciado menos asegurado (menos aceptable), la conclusión.
- **Premisa:** es una proposición anterior a la conclusión de un argumento, es decir que a un argumento lo pueden constituir una o más premisas.

De acuerdo con Plantín (1996), tanto el argumento como la conclusión y la ley de paso comprenden diferentes estatus lingüísticos y cognitivos, a saber:

- **Argumento:** tiene el estatus de una creencia —presentada como— compartida, de un dato fáctico —presentado como— incontestable. El destinatario de la argumentación puede no estar de acuerdo con el argumento y rechazarlo, de ser así él deberá justificar su rechazo y presentar una contra prueba.
- **Conclusión:** permite transferir mediante la operación argumentativa saberes, creencias o comportamientos probados a objetos nuevos o a nuevas situaciones. Desempeñando

un papel, al menos formal, en la toma de decisiones.

- **Ley de paso:** tiene la función de transferir a la conclusión la aceptación que se la atribuye al argumento. Este paso supone siempre un salto, una diferencia de nivel entre el enunciado del argumento y el enunciado de la conclusión.

La ley de paso aporta a la premisa el sentido argumentativo que no tenía antes: este es un postulado fundamental de la argumentación discursiva. También es común que la ley de paso permita al argumentador —locutor— apoyar su argumento en una convención bien admitida en su comunidad de habla, lo que se conoce como lugares comunes.

Con base en lo anterior, es pertinente mencionar que el uso de argumentación en el aprendizaje de las ciencias es necesario pues es una práctica social utilizada en la comunidad científica para generar conocimiento y criticar reclamaciones/teoría. Al respecto Erduran y Jiménez-Aleixandre (2007) han propuesto la existencia de al menos cinco dimensiones o contribuciones —con sus respectivos fundamentos— que describen el potencial de la introducción de la argumentación en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza, ya que favorece

- El acceso a procesos cognitivos y metacognitivos que caracterizan el desempeño experto y que permiten la construcción de modelos en los estudiantes. Esta dimensión se fundamenta en el marco de una perspectiva cognitiva y en la consideración de las salas de clase como comunidades de aprendizaje (Brown y Campione, 1990; Collins et al., 1989).
- El desarrollo de competencias comunicativas y particularmente del pensamiento crítico. Esta dimensión se fundamenta en la teoría de la acción-comunicación y de la perspectiva sociocultural (Habermas, 1981; Wertsch, 1991).
- El logro de la alfabetización científica y el sentido de la autoridad en los estudiantes para

hablar y escribir el lenguaje de las ciencias de la naturaleza. Esta dimensión se fundamenta en estudios del lenguaje y de las semióticas sociales (Kress et al., 2001; Norris y Phillips, 2003; Yore et al., 2003).

- La enculturación en las prácticas de la cultura de las ciencias de la naturaleza y el desarrollo de criterios epistémicos para la evaluación del conocimiento. Esta dimensión se fundamenta en estudios de las ciencias de la naturaleza, particularmente en su epistemología (Leach et al., 2003; Sandoval, 2005).
- El desarrollo del razonamiento, particularmente la elección de teorías o posiciones a partir de criterios racionales. Esta dimensión se fundamenta en la filosofía de las ciencias de la naturaleza (Gieryn, 1988; Siegel, 1989, 1995, 2006) así como de la psicología cognitiva (Kuhn, 1991, 1993).

El lugar de la argumentación en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza es bien determinado por Plantin (2011), Aragón (2007), Sardá y Sanmartí (2000) y Erduran y Jiménez-Aleixandre (2007) quienes, desde sus diversas miradas, coinciden en situar la argumentación como uno de los elementos por tener en cuenta en el desarrollo de procesos educativos que propendan a la construcción —por parte de los estudiantes— de aprendizajes relevantes y articulados a la realidad inmediata.

En la tabla 1 se muestra una panorámica de las dimensiones —ya señaladas— sugeridas por Erduran y Jiménez-Aleixandre (2007), la cual permite insistir en el llamado de atención que hace Muller (2008) acerca del importante rol del profesor de ciencias, quien debe contemplar en el diseño y aplicación de actividades de clase; las contribuciones y fundamentos que surgen de la argumentación.

Contribuciones potenciales de la argumentación	Fundamentos
Modelar y hacer público procesos cognitivos	Cognición situada; comunidades de estudiantes

Desarrollar competencias comunicativas, pensamiento crítico	Teoría de la acción comunicativa; perspectiva sociocultural
Favorecer la alfabetización científica; hablar y escribir en el ámbito de las ciencias de la naturaleza	Estudio del lenguaje; semióticas sociales
Enculturación en de la cultura de las ciencias de la naturaleza; desarrollar criterio epistémico	Estudio de las ciencias de la naturaleza; epistemología
Desarrollo de habilidades de razonamiento y de criterio racional	Filosofía de las ciencias y psicología cognitiva

**Tabla 1.** Contribuciones y fundamentos de la argumentación en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias

Fuente: elaboración a partir de Erduran y Jiménez-Aleixandre (2007, p. 6).

De otra parte, al igual que Buty y Plantin (2008), las autoras Erduran y Jiménez-Aleixandre (2007) son enfáticas en afirmar que la argumentación no es la solución a todos los problemas que enfrenta la educación en ciencias. Con lo cual se sugiere darle el lugar pertinente, aquel donde la argumentación se conciba a favor de la solución de ciertos problemas de enseñanza y aprendizaje bajo la idea de mejorar, comprender y apoyar procesos de la educación de las ciencias de la naturaleza. En síntesis, las posibilidades de mejora que tiene la inclusión de la argumentación en las clases de ciencias, responde a la articulación minuciosa y planeada —no improvisada— (Muller, 2008) de teorías y prácticas que, en su conjunto, hacen de la argumentación una de las habilidades de pensamiento interesantes y relevantes que deben tener como propósito los profesores —entre otros— para desarrollarla en los estudiantes.

