



**LAS CONTROVERSIAS CIENTÍFICAS
HISTÓRICAS COMO ESTRATEGIA
DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS
CIENCIAS**

Lida Milena Álvarez García

LAS CONTROVERSIAS CIENTÍFICAS HISTÓRICAS COMO ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

HISTORICAL SCIENTIFIC CONTROVERSIES AS A DIDACTIC STRATEGY FOR THE TEACHING OF SCIENCES

Lida Milena Álvarez García

lmalvarezg@correo.udistrital.edu.co

Doctorado Interinstitucional en Educación
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

RESUMEN

El presente artículo rescata el valor que posee el uso de las controversias científicas en el aula, soportadas en la historia de la ciencia, como una estrategia didáctica en el proceso de alfabetización científica escolar. Así mismo, se presentan algunos ejemplos de controversias científicas históricas útiles para la enseñanza de aspectos relacionados con la naturaleza de la ciencia especificando aquellos de corte epistémico y no epistémico contenidos en tales controversias. Finalmente se trazan conclusiones en torno a los desafíos que implica la incorporación de las controversias científicas históricas como estrategia en el campo de la didáctica de las ciencias.

Palabras clave: Controversia Científica Histórica, Alfabetización científica, Naturaleza de la Ciencia, Didáctica de las Ciencias

ABSTRACT

This paper focuses on the relevance of scientific controversies use in the Science classroom as a teaching strategy in the scientific literacy process. This view is supported by History of Science. Some historical scientific controversies are introduced which become useful in the teaching of diverse issues bound to Science Nature. Epistemic and non-epistemic issues are described in connection to scientific controversies. Finally, some conclusions are drawn around challenges implied throughout the incorporation of historical scientific controversies as strategies in the field of science teaching.

Keywords: Historical scientific controversies, Scientific Literacy, Science Nature, Science teaching



INTRODUCCIÓN

No es una percepción ingenua que las prácticas de enseñanza de las ciencias (EC) en los contextos escolares actuales siguen marcadas por la tendencia transmisionista de los contenidos científicos donde aún prevalece el uso del método científico (Acevedo, 2002) muy cuestionado desde la epistemología, y con metodologías de trabajo en el aula alejadas de la realidad del estudiante con lenguajes abstractos haciendo uso de conceptos complejos que muchas veces no se les ayuda para que puedan generar imágenes que se relacionen con su medio, cuando en ciencias naturales hay buena posibilidad de hacerlo (Merino & García-Martínez, 2019). Como consecuencia de ello, construimos en nuestros estudiantes una imagen de ciencia estática, infalible, terminada y construida por el esfuerzo de mentes geniales. Una imagen de ciencia que muestra la cara de unos “súper hombres”, quienes a través de “visiones” casi como epifanías, se les revela algunos de los secretos que envuelve la comprensión de la naturaleza (Acevedo et al, 2007). Es una ciencia en la que no caben las improvisaciones, los errores ni los fracasos.

Esta ha sido la perspectiva en la que se ha desarrollado la alfabetización científica, que se ha construido por años en los currículos escolares en ciencias, en donde se han creado escenarios de enseñanza desprovistos no sólo de los contextos históricos que dieron origen a los hechos y conceptos que se incluyen en estos currículos, sino ausentes también del

contexto social, cultural y político que revela la actividad social del científico (Izquierdo et al, 2016, Quintanilla, 2009). En una línea similar, Fernández et al, (2002) enfatizan:

...una de las concepciones generalizada de los docentes de ciencias es la de transmitir conocimientos ya elaborados, sin mostrar cuáles fueron los problemas que generaron su construcción, cuál ha sido su evolución, las dificultades, etc., ni mucho menos aún, las limitaciones del conocimiento científico actual. (p. 480)

En razón a ello, la investigación en educación y en particular la que se lleva a cabo en el campo de la didáctica de las ciencias alrededor de estas tensiones, ha traído consigo propuestas de trabajo de aula, así como de ajuste curricular para reorientar los procesos de enseñanza que se viven en los contextos escolares. Desde la línea de investigación en historia y filosofía de las ciencias en la EC, se ha dado especial importancia a la indagación sobre el rol que ha desempeñado el docente, la historia de la ciencia (HC) y el alumno, al igual que el impacto de los currículos escolares basados en contextos históricos (García-Martínez & Izquierdo, 2014).

Desde la Historia y la Filosofía de las Ciencias (HFC) y la Didáctica de las Ciencias, han surgido varios trabajos que muestran las aplicaciones de aquellas áreas en la labor docente (Matthews, 1994). Por

ejemplo, se ha mencionado que contemplar la cercanía que puede existir entre el desarrollo de las ideas históricas y de las concepciones científicas de los estudiantes, como lo menciona Piaget (1970), constituye un punto de encuentro entre las dos áreas de conocimiento y, con ello, su mutuo enriquecimiento. Ello se debe, no sólo al destacar su importancia como una elaboración humana, sino en el aporte al mejoramiento de la calidad del contexto de pensamiento del estudiante, en los currículos escolares, en la construcción de valores y actitudes en la actividad científica y, sobre todo, en su calidad de meta ciencia de la HFC y el carácter meta teórico que la identifica.

Siguiendo esta línea, diversas investigaciones que incorporan la HFC, han usado textos históricos para que, a través de ellos, los alumnos tengan posibilidad de comparar sus modelos con los de los científicos en determinados momentos históricos, (Fillon, 1991; Pessoa y Castro, 1992). Otras investigaciones, en la que la HFC es referente de actividades diacrónicas para personificar al científico como ser social, presentando a los alumnos datos reales históricos que no pueden obtenerse en el laboratorio escolar y que les permite la descripción de situaciones problemáticas similares a las que enfrentaron los científicos de la época (Schwab; Brandwein, 1962).

Particularmente, en este artículo de reflexión se aborda la definición, el uso y

alcance que tienen las controversias científicas enmarcadas en contextos históricos, como estrategia de acercamiento a la actividad científica en el marco de la EC, principalmente por su potencial de uso para la enseñanza en el campo de las ciencias. Particularmente se mostrará cómo las controversias científicas históricas permiten analizar aquellos conocimientos vinculados con la naturaleza de la ciencia (NDC) como lo son aquellos que indagan sobre qué es la ciencia, cómo funciona y se desarrolla; cuáles son sus fundamentos epistemológicos y ontológicos; los rasgos del trabajo de los científicos, sus valores como grupo social, así como las influencias mutuas entre ciencia, tecnología y sociedad (Acevedo et al 2007).

A través de los aportes de Acevedo (2007, 2016, 2017), respecto a estos asuntos, se analiza algunas controversias científicas en su carácter epistémico y no epistémico para con ello, plantear algunos desafíos en su incorporación dentro de un diseño didáctico de enseñanza. Para ello, se describen dos controversias científicas históricas llevadas al escenario escolar por Hosson (2007; 2011), al igual que se referencian cinco más presentadas por Niaz (2010), como referentes en la incorporación de éstas como estrategias didácticas en la enseñanza de las ciencias.

Definición de una controversia científica

Antes de ampliar y desarrollar el papel que desempeña las Controversias Científicas



(CC) en la EC, es importante localizarlas conceptualmente, señalar sus atributos y rasgos más característicos, así como mostrar los puntos de encuentro y desencuentro en relación con las controversias socio científicas que, aunque guardan con ellas una estrecha cercanía, no constituyen un foco relevante en este documento.

Al realizarse la exploración bibliográfica de este concepto en el campo de la investigación educativa, se encontró que autores como McMullin (1987), José Acevedo y Antonio García Carmona (2017), Jordi Vallverdú (2002, 2005), Mansoor Niaz (2010), Venturini (2010), de Hosson (2011) y Glenn Dolphin (2014) trazan la pista del uso de este enfoque en el marco de la actividad científica, con el interés de vincularlo con los procesos de enseñanza y de aprendizaje de la ciencia. Así, los autores muestran que las CC constituyen una de las maneras de incorporar la HC en el contexto de la EC como una estrategia de análisis crítico en y sobre la ciencia.

Inicialmente, Pabón *et al* (2015) señalan que, de acuerdo con el diccionario de la Real Academia Española, una controversia se define como la “Discusión de opiniones contrapuestas entre dos o más personas” (p. 225), y en tanto que la acción de discutir, la definen como: “Contender y alegar razones contra el parecer de alguien” (p. 225). En palabras cortas, se diría que una controversia permite ver dos o más visiones diametrales pero argumentadas sobre algún asunto acerca del cual se abre

un debate dentro de una comunidad, a la espera que haya o no un consenso entre los participantes.

En el libro *Controversia en la Historia de la Ciencia y la Cultura Científica* (Acevedo; García, 2017) se define una controversia científica, siguiendo las palabras de McMullin (1987), como “una disputa pública persistente sin una resolución fácil, en la que interviene la comunidad científica, quien, en últimas, define la naturaleza de la controversia científica” (p. 23, 24). Además de ello, los autores añaden que los argumentos que se entrevén en dichos debates contienen argumentos de carácter epistémico, es decir, aquellos que relacionan la construcción de conceptos científicos, pero también contiene “argumentos de tipo no epistémicos como los relacionados con las emociones y rasgos de la personalidad de los participantes, así como otros factores externos asociados de corte social, político o económico” (Acevedo y García, 2017, p. 24). Este sería sin duda, un primer rasgo significativo para resaltar respecto al papel de las controversias como estrategia de aula.

Siguiendo las orientaciones de McMullin, Vallverdú (2002), propone una definición para una controversia científica. Menciona que: Toda controversia en la que participe, como mínimo, una disciplina científica de la que se cuestionen sus resultados, los protocolos empleados o su aceptabilidad epistémica, sea cual sea el nivel epistémico/metodológico de la crítica (es decir interna o externamente) o el punto del proceso de la obtención -

procesamiento -exposición de los datos que haya sido criticado por los diversos agentes participantes. (Citado en Vallverdú 2005. p.23).

Es decir, en el desarrollo de la ciencia, las controversias se tipifican respecto a estos aspectos esenciales que marcan las diferentes formas en que ocurre la actividad científica. Ejemplo de ello se puede observar claramente en los resultados experimentales obtenidos en el experimento de la gota de aceite observada por Millikan y Hervey en el campo de la Física, cuyo propósito consistía en encontrar la carga del electrón; sus resultados fueron tan controversiales, como sus protocolos experimentales. A pesar de ello, el experimento tuvo aceptabilidad epistémica dentro de la teoría acerca de la cuantificación de la carga eléctrica (Niaz, 2000, 2005).

Esta noción de desacuerdo a la que le subyace una controversia, según Venturini (2010), no debe tomarse ingenuamente. En su lugar, debe tomarse en su sentido más amplio. Señala que las controversias comienzan cuando los actores descubren que no pueden ignorarse entre sí y terminan cuando los actores logran un compromiso sólido para vivir juntos. Cualquier cosa entre estos dos extremos, menciona el autor, se puede llamar una controversia (p. 261).

Otro rasgo relevante sobre las CC que aborda McMullin (1987) y que amplía Vallverdú (2002) en su investigación de tesis doctoral, tiene que ver con la manera

en que se da clausura a una controversia; desde allí se especifica información significativa acerca de aspectos puntuales de la NDC y su uso en la EC. Vallverdú (2005) señala que de acuerdo al modo en que se da clausura a una controversia, ésta puede informar de aspectos más puntuales acerca de cómo sucede la actividad científica en momentos de crisis (p. 34). Con ese fin, Vallverdú usa las tres categorías de clausura ya referenciadas por McMullin (1987): aquellas que se cierran por factores epistémicos, otras, por factores no epistémicos y las que se cierran por abandono. A partir de ellas, Vallverdú propone siete tipos de clausuras que, si bien contienen aspectos similares a los de McMullin, Beauchamp Y Bijker, (citados por Acevedo y García, 2017) distan bastante, en tanto incluyen aspectos relacionados con asuntos de tipo metodológico e instrumental implícitos en la controversia.

Adicionalmente, Acevedo y García (2017) muestran que existe una tipificación de las CC de acuerdo con el asunto que esté en consideración. De esta manera, los autores citan la clasificación propuesta por McMullin (1987) donde las controversias pueden ser en torno a *hechos, a teorías, a principios* (como resultado de confrontaciones de aspectos que tocan lo ontológico y metodológico y que están en el subtexto de la dinámica científica). O pueden ser controversias *mixtas*, en las cuales concurren diversos ámbitos sociales, tales como ciencia, aplicaciones

tecnológicas, economía, política, moral y ética, etc.

En este último tipo de controversia se suscribe un campo de creciente investigación: el de las *controversias socio científicas* que, como menciona Vallverdú (2005), deben distanciarse de las científicas ya que en las controversias socio científicas se subsumen asuntos de índole económico o político que, aunque suelen matizar también los debates puramente científicos, no resultan un foco determinante en su discusión. De hecho, Vallverdú (2005), menciona que la existencia de una controversia científica más bien, remite a otro tipo de controversias de tipo social en tanto consecuencia de la primera y como determinante de la misma (p. 23).