### La historia y la epistemología: una necesidad en la formación de profesores de ciencias

Gil y Vilches (2004) llaman la atención acerca de lo ocurrido en el National Research Council (1996), donde se le dio especial interés al cambio de la imagen del impacto de la educación, luego de identificarse una tendencia por postular los

beneficios de la educación, ya no solo hacia una perspectiva del futuro sino también sus desarrollos evidentes a corto plazo. Esta es una de las reformas que se han sugerido en el campo de la educación y que, de acuerdo con estos autores, tienen un impacto directo en la educación en ciencias y en tecnologías. En dicha reforma, se hace explícita la necesidad de implementar mejoras notorias en los currículos de los programas involucrados en la formación de profesores de ciencias. En tal sentido, el presente artículo pretende ser un aporte en general a los cambios a favor de la educación y en particular en la formación inicial de profesores de química, por cuanto se sugieren vínculos de la argumentación en el estudio histórico y epistemológico de la química.

En el campo de la formación de profesores de ciencias, es necesario precisar algunas de las expectativas que debe alcanzar todo currículo que se proponga para la preparación de estos profesionales. Con respecto a dichas expectativas autores como Feiman-Nemser, 1990; McDermott, 1990; Cronin-Jones, 1991; Gil y Pessoa de Carvalho, 1998, 2000; Furió y Gil, 1989, 1999; Jenkins, 2001; Mosquera, 2008 y Revel et al., 2005 han realizado investigaciones relevantes acerca del establecimiento de algunos elementos críticos que deben ser tenidos en cuenta para la formación —inicial y continuada— de profesores de ciencias y que, a su vez, forman parte del conocimiento profesional, a saber (Gil y Pessoa de Carvalho, 2000):

- Conocer los problemas que dieron origen a la construcción de los conocimientos y cómo llegaron a articularse en cuerpos coherentes de la disciplina científica —química, física, biología, entre otros— en la que se forman los futuros profesores. Es decir, conocer la historia y la epistemología de dicha disciplina, no solo como un aspecto básico de la cultura científica, sino, primordialmente, como una forma de asociar los conocimientos científicos con los problemas que originaron su construcción, sin lo cual dichos conocimientos serían entendidos como estáticos y ajenos de las realidades sociales. De igual manera, la apropiación del conocimiento de la historia de la disciplina permite distinguir las

dificultades y los obstáculos epistemológicos que se superaron. Es esta una ayuda imprescindible para comprender algunas de las dificultades de los estudiantes, así como para lograr tratar adecuadamente las ideas previas que presentan.

- Conocer las orientaciones metodológicas empleadas en la construcción de los conocimientos de la disciplina científica que enseñarán los futuros profesores. Es decir, comprender la manera como los científicos se plantean y tratan los problemas, las características más notables de su actividad, así como los criterios de validación y aceptación de teorías científicas.
- Conocer las interacciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA) asociadas a la construcción de conocimientos de la disciplina por enseñar, sin ignorar el posible carácter conflictivo del papel social de la disciplina científica y la necesidad de la toma de decisiones.
- Tener algún conocimiento de los desarrollos científicos recientes y sus perspectivas, a fin de permitir que los estudiantes construyan una imagen dinámica de la disciplina científica que se enseña.
- Contar con conocimientos de otras disciplinas relacionadas que permitan establecer relaciones propias de la interacción entre diversos campos del saber y sus respectivos procesos de unificación, que constituyen momentos cumbre del desarrollo científico.

Los elementos mencionados tienen que ver con el conocimiento de la disciplina que los profesores en formación —inicial y continuada— deberán construir; a su vez, existen otros de igual importancia como saber diseñar programas adecuados de actividades y conocer acerca de todo el campo de la evaluación de procesos educativos (Gil y Vilches, 2004). Para el caso de la presente reflexión, se centrará la atención especialmente en los elementos que hacen referencia al conocimiento y concepciones históricas y epistemológicas que los profesores en formación pueden construir haciendo uso de habilidades argumentativas.

## La teoría estructural: una breve revisión histórica

Con respecto a cómo incluir contenidos argumentativos en los programas de formación inicial de profesores de química, es evidente la necesidad de hacer explícita su vinculación en los currículos de los programas de formación de los futuros profesores; así mismo, le corresponde a los profesores encargados de la formación de los futuros profesores de química hacer de la argumentación uno de los ejes protagónicos de sus planes de clase (Zohar, 2007; Muller, 2008) donde se encuentra gran variedad de contenidos disciplinares, pedagógicos y didácticos de los cuales deberán estar provistos los futuros profesores. En este caso se aborda la historia de la química y cómo la argumentación puede favorecer su estudio.

A manera de sugerencia de cómo la argumentación favorece la comprensión de las ciencias de la naturaleza, así como de la historia de la química, en este apartado se hace una breve revisión que surge de la integración de perspectivas históricas provistas por Asimov (1975), Bensaude-Vincent y Stengers (1997) y Brock (1998) en las cuales se procura reflejar una imagen dinámica de la historia de las ciencias de la naturaleza como lo sugieren Gallego, R. y Gallego, P. (2008) y Kragh (1989). Dicha revisión tiene como finalidad determinar el modo como se ejerció la argumentación en relación con las controversias (de Hosson, 2011; de Hosson y Kaminski, 2007) y cómo fueron construidos los consensos entorno al debate originado por una concepción trascendental para el desarrollo de la química, como es el caso de la teoría estructural.

La teoría estructural surge del estudio de los compuestos orgánicos, que se conocían desde épocas remotas, por ejemplo: los egipcios utilizaban los colorantes, los fenicios extraían el púrpura de un molusco y los procesos de fermentación para obtener el vino han acompañado al ser humano durante miles de años; fue desde el siglo XIX, después de que se comprendieron los principios de la combustión, y a partir de la denominada revolución química, que los químicos iniciaron un estudio sistemático de la materia constituyente de los seres vivos y de su estructura.