Es preciso mostrar, entonces, que a lo que se refiere una controversia científica, de acuerdo con Vallverdú (2005) es al desarrollo de un concepto relacionado con la ciencia. Por ello, este autor intenta definir una línea de separación entre las *Controversias Científicas* y las que son *basadas en la ciencia*, términos que ya había mencionado Brante (1993) y que, al parecer, no se distinguían a simple vista. Para ello, Vallverdú (2005) desarrolla el concepto de *campos de controversias*. Desde allí, propone niveles de análisis sobre aspectos inmersos en la microdinámica de la ciencia vinculados con transformaciones específicas y menores de la ciencia normal cotidiana, pero que pueden llegar a constituirse, en momentos álgidos, en pequeños cambios de la macrodinámica científica.

Vallverdú (2005) establece, entonces, que los campos de controversias aparecen considerando cuántos y cuáles agentes participen en ella, sus interacciones y la posible retroalimentación mutua entre ellos. Advierte que existen cuatro grandes grupos que conforman los distintos tipos de agentes. Entre ellos tenemos Investigadores científicos, Evaluadores científicos, Gestión política y Sociedad civil. De acuerdo con ello, establece quince tipos de controversias que se darían en una interacción entre estos grupos de agentes, la ciencia y la sociedad (p. 31). Lo interesante de este concepto es que el autor lo usa para realizar el análisis de la controversia no solo a la luz de las interacciones de los agentes y de sus argumentos sino para advertir las complejidades que emergen en ellas de acuerdo con las necesidades epistémicas y no epistémicas de los agentes involucrados (p.33).

Con el panorama descrito, es preciso mostrar ahora lo que se entiende por *controversias sociocientíficas* y separarlas de las controversias científicas ya mencionadas, pues el interés aquí yace en rescatar el poder de estas discrepancias involucradas en el quehacer científico, en tanto que permiten una mayor comprensión de nociones, procesos y NDC, como lo plantean Acevedo y García (2005):

...entendida en un sentido amplio, la cultura científica incluye el conocimiento de nociones básicas de ciencia (contenidos), la

compresión de los aspectos metodológicos que esta emplea (procesos), el reconocimiento y comprensión de los principales rasgos de la ciencia (su naturaleza) y las relaciones mutuas entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.

(p. 19)

De manera general, las controversias sociocientíficas enfatizan primordialmente en este último aspecto vinculado a la ciencia, la tecnología y la sociedad. En su reporte, Díaz et al (2011) muestra que las cuestiones sociocientíficas se refiere a disyuntivas sociales que surgen y que están relacionadas con la ciencia, debido a la compleja relación que existe entre ciencia y sociedad. Si solamente pertenecieran al campo de lo social no serían controversias sociocientíficas. Aparece la controversia cuando existe diferencia de opiniones relacionadas con estos asuntos, normalmente entre periodistas, ciudadanos y científicos (p. 55).

En esta línea, Jiménez-Alexandre (2010) define las controversias sociocientíficas como dilemas o controversias sociales que tienen en su base nociones científicas pero que, además, se relacionan con otros campos: sociales, éticos, políticos y ambientales. De manera más general, esta investigadora enfatiza que la controversia sociocientífica es un asunto de opinión científico y/o tecnológico en el cual existe discrepancia entre los diversos actores y fuerzas sociales que participan en el proceso (investigadores, científicos, opinión pública, administración, empresas privadas que financian los estudios), ya sea

por desacuerdo, discusión o debate. Como menciona Sadler (2004) (citado por Domenéch, 2017), pueden tener una respuesta abierta y compleja. Esta respuesta tendrá componentes no científicas, como factores económicos, políticos y éticos.

De esta manera, se logra apreciar de manera clara que a diferencia de las controversias sociocientíficas, las CC se ocupan de un asunto relacionado específicamente con la ciencia, sus asuntos epistemológicos, metodológicos e instrumentales. De tal forma, sus implicaciones de orden social, político, económico, e incluso emocional, quedan fuera del alcance de este artículo.

No obstante, las investigaciones de los autores previamente referidos mencionan que tanto las controversias científicas como las sociocientíficas constituyen un elemento significativo para mejorar las prácticas educativas. En ellas se revela una amplia visión que abarca la evolución o aparición de conceptos y/o fenómenos vinculados al discurso científico como una perspectiva más integral de las disciplinas científicas. Igualmente, vinculan elementos del contexto político, social, económico y cultural que permiten aproximar a los estudiantes a la comprensión de los fenómenos científicos, promoviendo en su formación el desarrollo de una actitud crítica que desemboque en un pensamiento crítico (Kolstø, 2000).

Las controversias científicas históricas como estrategia de enseñanza de las ciencias

En el marco de la EC son múltiples las investigaciones que plantean cómo la Historia de la Ciencia (HC) se ha convertido en un fundamento epistémico connatural para la alfabetización científica escolar. (Izquierdo et al 2006; Izquierdo et al 2016; Quintanilla, 2009; Acevedo 2002, 2007, 2016, 2017; de Hosson, 2011; Niaz, 2010). Señalan que incorporar el componente histórico de la ciencia en las clases de ciencias permite contextualizar de forma explícita aspectos relacionados con la propia naturaleza de la ciencia (NDC) (Acevedo y García, 2016; Kolstø, 2008). De este modo, se refieren a aspectos vinculados al desarrollo de la actividad científica: “qué es la ciencia, cómo funciona y se desarrolla; cuáles son sus fundamentos epistemológicos y ontológicos; los rasgos del trabajo de los científicos, sus valores como grupo social, así como las influencias mutuas entre ciencia, tecnología y sociedad (Acevedo et al, 2007, citado en Acevedo y García, 2016, p. 2).

Matthews (1994) replantea el uso de la HC en la enseñanza de las ciencias señalando cómo este enfoque se constituye como un instrumento para mejorar la enseñanza de la ciencia, en tanto que propicia una motivación hacia el estudio de sus fenómenos y conceptos fundantes. Así mismo, brinda posibilidades para la contextualización de los contenidos científicos para el análisis de los discursos

científicos, mostrando a su vez aspectos relacionados con la mutabilidad de la ciencia, el replanteamiento de sus principios ortodoxos (Dascal, 1998) y el reconocimiento de sus métodos epistémicos tradicionales.

En esta misma línea, Quintanilla et al (2014), enfatiza que el uso de algunos episodios de la HC puede servir como un mecanismo de introducción para que los estudiantes conozcan y se aproximen a una interpretación de textos y hechos históricos relevantes en el marco de los complejos problemas de la significación en los que se localizan. En este sentido, los estudiantes logran reconocer aspectos relacionados con la vida cotidiana del científico, sus dinámicas y cosmovisiones. Es interesante resaltar como Quintanilla et al (2014), menciona que usar la HC serviría como vehículo natural para viajar hacia diferentes conocimientos científico-históricos, desde una visión más amplia, completa y profunda.

En el diseño de un contexto didáctico (García-Martínez, Hernández, y Abella, 2018), que se plantee a partir del uso de la HC y que se constituya como mediador en los procesos de EC, es posible implementar seis formas de uso de la HC. Tolvanen et al (2014) mencionan que entre ellas existe el uso de las viñetas, los estudios de caso, las dramatizaciones y las narraciones temáticas. Por su parte Stinner et al (2003) señalan que las otras dos formas están referidas al uso de confrontaciones y diálogos científicos (citado en Acevedo y

García, 2016). Estas últimas se pueden agrupar en las llamadas Controversias Científicas.

Las Controversias Científicas Históricas como estrategia en un diseño didáctico

Lo expuesto en el apartado anterior, deja en claro el alcance que implica llevar a los escenarios educativos de EC las Controversias Científicas Históricas (CCH) como estrategia para la alfabetización científica en el contexto escolar. Por un lado, como respuesta a la creciente necesidad de proporcionar una enseñanza más contextualizada de la ciencia que supere las prácticas de aula convencionales. De otro lado, por su valor para aproximar a los estudiantes a las prácticas que definen el mundo científico, a sus complejidades en el terreno de sus epistemologías y metodologías. Igualmente, a los aspectos que surgen en y sobre la NDC a través del análisis y puesta en marcha de los elementos discursivos que allí se vinculan.

Esta visión se refuerza con los aportes de Brante (1993), quien menciona que las CCH se convierten en una herramienta analítica útil en sí misma, en tanto que en ellas se vinculan aspectos que dan cuenta de los conflictos y controversias en la utilización de la ciencia, del conocimiento basado en la ciencia y en la sociedad moderna (p. 218). Por su parte, Díaz (2012) coincide en que analizar las diferentes opiniones sobre dilemas sociales que surgen y que están relacionadas con la ciencia, proporciona un punto de partida y

un motor de aprendizaje como lo pueden ser las concepciones alternativas y los conflictos cognitivos ya estudiados en el campo de la didáctica de las ciencias (p. 54).

En una perspectiva más amplia, Lederman (1999) señala que una persona “no debería considerarse alfabetizada en ciencia” (Citado en Acevedo y García, 2017), si no es capaz de comprender los valores y supuestos de la actividad científica y los procesos mediante los cuales se crea el conocimiento científico. Además, si no llega a superar una imagen ingenua de la ciencia basada en hechos aislados de su contexto. Ello confiere a este conocimiento su relevancia y aplicabilidad.

En esta perspectiva de potencial de aplicabilidad de las CCH, este tipo de estrategia controversial-argumentativa tomada desde la HC resulta innovador y significativo en el ejercicio de la alfabetización científica (y tecnológica). En este sentido, debería llegar para todas las personas que pasen por los niveles escolares. Asimismo, se convierte en un aspecto esencial y central del currículo de ciencias inspirado por este lema (Acevedo, 2002).

Es por ello por lo que en un intento por proporcionar algunos ejemplos de CCH que pueden ser útiles para ser llevadas al aula, Acevedo y García (2017) sugieren cuatro eventos históricos que constituyen CC en su contexto histórico, mostrando en cada una de ellas su valor didáctico. Estas

cuatro controversias son: La controversia entre Pasteur Y Pouchet sobre la generación espontánea, la controversia entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación; Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN y la controversia Tesla versus Edison sobre las dos corrientes eléctricas – AC/DC.

Los autores dejan planteado que a partir de estas narrativas controversiales es posible proponer diseños didácticos en la formación escolar en ciencias para analizar

aspectos epistémicos y no epistémicos de la ciencia. Este análisis, puede ir desde aspectos epistémicos específicos de la NDC, sintetizados por Acevedo y García (2017) como “la naturaleza del conocimiento científico y la naturaleza de los procesos de la ciencia” (p. 99-100) hasta aspectos no epistémicos como “factores internos y externos a la comunidad científica” (p. 99-100). Estos aspectos y sus características son descritos en la siguiente tabla:

Aspectos epistémicos		Aspectos no epistémicos	
De la naturaleza del conocimiento científico	De la naturaleza de los procesos de la ciencia	Relativos a factores internos a la comunidad científica	Relativos a factores externos a la comunidad científica
<ul style="list-style-type: none"> •Características de las teorías científicas. •Diferencias entre leyes y teorías científicas. •Diferencias en la interpretación científica de un mismo fenómeno. •Provisionalidad de las teorías científicas. •Dominancia de algunas teorías científicas. • Carácter tentativo y dinámico del conocimiento científico. •Diferencias y relaciones entre ciencia y tecnología. 	<ul style="list-style-type: none"> Observación e inferencia. •Metodologías científicas. •Papel de las hipótesis. •Pregunta que dirige la investigación y objetivos perseguidos. •Influencia de la especialidad del científico en la planificación y desarrollo de una investigación científica. •Diseños de investigación y resultados experimentales. •Papel de la experimentación en la ciencia. •Modelos y modelización en la ciencia. •Papel de los esquemas de clasificación. •Influencia de las creencias personales, actitudes y habilidades de los científicos. •Creatividad e imaginación. •Papel de los errores en el desarrollo de la ciencia. • Interés de las controversias científicas para el avance de la ciencia 	<ul style="list-style-type: none"> Papel de la comunidad científica en la aceptación de las teorías científicas. • Relaciones profesionales dentro de la comunidad científica. • Cooperación científica. • Competitividad científica. • Papel de la comunicación científica. • Habilidad retórica y estrategias semánticas para persuadir de las ideas propias. • Personalidad del científico. • Relaciones personales entre científicos. • Cuestiones morales y éticas. • Influencia del género. 	<ul style="list-style-type: none"> Influencia general de la ciencia en la sociedad. • Influencia general de la sociedad en la ciencia. • Contexto histórico, social y cultural. • Influencia de la política en la ciencia. • Apoyo político a la investigación. • Patriotismo nacionalista. • Apoyo económico a la investigación. • Impacto de la ciencia en los asuntos socioeconómicos. • Papel de las patentes en la producción científica. • Ciencia y religión. • Papel de la prensa en la divulgación de la ciencia.