La clasificación de las sustancias se incrementa en el siglo XVII, pues antes de este siglo se habían clasificado por la combustibilidad, es decir, desde el descubrimiento del fuego, inevitablemente se dividieron en dos clases según ardiesen o no, los principales combustibles de la antigüedad fueron la madera y las grasas o aceites. La madera era un producto del mundo vegetal, mientras que la grasa y el aceite eran productos del reino animal o del vegetal. En su mayor parte, los materiales del mundo mineral, como el agua, la arena y las rocas, no ardían, tienden, más bien, a apagar el fuego. La idea inmediata era que las dos clases de sustancias —combustibles y no combustibles— podían considerarse convenientemente como las que provenían solamente de cosas vivientes y las que no provenían de estas (Asimov, 1975).

## Las ideas vitalistas

La teoría del vitalismo asumía que la materia orgánica solo podía ser producida por los seres vivos, atribuyendo este hecho a una fuerza vital o *vis vitalis* inherente a la propia vida, este raciocinio de profundas raíces filosóficas propone a la vida como un fenómeno especial que no obedecía a las leyes físico-químicas, como lo hacen los objetos inanimados, y fue predicada desde el siglo XVI por Stahl.

Esta asunción vitalista dificultó obtener materia orgánica a partir de precursores inorgánicos, pues se pensaba que no se podrían obtener compuestos orgánicos en un laboratorio. El término "orgánico", como se utilizó en la frase anterior, fue designado hasta 1807 por Berzelius, siendo estos compuestos el conjunto de sustancias que se obtienen de los organismos, pero hay que aclarar que para Berzelius y sus contemporáneos, la química orgánica no tenía el mismo sentido de química del carbono que tiene hoy en día, sino era la química de los compuesto vivos.

La teoría del vitalismo entra en crisis cuando se evidencia que las teorías de la química de los minerales también aplicaban a la materia orgánica y especialmente con el hallazgo del químico alemán Wöhler, que llegó a demostrar que no solo se formaban compuestos orgánicos de la fuerza vital

sino también se podrían sintetizar a partir de compuestos inorgánicos.

Wöhler realizó el siguiente experimento basándose en su interés en los cianuros y compuestos relacionados con ellos; calentó en cierta ocasión un compuesto llamado cianato amónico —considerado en aquella época como una sustancia inorgánica, sin ningún tipo de conexión con la materia viva—; en el curso del calentamiento, Wöhler descubrió que se estaban formando cristales parecidos a los de la urea, un producto de desecho eliminado en cantidades considerables en la orina de muchos animales, incluido del ser humano. Estudios más precisos mostraron que los cristales eran indudablemente urea, un compuesto claramente orgánico. Esto generó que los químicos de la época cambiaran su percepción sobre la teoría del vitalismo y a partir de este cambio se comenzaron a investigar los compuestos sintetizados por los seres vivos y empezaron a sintetizarlos a partir de compuestos inorgánicos en el laboratorio.

### Construcción de la teoría de los radicales

Desde principios del siglo XIX empezó a elaborarse la idea del átomo como partícula más pequeña de la sustancia, que conserva todas sus propiedades según el modelo propuesto por Dalton, apareció además el concepto de peso atómico y los elementos químicos adquirieron definición cuantitativa; se estableció que las cualidades y las propiedades de los cuerpos dependen tanto de su composición como de su estructura. Para establecer esta relación se parte de la simbología propuesta por Dalton para explicar su modelo atómico, la cual abrió paso a nuevas investigaciones realizadas por otros científicos de la época. Uno de ellos fue Berzelius quien desarrolló su importante e influyente teoría electroquímica solo hasta 1810, después de haber estudiado la teoría atómica de Dalton (Asimov, 1975), apoderándose de la creación de Dalton y transformándola electroquímicamente.

Berzelius explicaba que la formación de los compuestos orgánicos están constituidos por una parte positiva y una parte negativa, de acuerdo con su teoría electroquímica los cuerpos orgánicos

obedecen a las mismas leyes generales que rigen a la formación de las combinaciones inorgánicas, y podían ser compuestos terciarios o cuaternarios, por lo cual los radicales vegetales están formados a partir de hidrógeno y carbono, y los animales de nitrógeno, hidrógeno y carbono.

Concibiendo así a los radicales como aquellas unidades que constituían las moléculas orgánicas. De acuerdo con lo anterior, se establecieron los siguientes supuestos:

- Toda molécula orgánica estaba formada de radicales, igual que las moléculas inorgánicas estaban formadas de átomos individuales.
- Los radicales eran casi tan indivisibles e inmutables como los propios átomos.
- La fuerza que une a los átomos en una molécula inorgánica o en un radical orgánico era de naturaleza eléctrica.
- Toda molécula debía contener una parte positiva y una parte negativa, ya que solo existía atracción entre los elementos de cargas opuestas.

Berzelius afirmaba la imposibilidad de llegar a sustituir un elemento negativo por uno positivo sin tener una influencia en las propiedades del compuesto. Afirmación que fue contrastada por Dumas quien apoyó muchas de las ideas de Berzelius, y llegó a confirmar que uno de sus estudiantes, Auguste Laurent (1807-53), consiguió sustituir por átomos de cloro algunos átomos de hidrogeno en la molécula de alcohol etílico. Y ya que se consideraba al cloro negativo y al hidrogeno positivo, contradiciendo las afirmaciones de Berzelius, aún así estos lograron ser intercambiados sin afectar las propiedades del compuesto.

El experimento de Laurent despertó varios interrogantes entre tanto, él logró sustituir un hidrogeno por un cloro y dicho cloro se enlazaría a un átomo de carbono, teniendo estos dos una carga negativa cada uno, es decir, dos átomos negativos estaban enlazados. ¿Cómo se explica dicho fenómeno?, y en relación, ¿cómo dos átomos de cloro pueden estar unidos para formar la molécula de cloro, si dos cargas iguales se repelen? La respuesta se desarrollaría un siglo más tarde.

Las ideas de Laurent se encontraron con Berzelius, quien fue un necio rival, que se opuso a cambiar sus planteamientos, y atacó duramente los hallazgos realizados por Laurent. Dumas —en apoyo a Berzelius— desconoció que fue él, quien en 1839 había llegado a sustituir tres átomos de hidrogeno por átomos de cloro, en el ácido acético.