Tabla 1. Aspectos epistémicos y no epistémicos potenciales para el análisis en las CCH. (Contenido adaptado de Acevedo y García, 2017)

En el sentido de alfabetización científica expuesto por Lederman (1999), los aspectos epistémicos y no epistémicos como fundamentos de las CCH, permitirían superar esa imagen ingenua de ciencia que refiere este investigador, vinculándolos a diseños didácticos que se enruten hacia la construcción de una ciencia para todos (García-Martínez y Pinilla, 2007; Izquierdo, 2016), en el sentido de una cultura científica (Acevedo y García, 2017).

De Hosson y Kaminski (2007) desarrollan una investigación sobre el razonamiento de estudiantes de 12 años sobre la visión humana a través de una secuencia didáctica basada en las explicaciones que se daban en la historia antigua y medieval, así como las ideas de Alhazen acerca de cómo opera la visión del ojo. Esto, en razón a que muchas de las explicaciones que aportaban los estudiantes coincidían con las que se presentaban en esa época.

La idea de que la visión es el resultado de algo que viene del objeto o del ojo o que la luz penetra en los ojos solo cuando están iluminados, es una de las explicaciones más influyentes que se conocía en la cultura griega (Aristóteles, Lucrecio, Platón, Empédocles) y resultaba ser la misma que proporcionaban los estudiantes de esta investigación. En particular, los Antiguos no estaban de acuerdo con la dirección de la visión hasta que Alhazen abrió el camino a un consenso, argumentando en el siglo XI que la luz

podría ser un estímulo para el ojo. Es por ello, que se consideró que esta disparidad de opiniones podría ser una controversia científica histórica válida para llevar al aula y trazar desde ella, una ruta conceptual de análisis. Para ello, la autora diseñó un breve drama titulado "Diálogo sobre las formas en que opera la visión", referido a la controversia sobre la dirección de la visión y las ideas de Alhazen sobre la luz.

En esta CCH se reconocen dos aspectos preponderantes: el primero, correspondiente a la dominancia de algunas teorías científicas sobre otras (de orden epistémico, sobre la naturaleza del conocimiento científico), la cual se vincula, necesariamente, con la segunda, en las perspectivas del contexto histórico, social y cultural (de orden no epistémico), de las posturas enfrentadas. Sería valioso plantearse, cuál o cuáles aspectos de la naturaleza de los procesos de la ciencia fundamentan las diferencias en esta controversia, de manera que se pudiera guiar a los estudiantes hacia indagaciones menos superficiales.

De esta manera se mostró que este tipo de estrategias de enseñanza ofrecía a los estudiantes la oportunidad para identificarse con los científicos retratados en el drama, así como la posibilidad de tomar conciencia de su propio proceso cognitivo pues muchos de ellos pudieron analizar elementos que les ayudaban a cambiar sus ideas previas. Aspectos que

responden al ámbito epistémico de la controversia.

Otro ejemplo de esta misma autora (2011), sobre el uso de CCH en el campo de la mecánica clásica, propone una trayectoria de aprendizaje basada en algunos fragmentos con pertinencia didáctica, de una de las obras de Galileo titulada Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo. En su intervención didáctica, la investigadora mostró cómo el ejercicio argumentativo de los estudiantes les permitía construir y consolidar el concepto de conservación del movimiento al tiempo que se identificaban con los esquemas de razonamiento de los personajes Simplicio y Salviati quienes representarían las ideas contrarias de Aristóteles y Galileo respectivamente, con relación a la caída de los cuerpos. Al final de su reporte de Hosson evidenció que la mayoría de los estudiantes, aunque se alineaban con las ideas de Simplicio (Aristóteles), las ideas contrarias de Salviati (Galileo) les causaba desequilibrios cognitivos que los llevaba a considerar sus incongruencias. Al final, la autora reportó como positiva la experiencia.

Considerando los elementos interpretativos de la tabla 1, particularmente los epistémicos sobre la naturaleza del conocimiento científico, se puede apreciar que de Hosson explora características de las teorías científicas y diferencias en la interpretación a partir de una controversia científica histórica, en el campo de la física clásica. Esta experiencia permitió a la

investigadora enrutar elementos de diseño didáctico para abordar asuntos de la NDC (Acevedo, 2016; Lederman, 1999; Izquierdo, 2016) en el contexto escolar.

Por su parte, los aportes de Niaz (2010) abren el espectro sobre las controversias que existen al servicio de la enseñanza, particularmente de la física y la química. En su artículo reportó seis controversias situadas en algunos episodios históricos en la historia de la ciencia, que se puede adaptar a los contextos escolares con el propósito de mostrar que su valor reside no en los datos experimentales que allí aparecen sino por la lectura crítica de los datos por parte de la comunidad científica. Es decir, según el autor, estas controversias son susceptibles de adaptarse con fines didácticos, para profundizar sobre los procesos y metodologías que se desarrollan en las ciencias. Particularmente, se enfatiza en los instrumentos, en los experimentos y modalidades de acopio de datos. Se evidencia, luego, que estos asuntos de las CCH relacionados con la alfabetización científica responde a aspectos epistémicos y no epistémicos de manera no ambigua, en los términos expuestos en la tabla 1.

Niaz (2010) describe las seis controversias de la siguiente manera: 1. Los experimentos de Thomson: los rayos catódicos como partículas cargadas u ondas en el éter. Su inclusión en los libros de texto podría ayudar a los estudiantes a comprender por qué los científicos realizan experimentos. 2. Controversia Thomson & Rutherford: Dispersión simple/compuesta

de partículas alfa. Con el estudio de esta controversia un estudiante puede preguntarse cómo Rutherford podría dudar del "espíritu científico apropiado" de nadie más que del maestro del mundo en el diseño de modelos atómicos. Estos temas, si se discuten en clases y libros de texto, podrían hacer que la ciencia sea mucho más humana y atractiva. 3. El modelo del átomo de Bohr: basado en fundamentos inconsistentes y un profundo abismo filosófico. Esta controversia revela aspectos muy puntuales del comportamiento cuántico de los átomos, campo aún naciente para el momento histórico de Bohr. 4. Controversia Millikan & Ehrenhaft: determinación de la carga eléctrica elemental. Con esta controversia se puede mostrar las dificultades que se pueden enfrentar dentro de la actividad experimental. 5. Teoría cinética de los gases: naturaleza inconsistente del programa de investigación de Maxwell. Es una controversia que contiene una riqueza conceptual excepcional en el campo de la teoría cinética de los gases pues sus progresos se dan sobre bases inconsistentes. 6. Desarrollo de la tabla periódica: ¿la contribución de Mendeléiev de teoría o una ley empírica? Es una controversia que brinda una excelente oportunidad para entender la naturaleza de la contribución de Mendeléiev a la luz de las consideraciones de los filósofos de la ciencia de ese momento (Niaz, 2010, p. 894-896)

Desde la aproximación conceptual de los elementos anteriormente planteados, así

como de las investigaciones que muestran su potencial uso didáctico se concluye, en la misma línea de los planteamientos de Niaz (2010), que exponer a los estudiantes en las clases de ciencias a episodios históricos enmarcados en controversias científicas, les permite tener distintas oportunidades. Una de ellas se vincula con el redimensionamiento de la aceptación de teorías y modelos acabados en ciencias. Es decir, se brinda la oportunidad de resaltar las dificultades involucradas en la comprensión de los experimentos del pasado, y analizar aspectos propios de la actividad científica que desembocaron en las teorías que se les presenta. Así mismo, se acerca a los estudiantes a conocer los tipos de diálogos o controversias para develar argumentos y contra argumentos científicos que les permite a los estudiantes acercarse a los aspectos epistémicos de la ciencia al tiempo que se rescata las cualidades humanas y sociales del científico, es decir, las no epistémicas.

Desafíos en la incorporación de las controversias científicas en los procesos de formación en ciencias

Además de los aspectos conceptuales y metodológicos que envuelve el uso de controversias científicas y que se reportan en las investigaciones aquí referenciadas, es imprescindible considerar recomendaciones específicas para la incorporación de estas CCH como estrategia en la formación del profesorado de ciencias, así como para docentes que decidan incorporarlas como mediación

pedagógica en sus clases de ciencias. A continuación, se señalan alguna de estas recomendaciones halladas en la exploración bibliográfica con relación a los desafíos que se pueden enfrentar al considerar estas estrategias para la educación en ciencias.

Un primer asunto relevante lo propone Izquierdo (2017) con el diseño didáctico de actividades para la EC con enfoques históricos, los cuales demandan una cuidadosa elección de los contextos que le resulten suficientemente llamativos a quien los esté abordando. La autora señala que:

Estos contextos deberán tocar la realidad en la que vive el aprendiz, es decir, deberá tocar aspectos que se vinculen con su cotidianidad: asuntos de salud, de tecnología, de política, del medio ambiente. No será importante conocer las teorías científicas sino conocer aquello que se requiere para descifrar su mundo más inmediato. Por tanto, no es menester del profesor sumergir al estudiante en la robustez de las teorías científicas (p. 312).

Aunque parezca contradictorio con los presupuestos expresados hasta este punto, el desafío develado por Izquierdo responde a la generación de contextos de enseñanza de las ciencias (e.g. alfabetización científica) que no se restrinjan al tratamiento de las teorías científicas, sino que se conviertan en dispositivos de indagación de contextos en los que tanto los aspectos epistémicos como los no epistémicos sean parte de los nuevos

discursos de las ciencias y de la didáctica de las ciencias llevada al contexto escolar.

Un segundo asunto expuesto por Izquierdo (2017) resalta tanto criterios de organización, como de diseño didáctico (García-Martínez, Hernández & Abella, 2018)). En particular, al considerarse la controversia científica como contexto de análisis. El diseño, que en sí es difícil y requiere creatividad, deberá tener en cuenta:

...la relevancia del contexto, puesto que se ha de generar discurso sobre sus fenómenos relevantes; la relación con otros fenómenos similares de otros contextos, puesto que ha de generar un Modelo Teórico; la intervención experimental, cuantitativa, en los fenómenos gracias a la mediación de instrumentos, para introducir los conceptos. ...deberá ser lo más rentable posible: es decir, que permita, finalmente, hablar el contexto a la manera de las ciencias, convertirlo en un 'Modelo' de lo que es una explicación científica (p. 314).

Aquí no solo se propone el desafío que implica la selección del contexto, que en este caso actuaría como la controversia científica, sino que advierte sobre las características propias que lo definen y lo hacen apropiado y eficiente para el propósito de aprendizaje de las ciencias, en sus nociones, procesos, metodologías, aplicaciones e implicaciones.

En esta misma línea, la experiencia De Hosson (2011) comparte algunas

recomendaciones, tanto al replicar su experiencia en el aula, como al momento de diseñar otras propuestas que sigan su línea de indagación. Al respecto la investigadora De Hosson recomienda lo siguiente sobre el uso de la controversia científica histórica:

El procedimiento consiste en elegir una pregunta, que suponemos pueda propiciar un debate dentro de la clase, y concebir una trayectoria cognitiva que, se apoye en dicho debate y que conduzca a los alumnos a la construcción de un conocimiento científico determinado. Utilizar así la historia de las ciencias requiere un conocimiento previo y creciente del estado conceptual de los alumnos, en particular de las ideas y de los razonamientos que pueden obstaculizar el aprendizaje previsto. También es necesario que la pregunta histórica tenga sentido en la clase para que los alumnos se la puedan apropiar más fácilmente y para suscitar la emergencia de propuestas de solución. (p. 116)

En efecto, el desafío convoca la capacidad de los docentes de diseñar ambientes de aprendizaje que involucren a los estudiantes en su capacidad conceptual, su habilidad para expresar sus propias ideas y seguir un hilo de razonamiento aceptable. Todo ello, teniendo como asunto focal una pregunta desencadenante con potencial histórico que apunte tanto a la solución del asunto científico como a la construcción de significados comprensibles para los estudiantes. De Hosson (2011) menciona

que algunos de ellos deben ser: “textos históricos originales, documento iconográfico, relato histórico de primera fuente, réplica de experiencias históricas” (p.116). Además, hay que tener en cuenta que cualquiera de los elementos que se elijan deberán estar ceñidos y adaptados a los objetivos didácticos y pedagógicos que se hayan trazado desde el inicio, cuidando de no caer en anacronismos o reduccionismos.