Mientras tanto, Laurent continuó con sus investigaciones afirmando, probando y comprobando sus ideas que cada vez iban más en contravía con las de Berzelius, quien se encargó de impedir que Laurent tuviera acceso a los laboratorios más famosos y sofisticados de la época. En cuanto a la teoría de los radicales, esta se mantuvo más por la hegemonía de Berzelius que por su alcance explicativo.

### Importancia del concepto de isómero

El término isomerismo fue utilizado por primera vez por Berzelius como sugerencia para denominar dos compuestos de fórmula empírica igual, pero de diferente comportamiento físico-químico; estudiados por dos íntimos amigos Liebig y Wöhler, quienes estudiaron los fulminatos y los cianatos respectivamente, ambos enviaron informes de su trabajo a una revista editada por Gay-Lussac. Él notó que las fórmulas empíricas dadas para estos compuestos eran idénticas y que, sin embargo, las propiedades descritas eran muy diferentes. Por ejemplo, el cianato de plata y el fulminato de plata constan ambos de moléculas que contienen un átomo de plata, carbono, nitrógeno y oxígeno. Gay-Lussac comunicó esta observación a Berzelius, quien en ese momento era el químico más famoso del mundo; pero Berzelius descubrió que dos compuestos orgánicos, el ácido racémico y el ácido tartárico, si bien poseían propiedades diferentes, parecían tener la misma fórmula empírica —que ahora se sabe es  $C_4H_6O_6$ —. Como los elementos estaban presentes en estos diferentes compuestos en las mismas proporciones, Berzelius sugirió que tales compuestos se llamasen isómeros —de la palabra griega que significa “iguales proporciones”—, y la sugerencia fue adoptada.

En los años siguientes se hallaron otros casos de isomería, quedando claro que si dos moléculas estaban hechas del mismo número de cada tipo de

átomos, y si poseían propiedades distintas, la diferencia estaba en el modo como los átomos se enlazaban dentro de la molécula.

### La teoría de los tipos: un aporte a la concepción de valencia

Los supuestos de la teoría de los radicales eran aplicados con éxito para dar una interpretación a una sustancia inorgánica de carácter simple. El problema surgió en el momento de analizar sustancias orgánicas bajo estos supuestos, para lo cual Berzelius argumentó que un radical estaba compuesto únicamente por carbono e hidrogeno, con cargas negativa y positiva, respectivamente. El estudio del radical benzoílo ( $C_7H_5O$ ) trajo consigo aún más dudas, ya que se había demostrado su contenido de oxígeno y, en este sentido, la concepción de Berzelius acerca de la composición de un radical, no era válida.

Fue solo en 1848 cuando tras la muerte de Berzelius, que Laurent alcanzó un aval de la comunidad científica que le permitió divulgar sus ideas. Laurent propuso que toda molécula orgánica poseía un núcleo al cual se enlazaban los diferentes radicales. Desde esta idea, las moléculas orgánicas podían llegar a agruparse en familias o tipos —por ello el nombre de teoría de los tipos— y todos aquellos que formaban parte de un tipo poseían un núcleo idéntico al cual podía unirse cualquiera de una serie de radicales semejantes.

La propuesta de Laurent tenía también aplicabilidad en sustancias inorgánicas, para el caso de la molécula de agua ( $H_2O$ ) podía considerarse formada por un átomo central de oxígeno (el núcleo) al que estaban unidos dos átomos de hidrógeno. Y si se sustituyera un átomo de hidrógeno por algún radical de una serie, se obtendría un tipo de compuesto que incluirá entre sus miembros al agua, así como a diversas moléculas orgánicas.

Es así como se encontró que si un átomo de hidrógeno era sustituido por un grupo metilo ( $CH_3$ ) o un grupo etilo ( $C_2H_5$ ), se tendría  $CH_3OH$  (alcohol metílico) y  $C_2H_5OH$  (alcohol etílico), respectivamente. Y de igual modo, se podría seguir realizando esta sustitución con muchos otros alcoholes. Luego de evaluar las características entre estos se conoció que los

alcoholes entre si poseen muchas semejanzas y como clase mantienen varias semejanzas con el agua.

En relación con lo anterior, el químico francés Charles Adolphe Wurtz (1817-84) en 1848 había estudiado un grupo de compuestos relacionados con el amoniaco, que recibieron el nombre de aminas. Wurtz demostró que pertenecían a un tipo con un núcleo de nitrógeno. En el amoniaco, un átomo de nitrógeno estaba unido a tres átomos de hidrógeno. En las aminas, uno o más de estos hidrógenos estaban reemplazados por radicales orgánicos.

Entre los años 1850 y 1852, el químico inglés Alexander William Williamson (1824-1904) llegó a demostrar que la familia de compuestos orgánicos llamada éteres podía también formarse según el “tipo agua”. En este caso, los dos hidrógenos del agua eran sustituidos por radicales orgánicos. Lo anterior es evidencia de cómo la teoría de los tipos ganó popularidad debido a que podía usarse para organizar el número cada vez mayor de compuestos orgánicos que se estaban estudiando. El químico ruso-germano Friedrich Konrad Beilstein (1838-1906) publicó en 1880 un vasto compendio de compuestos orgánicos y utilizó la teoría de los tipos de Laurent para organizar dichos compuestos dentro de un orden sistemático y lógico.

Si bien la teoría de Laurent daba luces para comprender el fenómeno de los radicales, no resolvía el fenómeno de la estructura molecular ya que no explicaba la disposición atómica real dentro de los mismos radicales. Luego de observar que el átomo de oxígeno se unía a dos átomos o radicales y el átomo de nitrógeno a tres. Kolbe y otros químicos empezaron a escribir fórmulas para los compuestos orgánicos en las que se conocía el número de enlaces del oxígeno o del nitrógeno.

El químico inglés Edward Frankland (1825-99), fue el primero en interesarse por los compuestos organo-metálicos, en los cuales agrupaciones orgánicas se enlazan a átomos de metales como el zinc. En ese momento, estaba muy claro que cada átomo metálico podía enlazarse solo a determinado número de grupos orgánicos y que este número variaba para

los diferentes metales. En 1852 Frankland propuso lo que hoy se conoce como teoría de la valencia —de la palabra latina que significa “poder”—: cada átomo tiene un poder de combinación fijo. El concepto de valencia ayudó a clarificar la diferencia entre peso atómico y peso equivalente de un elemento.

Kekulé aplicó el concepto de valencia a la estructura de las moléculas orgánicas. Sugirió que el carbono tiene una valencia de 4, y elaboró en 1858 la estructura de las moléculas orgánicas más simples, así como la de los radicales. La representación gráfica de este concepto se debe al químico escocés Archibald Scott Couper (1831-1892), quien sugirió representar esas fuerzas combinadas entre átomos —enlaces, como se las llama normalmente— en forma de pequeños trazos.

En tal sentido, las moléculas orgánicas podían construirse como verdaderas estructuras de “mecano”. Fue esta representación la que permitió ver muy claramente por qué las moléculas orgánicas eran, en general, mucho más grandes y complejas que las moléculas inorgánicas. De acuerdo con Kekulé, los átomos de carbono podían llegar a enlazarse unos con otros, por medio de uno o más de sus cuatro enlaces de valencia, para formar largas cadenas, lineales o ramificadas. Ningún otro átomo parecía presentar esa propiedad en un grado tan marcado como el carbono.

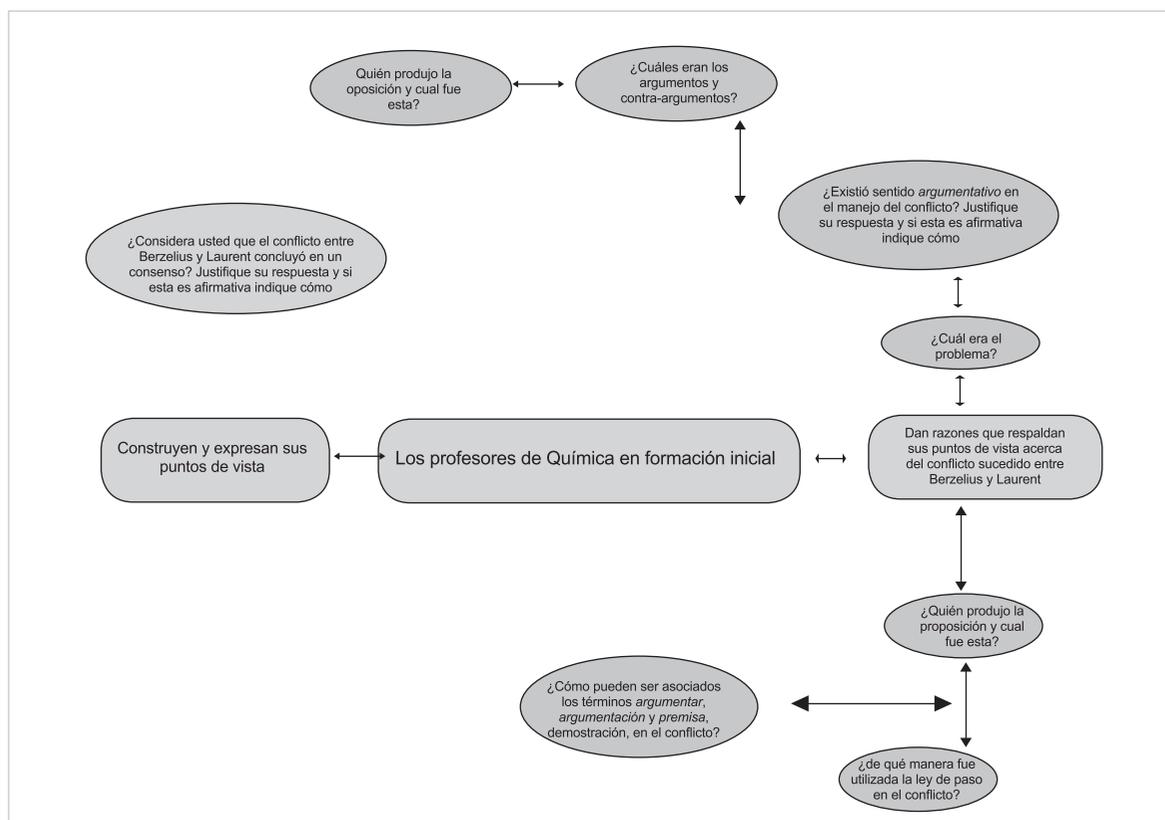
### **Actividad: argumentación e historia de la teoría estructural**

Tras contar con una conceptualización acerca de la argumentación en ciencias, la formación de profesores y una breve revisión de la historia de la teoría estructural. A continuación se hará uso de algunas de las concepciones de argumentación sugeridas por Plantin (1996) a fin de examinar la discusión entre Berzelius y Laurent. Hay que aclarar que, en la breve revisión de la historia de la teoría estructural, se puede encontrar más de un debate entre científicos de la época. Sin embargo, se ha escogido la disputa de estos dos científicos debido a que contiene un matiz social muy marcado e interesante para el tema de la argumentación.

La actividad —que como se ha mencionado hace parte de un módulo para la formación en argumentación de futuros profesores de química— que se sugiere para el desarrollo de habilidades argumentativas, en estudiantes de licenciatura en Química mediante estudios históricos y epistemológicos, consiste en brindarles como lectura de clase la revisión histórica empleada en este artículo para que ellos articulen dicho soporte escrito con una previa fundamentación en el tema de la argumentación y, de este modo, inicien procesos de contraste de sus concepciones acerca de la historia de la química al tiempo que promuevan sus habilidades argumentativas. Dicha fundamentación esta provista en los apartados “Argumentación y didáctica de las ciencias” y “Fundamentos de la argumentación relevantes para un estudio crítico de la historia de la química” descritos en este artículo. La importancia de esta fundamentación se ubica en el trabajo de Zohar (2007), quien afirma que para enseñar

a argumentar a los estudiantes en el marco de las ciencias de la naturaleza, es necesario que los profesores cuenten con formación acerca de los fundamentos de esta habilidad de pensamiento, así como de las múltiples estrategias pertinentes para la promoción de la argumentación en los estudiantes.