Estas mismas recomendaciones las hacen Acevedo y García (2017). Los autores señalan que incluir narraciones históricas envueltas en una controversia científica de divulgación escolar, necesita que las descripciones que allí se incluyan se hagan con detalle, de tal manera que se pueda:

i) Evitar una visión demasiado lineal sobre cómo la ciencia produce sus nuevos conocimientos y ii) permitir una mejor interpretación de la historia de la ciencia en su contexto. Pero, del mismo modo que cuando se utiliza en la educación científica, el texto que narra una controversia científica requiere de una adaptación si su propósito es la divulgación de la ciencia para todo tipo de público. Una estrategia, al respecto, es hacer una simplificación de la controversia científica en la que se seleccionan fragmentos y se resumen los hechos históricos que la caracterizan. Aun así, en este proceso de simplificación hay que tener especial cuidado en que los fragmentos seleccionados y, por tanto, las omisiones que se hagan no conduzcan a

una pseudohistoria que muestre una imagen deformada de la ciencia. (p. 27)

Junto a ello, Acevedo menciona que se debe tener cuidado con otros aspectos. Uno de ellos tiene que ver con la tendencia inconsciente quizá, de querer transmitir una visión idealizada o mítica de la ciencia y los científicos que la protagonizan, como sucede en los relatos hagiográficos. De la misma manera, la importancia de no enfatizar en cierto momento de la controversia científica o, por el contrario, restarle importancia a otro pues ello sesgaría la verdadera esencia del contenido que subyace a evento y puede conseguir los aprendizajes buscados.

Otra recomendación relevante, se encuentra en la investigación de Venturini (2010); allí se plantean elementos “justos” de observación de acuerdo con su teoría de cartografía de controversias. Se mencionan aquí por la relevancia que tienen al momento de iniciar el ejercicio de selección de la controversia científica por parte de profesores o por estudiantes, y que se orienten hacia la asignación de categorías de análisis. El autor con “justo”, se refiera a los elementos que se deben tener en cuenta en este ejercicio categorial. Declara así tres mandamientos de observación según la cartografía de controversias: “1) no debe restringir su observación a una sola teoría o metodología; 2) observarás desde tantos puntos de vista como sea posible; 3) escuchará las voces de los actores más que tus propias presunciones” (p. 260).

Finalmente, se debe aludir a las observaciones que realiza Domenech (2017) relacionadas con su experiencia investigativa. El autor reconoce que, aunque exista una necesidad de conectar aspectos científicos con contextos históricamente relevantes, aún son pocos los profesores que abordan estos desafíos. Su existencia depende eventualmente, de la posibilidad que se ajuste a los contenidos científicos que aparezcan como obligatorios en los currículos escolares. Esto es debido en parte, a las dificultades que pueda enfrentar el docente tanto en el diseño de actividades, como en la adecuada y efectiva aplicación de los diseños.

Aunque estos desafíos muestren un panorama que demanda asumir diferentes tareas de corte didáctico, es importante resaltar que las CCH asignan un nuevo horizonte a los propósitos de la alfabetización científica, caracterizado por prácticas de enseñanza que privilegien más los asuntos de la NDC y sus procesos, e igualmente, den cuenta de aquellos factores internos y externos de las comunidades científicas y con ello, se logre redimensionar el sentido ingenuo del aprendizaje de las ciencias.

REFLEXIONES FINALES

La ventana que abre la exploración bibliográfica referida al campo de las controversias científicas y, en particular, a las CCH en su relación con una nueva perspectiva de la alfabetización científica

sustentada desde los aspectos epistémicos y no epistémicos expuestas en este artículo, permite generar reflexiones sobre varios asuntos que se mencionan a continuación.

En primera instancia, es fundamental reconocer que las CCH como instrumento de contextualización de los contenidos científicos es una estrategia relevante. Es una oportunidad excepcional para promover en los estudiantes discursos enmarcados en el lenguaje de las ciencias (Collin, 2000), sin que ellos sean necesariamente en el marco de teorías científicas.

En segunda instancia, es necesario admitir que rescatar estos diálogos de los libros clásicos de las ciencias, define una opción para desentrañar tanto los elementos racionales, como los empíricos de la ciencia a través del análisis crítico: "Estos diálogos contienen las elecciones, los rechazos y las decisiones que muestran que hemos aprendido de nuestros errores y, con ello, hemos aumentado nuestro conocimiento científico" Jaramillo (2004). Es una opción de recuperar la mirada humana de la ciencia, mirada perdida en las prácticas tradicionales escolares.

Por ello, no es ingenuo pensar que si las controversias científicas fueron esenciales en la construcción del conocimiento científico que impulsó el avance de la ciencia en distintos campos, lo serían también para que los estudiantes, tras su análisis y comprensión, construyan esquemas de pensamiento enriquecidos por

lenguajes propios de las dinámicas y discursos científicos. Son escenarios idóneos sobre los complejos procesos del cambio científico que permiten traer a la escena educativa, los conflictos científicos como algo connatural a la propia ciencia (Jaramillo, 2004).

En tercera instancia, es importante reconocer que, como lo subrayan las investigaciones referenciadas, la tarea fundamental de la alfabetización científica debe incluir el conocimiento de la NDC, del conocimiento científico y el conocimiento de la ciencia como una empresa social. Con ello se quiere resaltar que su tarea no se agota en su mera enseñanza, la intención apunta, como lo señala Kolsto (2000), a que este conocimiento trascienda el contenido. Ello refiere que la alfabetización científica debe ser capaz de permear la construcción de aprendizajes, al punto que les permita a los estudiantes construir formas de ver y abordar su realidad social a través de ese nuevo sentido de la ciencia que proporciona una enseñanza basada en las CCH.