En la figura 2 se indican algunas de las preguntas que podrían orientar el debate —discusión libre— de profesores de química en formación inicial en torno al conflicto sucedido entre Berzelius y Laurent en el marco de uno de los hitos de la historia de la química, la teoría estructural, se espera que, con base en la construcción y expresión de puntos de vista respaldados en razones fundamentadas, los futuros profesores de química promuevan el desarrollo de sus habilidades argumentativas al tiempo que manifiesten visiones dinámicas de la construcción del conocimiento en ciencias, provistas por reflexiones críticas de la historia de la química.



**Figura 2.** Preguntas para orientar un debate entre profesores en formación inicial acerca de un hito de la historia de la química

Fuente: elaboración propia

Finalmente, se espera que, luego de construir reflexiones en torno a estas preguntas, los futuros profesores de química cuenten con mejores elementos de juicio que les permitan comprender qué visiones dinámicas de la ciencia (Estany, 1993; Gallego y Gallego, 2008; Kragh, 1989) favorecen la superación de concepciones ingenuas de la ciencia, las cuales suponen que el progreso científico no es más que una acumulación de resultados exitosos e indiscutibles y asumen tácitamente que la argumentación no tendría relevancia en el campo científico (Stipcich et al., 2006). Esta situación se presenta, entre otras razones, por el desconocimiento de los mismos profesores de ciencias quienes no se enteran de estos intercambios de opiniones, posturas, puntos de vista, entre otros (Vianna y Carvalho, 2000; Mosquera, 2000). Precisamente, la actividad sugerida en el presente artículo se postula como un aporte para la formación de profesores de química que hagan uso de habilidades argumentativas para construir concepciones favorables acerca de la historia de la disciplina que enseñarán.

Las preguntas sugeridas le permitirían reconocer a profesores de química en formación inicial que, en términos de Lakatos (1983), es válido afirmar que tanto Berzelius como Laurent defendían sus programas de investigación, destacándose que Berzelius realizó modificaciones del mismo para darle validez y lograr contrarrestar las ideas de Laurent. Muchas de dichas modificaciones fueron realizadas de manera caprichosa y sin tener en cuenta un marco teórico-experimental de validez. De allí que solo bastase la muerte de Berzelius para que sus ideas fueran cuestionadas y reformuladas por el modelo de Laurent. Esta situación deja ver cómo hay disensos que son resueltos porque a una de las partes (Berzelius) la cobija un poder social más alto. Es decir, aunque existe ley de paso por parte y parte, el sentido argumentativo se ve limitado por la influencia de poderes. Tras la existencia de dos modelos de comprensión de la química estructural, la comunidad científica orientó su opción hacia el modelo de Berzelius por su poder social y el modelo de Laurent pasó a un segundo plano, más por su escasa promulgación que por su ley de paso.

## Reflexiones finales y perspectivas

- El proceso de debatir —que para el caso de la revisión presentada esta dirigido al conflicto de Berzelius y Laurent— es estudiado por Plantin (2004), quien lo considera como una situación privilegiada para ejercer capacidades como expresarse, construir un punto de vista y dar razones que lo respalden; escuchar a los otros integrando en el discurso propio lo que ellos han dicho. En este sentido, Mortimer y Machado (2001) están de acuerdo en que la toma de consciencia y participación de los estudiantes en la resolución de conflictos depende no solo de la selección de unas estrategias adecuadas, sino, sobre todo, del discurso construido en torno a la actividad. Es ahí, en ese momento, en el que cobra sentido la incorporación de estrategias argumentativas —estudios históricos y epistemológicos— en las diferentes áreas de conocimiento bajo una previa revalorización de la especificidad de cada disciplina. Al respecto, conviene aclarar que el discurso argumentativo no sucede únicamente en la escuela. Los trabajos de Dunbar (2000), Campanario (2004) y Reis y Galvão (2005) muestran que en las comunicaciones entre científicos abundan las discusiones y las polémicas, que son asumidas por ellos como una parte natural y sumamente importante de su tarea, lo cual es evidente en el conflicto entre Berzelius y Laurent.
- Las reflexiones de este artículo se sitúan en la línea de Cademártori y Parra (2004), quienes reconocen que si se fomenta en la escuela la falibilidad del conocimiento científico, esto contribuirá en la imagen de los estudiantes hacia la posibilidad de rectificar sus propias ideas así como la generación de un ambiente de aprendizaje más crítico. En apoyo a esta idea, Stipcich y otros autores (2006) hacen un llamado hacia la necesidad de formar profesores de ciencias que conozcan las características más importantes de la dinámica que es propia de la construcción de conocimiento en ciencia —entre ellas, la relevancia de argumentaciones dentro de la comunidad—, a fin de brindarles herramientas a los futuros profesores para que logren en sus estudiantes la

construcción de una imagen de ciencia contraria a una ciencia acabada e incuestionable en donde el debate no tiene lugar.

- Es pertinente considerar que la formación de profesores de ciencias debería contar con una preparación epistemológica explícita que aborde los aspectos antropológicos y sociológicos de la ciencia para tener un impacto en el imaginario de ciencia percibido por los docentes, al tiempo que se propiciaría un mejor desarrollo de argumentaciones sobre los contenidos que se estudian en las clases de ciencias (Stipcich et al., 2006). Es muy escaso el interés que la epistemología y la filosofía de las ciencias le dan al tema del discurso argumentativo en los planes de estudio de la formación de los profesores de ciencias. En contraste con esta idea, en el trabajo de Stipcich (2006) se identificó la existencia de contenidos —presentes en los planes de estudio para la formación de profesores de física— que no serían difíciles de relacionar con la argumentación científica. Dicha identificación es la base para sugerir un cambio programático que incluya tópicos sobre argumentación, tales como el propuesto en este artículo.