Finalmente hay que decir que este ejercicio de búsqueda bibliográfica permitió reconocer que para enfrentar los retos que aquí se planean en relación a la selección, adecuación, y diseño de propuestas que usen las CCH como estrategia de enseñanza de las ciencias, requiere en los profesores de ciencias no sólo una formación y actualización acerca de esta perspectivas de la alfabetización científica

sino una decidida y audaz actitud para enfrentar las complejidades de nuestra realidad educativa y enfrentar nuevos caminos de formación en ciencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, J. A., Manassero, M. A. y Vázquez, A. (2002). Nuevos retos educativos: Hacia una orientación CTS de la alfabetización científica y tecnológica. *Revista Pensamiento Educativo*, 30, pp. 15-34.
- Acevedo, J. A., Vázquez, A., Manassero, M. A., y Acevedo, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica, *Revista Eureka sobre Enseñanza Divulgación de las Ciencias*, 4(1), pp. 42-66.
- Acevedo Díaz, J. A. y García Carmona, A. (2016). Uso de la historia de la ciencia para comprender aspectos de la naturaleza de la ciencia. Fundamentación de una propuesta basada en la controversia Pasteur versus Liebig sobre la fermentación. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 11(33), pp. 203-226.
- Acevedo-Díaz, J. A. y García Carmona, A. (2017). *Controversias en la historia de la ciencia y cultura científica*. OEI Catarata.
- Brante, T., Fuller, S. y Lynch, W. (Eds.). (1993). *Controversial science: From content to contention*. SUNY Press.
- Collins, H. (2000). On beyond 2000. *Studies in Science Education*, 35, pp. 169-173.
- Dascal, M. (1998). The study of controversies and the theory and history of science. *Science in Context* 11(2), pp. 147-154.
- Díaz, M., Jiménez, L.M. (2011). Las controversias socio científicas: Temáticas e importancia para la educación científica. *Revista eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 9(1).
- Domènech-Casal, J. (2017). Propuesta de un marco para la secuenciación didáctica de Controversias Socio-Científicas. Estudio con dos actividades alrededor de la genética. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14(3), pp. 601-620
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A. y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), pp. 477-488.
- Fillon, P. (1991). Histoire des sciences et réflexion épistémologique des élèves, *Aster*, 12, pp. 91-120.

- García-Martínez, A. y Pinilla, J.R. (2007). *Colegios Públicos de Excelencia para Bogotá. Orientaciones curriculares para el campo de ciencia y tecnología*. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia. Secretaria de Educación de Bogotá SED
- García-Martínez, Á., Hernández, R., y Abella, L. (2018). Diseño del trabajo de aula: un proceso fundamental hacia la profesionalización de la acción docente. *Revista Científica*, 33(3), 316–331. <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/23448350.12623>
- García-Martínez, Á., y Izquierdo, M. (2014). Contribución de la Historia de las Ciencias al desarrollo profesional de docentes universitarios. *Enseñanza de Las Ciencias*, 1(32), 265–281. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.758>
- De Hosson, C. y Kaminski, W. (2007). Historical Controversy as an Educational Tool: Evaluating elements of a teaching–learning sequence conducted with the text “Dialogue on the Ways that Vision Operates”. *International Journal of Science Education*, 29(5), pp. 617-642.
- 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), pp.115-126.
- Izquierdo, M.; Valverdú, I.; Quintanilla, M. y Merino, C. (2006). Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia, *Alambique*, 48, pp. 78-91.
- Izquierdo, M, García-Martínez A.G., Quintanilla, M. y Adúriz-Bravo, A. (2016), *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas
- Izquierdo, M. A. (2017). Atando cabos entre contexto, competencias y modelización ¿Es posible enseñar ciencias a todas las personas? *Modelling in Science Education and Learning* 10(1), pp. 309-326 Universitat Politècnica de València.
- Jaramillo, L. y Aguirre, J. (2004). La Controversia Kuhn – Popper en torno al Progreso Científico y sus posibles aportes a la Enseñanza de las Ciencias. *Cinta de Moebio. Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*, (20), pp. 83-92.
- Jiménez- Aleixandre, M. (2010). 10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas. *Graó* 29(1), pp. 363-366

- Kolstø, S. D. (2000). Consensus projects: Teaching science for citizenship. *International Journal of Science Education*, 22(6), pp. 645-664.
- Kolstø, S. D. (2008): Science education for democratic citizenship through the use of the history of science. *Science & Education*, 17(8-9), pp. 977-997.
- Lederman, N. G. (1999). Teachers' understanding of the nature of science: Factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8), pp. 916-929.
- McMullin, E. (1987): "Scientific controversy and its termination", en H. T. Engelhardt Jr. y A. L. Caplan (eds.), *Scientific Controversies. Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*, Nueva York, Cambridge University Press, pp. 49-91
- Matthews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12, pp. 255-277.
- Merino, C., & García-Martínez, A. (2019). Incorporación de realidad aumentada en el desarrollo de la visualización. Un estudio con estudiantes de secundaria en torno al modelo atómico. *Pensamiento Educativo: Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 56(2), 1–23. <https://doi.org/10.7764/PEL.56.2.2019.6>
- Niaz, M. (2000). The oil drop experiment: A rational reconstruction of the Millikan-Ehrenhaft controversy and its implications for chemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, pp. 480–508,
- Niaz, M. (2005). An Appraisal of the controversial nature of the oil drop experiment: Is closure possible? *British Journal for the Philosophy of Science*, 56, pp. 681–702.
- Niaz, M. (2010). Science curriculum and teacher education: The role of presuppositions, contradictions, controversies and speculations vs Kuhn's "normal science. *Teaching and Teacher Education*, 26(4), pp. 891–899.
- Piaget, J. (1970). *La epistemología genética*. Barcelona: Redondo.
- Quintanilla, M. (2009). Historia de la ciencia, ciudadanía y valores: claves de una orientación realista pragmática de la enseñanza de las ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, 18(45), pp. 9-23.
- Quintanilla, M., Daza S. y Cabrera H. (2014). *Historia y filosofía de la ciencia. Aportes para una «nueva*

- aula de ciencias»,
promotora de ciudadanía y valores.*
Santiago de Chile: Bellaterra.
- Schwab, J. (1962). The teaching of science as enquiry. In J. J. Schwab, & P. F. Brandwein, (Eds.) The teaching of science (pp. 1-103). New York
- Stinner, A., Mcmillan, B. A., Metz, D., Jilek, J. M. y Klassen, S. (2003): The Renewal of Case Studies in Science Education. *Science & Education*, 12, (7), pp. 617-643.
- Tolvanen, S., Jansson, J., Vesterinen, V.-M. y Aksela, M. (2014): How to use historical approach to teach nature of science in chemistry education? *Science & Education*, 23(8), pp. 1605-1636.
- Vallverdú, J. (2002): *Marco teórico de las controversias científicas: el caso de la sacarina.* (Tesis Doctoral) UAB.
- Vallverdú, J. (2005). ¿Cómo finalizan las controversias?: Un nuevo modelo de análisis: la controvertida historia de la sacarina. *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad*, 2(5), pp. 19-50.
- Venturini, T. (2010). Diving in magma: How to explore controversies with actor-network theory. *Public Understanding of Science*, 19(3), pp. 258–273.
- Waghid, Y. (2005). Action as an educational virtue: Toward a different understanding of democratic citizenship education. *Educational Theory*, 55(3), pp. 323-342.