## Referencias bibliográficas

- Altet, M. (1994). *La formation professionnelle des enseignants*. Paris: Presses universitaires de France.
- Aragón, M. M. (2007). Las Ciencias Experimentales y la Enseñanza Bilingüe. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), 152-175.
- Archila, P. A. (2012). La investigación en argumentación y sus implicaciones en la formación inicial de profesores de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(3), 361-375.
- Asimov, I. (1975). *A Short History of Chemistry - An Introduction to the Ideas and Concepts of Chemistry*. New York: Doubleday & Co., Inc.
- Bensaude-Vincent B. y Stengers I. (1997). *Historia de la química*. Madrid: Addison Wesley Iberoamericana.
- Brock, W. H. (1998). *Historia de la química*, Madrid: Alianza Editorial.
- Brown, A., and Campione, J. (1990). Communities of learning and thinking, or a context by any other name. In D. Kuhn (Ed.). *Developmental perspectives on teaching and learning thinking skills. Contribution to Human Development*, 21, 108-126.
- Buty, C., et Plantin, C. (Eds.) (2008). L'argumentation à l'épreuve de l'enseignement des sciences et vice-versa. In C. Buty, y C. Plantin. (Eds.), *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. Paris, France: Institut national de recherche pédagogique.
- Cademártori, Y. y Parra, D. (2004). Reforma Educativa y Teoría de la Argumentación. *Revista Signos*, 33(48), 69-85.
- Calderón, D. y León, C. (2001). *Requerimientos didácticos para el desarrollo de competencias argumentativas en matemáticas*. Bogotá: IDEP-Colciencias.
- Campanario, J. (2004). Algunas posibilidades del artículo de investigación como recurso didáctico orientado a cuestionar ideas inadecuadas sobre la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 365-378.
- Candela, A. (1999a). *Ciencia en el aula. Los alumnos entre la argumentación y el consenso*. México: Paidós.
- Candela, A. (1999b). Prácticas Discursivas en el Aula y Calidad Educativa. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 4(8) 273-298.
- Cohen, J. (1989). The economic basis of deliberative democracy. *Social Philosophy & Policy*, 6(2), 25-50.
- Cohen, J. (1993). Moral Pluralism and Political Consensus. En D. Copp, J. Hampton, and J. E. Roemer (Eds.). *The Idea of Democracy*. Cambridge University Press.
- Cohen, J. (1997a). Deliberation and Democratic Legitimacy. En J. Bohman and W. Rehg (Eds.). *Deliberative Democracy: Essays on Reason and Politics*, Cambridge University Press.

- Cohen, J. (1997b). Procedure and Substance in Deliberative Democracy. En J. Bohman and W. Rehg (Eds.). *Deliberative Democracy: Essays on Reason and Politics*. Cambridge University Press.
- Cohen, J. (1999). Reflections on Habermas on Democracy. *Ratio Juris: An International Journal of Jurisprudence*, 12(4), 385-416.
- Cohen, J. (2001). Democracia y libertad. En J. Elster (comp.). *La democracia deliberativa*. Barcelona, España: Gedisa.
- Collins, A., Brown, J., and Newman, S. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing and mathematics. In L. Resnick. (Ed.). *Knowing, learning and instruction. Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453-494). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Cronin-Jones, L. (1991). Science teaching beliefs and their influence on curriculum implementation: two cases studies. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), 235-250.
- De Hosson, C. (2011). Una controversia histórica al servicio de una situación de aprendizaje: una reconstrucción didáctica basada en Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo de Galileo. *Enseñanza de las ciencias*, 29(1), 115-126.
- De Hosson, C. and Kaminski, W. (2007). Historical Controversies as an Educational Tool. Evaluating Elements of a Teaching-learning Sequence Conducted with the "Dialogue on the Ways that Vision Operates". *International Journal of Science Education*, 29(5), 617-642.
- Dunbar, K. (2000). How Scientists Think in the Real World: Implications for Science Education. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), 49-58.
- Erduran, S. and Jiménez-Aleixandre, M. (Eds.) (2007). *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research*. New York: Springer.
- Estany, A. (1993). *Modelos de Cambio Científico*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Feiman-Nemser, S. (1990). Teacher preparation: structural and conceptual alternatives. En: W.R. Houston (Ed.). *Handbook of Research on Teacher Education*. New York: MacMillan.
- Furió, C. y Gil, D. (1989). La didáctica de las ciencias en la formación inicial del profesorado: una orientación y un programa teóricamente fundamentados. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 257-265.
- Furió, C. y Gil, D. (1999). Hacia la formulación de programas eficaces en la formación continuada del profesor de ciencias. En: *Memorias Educación Científica. Congreso iberoamericano de educación en ciencias experimentales. Formación permanente de profesores*, 129-146. España: Edición Servicio publicaciones Universidad de Alcalá.
- Gallego, R. y Gallego, P. (2008). La perspectiva histórica: un nuevo enfoque para la enseñanza de las ciencias. En *Memorias del Coloquio Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, 2(1), 4-13. Bogotá-Colombia.
- García, S., Domínguez, J. y García Rodeja, E. (2002). Razonamiento y argumentación en ciencias. Diferentes puntos de vista en el currículo oficial. *Enseñanza de las ciencias*, 20(2), 217-228.
- Giere, R. (1988). *Explaining Science, A cognitive approach*. Chicago, London: University of Chicago press.
- Gil, D. and Pessoa de Carvalho, A. M. (1998). Physics teacher training: analysis and proposals. En: Tiberghien, A.; Jossem, L. and Barojas, J. (Eds). *ICPE Books. Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. International Commission on Physics Education.
- Gil, D. y Pessoa de Carvalho, A. M. (2000). Dificultades para la incorporación a la enseñanza de los hallazgos de la investigación e innovación en didáctica de las ciencias, *Educación Química*, 11(2), 250-257.
- Gil, D. y Vilches, A. (2004). La formación del profesorado de ciencia de secundaria y de universidad. La necesaria superación de algunos mitos bloqueadores. *Revista Educación Química*, 15(1), 43-51.

- Habermas, J. (1981). *The Theory of Communicative Action*. Boston, MA: Beacon Press.
- Habermas, J. (1983). *Conciencia moral y acción comunicativa*. Barcelona: Editorial Península.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. (1998). Diseño curricular: indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 16(2), 203-216.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2007). Designing Argumentation Learning Environments. In S. Erduran. and M. P. Jiménez-Aleixandre. (Eds.). *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research*. New York: Springer.
- Jenkins, E. (2001). Science Education as a field of research. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 1(1), 9-21.
- Kragh, H. (1989). *Introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J. and Tsatsarelis, C. (2001). *Multimodal teaching and learning: The rhetorics of the science classroom*. London: Continuum.
- Kuhn, D. (1991). *The skills of argument*. New York: Cambridge University Press.
- Kuhn, D. (1993) Science as argument: implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77(3), 319-337.
- Kuhn, D. (2010). Teaching and learning science as argument. *Science Education*, 94, 810-824.
- Lakatos, I. (1983). *La Metodología de los Programas de Investigación Científica*. Madrid: Alianza Editorial.
- Leach, J., Hind, A. and Ryder, J. (2003). Designing and evaluating short teaching interventions about the epistemology of science in high school classrooms. *Science Education*, 87(3), 831-848.
- Leitão, S. eBanks-Leite, L. (2004). Argumentação e explicação: modos de construção/constituição do conhecimento. *Memorias X Simposio de pesquisa e intercâmbio científico*. Praia Formosa - Brasil, 26-35.
- Mcdermott, L. (1990). A perspective on teacher preparation in physics-other sciences-. The need for special science courses for teachers. *American Journal of physics*, 58(8), 734-742.
- Mortimer, E. F. eMachado, A. H. (2001). Elaboração de conflitos e anomalias na sala de aula. Em: E.F. Mortimer, e A.L.B. Smolka, (Orgs.). *Linguagem, cultura e cognição: reflexões para o ensino e a sala de aula*. (pp. 107 -138). Belo Horizonte: Autêntica.
- Mosquera, C. J. (2000). *Análisis Histórico y epistemológico de las Representaciones Simbólicas y la Terminología Química. Implicaciones didácticas de orientación constructivista*. Bogotá: Universidad Distrital.
- Mosquera, C. J. (2008). *El cambio en la epistemología y en la práctica docente de profesores universitarios de química*. (Tesis doctoral). Valencia: Universitat de València.
- Muller, M. (2008). Préface. Dans C. Buty., et C. Plantin. (Eds.). *Argumenter en classe de sciences. Du débat à l'apprentissage*. Paris, France : Institut national de recherche pédagogique.
- Muller, N. and Perret-Clermont, A. (Eds.). (2009). *Argumentation and education*. New York: Springer.
- National Research Council.(1996). *National Science Education Standards*, National Academy Press, Washington, DC.
- Newton, P., Driver, R. and Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21(5), 553-576.
- Norris, S. and Philips, L. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, 87, 224-240.
- Pera, M. (1994). *The Discourses of Science*. Chicago: The University of Chicago Press.

- Plantin, C. (1996) *La Argumentación*. Barcelona: Ed. Ariel.
- Plantin, C. (2004) Pensar el debate. *Revista Signos*, 37(55), 121-129.
- Plantin, C. (2005). *L'argumentation; histoire, théories et perspectives*. París: PUF.
- Plantin, C. (2011). Pour une approche intégrée du champ de l'argumentation: État de la question et questions controversées. D. V. Dahlet (Ed.). *Sciences du langage et didactiques des langues*. Sao Paulo.
- Reis, P. e Galvão, C. (2005). Controvérsias sócio-científicas e prática pedagógica de jovens professores. *Investigações em ensino de ciências, Brasil*, 10(2), 131-160.
- Revel, C., Couló, A., Erduran, S., Furman, M., Iglesia, P. y Adúriz-Bravo, A. (2005). Estudios Sobre la Enseñanza de la Argumentación Científica Escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congreso.
- Sandoval, W. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89(4), 634-656.
- Sardá, A. y Sanmartí, N. (2000). Enseñar y argumentar científicamente: un reto en las clases de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 18(3), 405-422.
- Siegel, H. (1989). The rationality of science, critical thinking and science education. *Synthese*, 80, 9-41.
- Siegel, H. (1995). Why should educators care about argumentation? *Informal Logic*, 17(2), 159-176.
- Siegel, H. (2006). Epistemological diversity and education research: Much ado about nothing much? *Educational Researcher*, 35(2), 3-12.
- Stipcich, S. (2005). La argumentación en las clases de física. *Las disciplinas, las áreas: problemáticas de su enseñanza* (pp.152-156). Argentina: UNCPBA.
- Stipcich, M., Islas, M., y Domínguez, A. (2006). El Lugar de la Argumentación en la Formación de Profesores de Ciencias. *Revista chilena de educación científica*, 6(1), 67-74.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Van Eemeren, F. y Grootendorst, R. (2002). *Argumentación, comunicación y falacias. Una perspectiva pragma-dialéctica*. Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Vianna, D. e Carvalho, A. M. (2000). Formação permanente: a necessidade da interação entre a ciência dos cientistas e a ciencia da sala de aula. *Ciência & Educação*, 6(1), 31-42.
- Wertsch, J. (1991). *Voices of the mind: A sociocultural approach to mediated action*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Yore, L., Bisanz, G., and Hand, B. (2003). Examining the literacy component of science literacy: 25 years of language arts and science research. *International Journal of Science Education*, 25(6), 689-725.
- Zohar, A. (2007). Science Teacher Education and Professional Development. In S. Erduran and M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.). *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research*. New York: Springer.