



Cuestiones sociocientíficas en la formación de profesores de ciencias: aportes y desafíos

- Socio-scientific issues in science teachers education: contributions and challenges
- Questões sociocientíficas na formação de professores: contribuições e desafios

Leonardo F. Martínez P.*

* Profesor del Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá — Colombia. Doctor en Educación en Ciencias. lemartinez@pedagogica.edu.co

Resumen

Este artículo tiene como objetivo analizar los aportes y desafíos del abordaje de cuestiones sociocientíficas (CSC) en la formación de profesores de ciencias. En primer lugar, se presenta una revisión de investigaciones desarrolladas en las últimas décadas en el campo CTSA, destacando la emergencia del abordaje de CSC como problemática de investigación de la enseñanza de las ciencias. Asimismo, se exponen los aportes del grupo Alternancias a este campo, haciendo alusión a investigaciones desarrolladas en los últimos once años a propósito de dicho abordaje en la educación secundaria y media, así como en la formación de profesores, destacando las características de las CSC y las correspondientes intenciones didácticas de su abordaje. Por último se analizan algunos retos en cuanto a la formación permanente del profesorado en la interfaz universidad-escuela y el diseño curricular sobre CSC.

Abstract

This article aims to analyze the contributions and challenges when trying socio scientific issues (SSI) in science teachers' education programs. First, this paper provides a review of research studies carried out in the last few decades in the field STSE, emphasizing the need of including SSI as a research problem in science teaching. Second, the authors present the contributions of the research group "Alternancias" to this field, referring to research studies developed in the last eleven years in order to implement this approach in secondary education, as well as in teachers' education programs, and highlighting the characteristics of the SSI and the didactic intentions in this approach. Finally challenges are discussed in terms of continuing education programs for teachers in the interface university-school and in the curriculum design on SSI.

Palabras clave:

CTSA, profesor investigador, diseño curricular, formación de profesores en la interfaz universidad-escuela.

Key words:

STSE, professor, researcher, curriculum design, teacher education in the interface university-school

Artículo recibido el 02-11-2014
y aprobado el 28-11-2014



Resumo

Este artigo tem como objetivo analisar as contribuições e desafios da abordagem de questões sociocientíficas (QSC) na formação de professores de ciências. Em primeiro lugar, apresentamos uma revisão de pesquisas desenvolvidas nas últimas décadas no campo CTSA, destacando a emergência da abordagem de QSC como problemática de investigação no ensino de ciências. Além disso, são expostas as contribuições do grupo Alternancias neste campo, fazendo alusão às pesquisas desenvolvidas nos últimos onze anos que utilizaram esta abordagem na educação secundária e média, assim como na formação de professores, destacando as características das QSC e as intenções didáticas correspondentes à sua abordagem. Por último, analisam-se alguns desafios quanto à formação continuada de professores na interface universidade-escola e a elaboração de currículos com QSC.

Palavras chave:

CTSA, professor investigador, elaboração de currículos, formação de professores na interface universidade-escola.

Introducción

En la sociedad global contemporánea el desarrollo científico y tecnológico ocupa un papel central en la vida de los ciudadanos. Difícilmente podemos imaginar la economía, la salud, la política o el ambiente sin una relación con dicho desarrollo. Proyectos de gran impacto en el campo de la ciencia de los materiales han hecho posible el desarrollo de la nanotecnología y con esto la construcción de gran número de dispositivos electrónicos que están presentes en artefactos y máquinas de uso diario. Asimismo, proyectos de frontera como el genoma humano, la manipulación genética, el uso de células troncales embrionarias, la vida sintética, los transgénicos, entre otros, parecen ofrecer grandes promesas para la cura de enfermedades y para la superación del hambre en el mundo al aumentar la producción de alimentos, o quizás prometen la consolidación de nuevas alternativas para mitigar la contaminación del planeta.

Entre promesas y cuestionamientos que surgen de las implicaciones sociales, ambientales y éticas de las investigaciones científicas, cabe preguntarnos por la educación de los ciudadanos en el presente y en particular por la enseñanza de las ciencias para el siglo XXI.

Es de anotar que en la enseñanza de las ciencias el campo que históricamente llamó la atención por la formación crítica de todos los ciudadanos en cuestiones de ciencia y tecnología (C&T) recibió el rótulo de ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA) y constituyó en la década de 1980 un movimiento de renovación curricular importante que cuestionó el statu quo de la enseñanza centrada en la transmisión descontextualizada de contenidos científicos (Aikenhead, 2005; Pedretti y Nazir, 2011; Martínez, 2012; Martínez y Moreno, 2013; Martínez y Moreno, 2014). Dicho cuestionamiento aún forma parte de las discusiones

actuales de la enseñanza que trascienden los espacios escolares para abrir paso a procesos formativos en espacios no formales. En el ámbito educativo informal los medios de comunicación desempeñan un papel crucial en la instrucción de todos los ciudadanos y frente a sus limitaciones los educadores en ciencias debemos analizar críticamente la divulgación del discurso científico y tecnológico en estos medios, pues en la mayoría de los casos generan una opinión pública distorsionada de la C&T (Martínez y Parga, 2013a).

Los estudios en epistemología, historia y sociología de las ciencias contribuyeron notoriamente para consolidar el campo CTSA en la enseñanza de las ciencias y favorecieron la transformación de la imagen tradicional y lineal de la ciencia, por una imagen crítica y compleja que considera el trabajo científico como una construcción humana y cultural en permanente evolución, susceptible de valores, intereses y conflictos adyacentes a las comunidades científicas notoriamente influenciadas por determinados contextos sociales (Fleck, 1986; Kunh, 1975; Echeverría, 2003).

Inscritos en investigaciones propias del campo CTSA en la enseñanza de las ciencias, el grupo de investigación Alternativas para la Enseñanza de las Ciencias (Alternaciencias)¹ se ha constituido como un colectivo de pensamiento que busca aportar al mejoramiento y la transformación global de la educación en ciencias, particularizando sus estudios en Colombia y en América Latina. A partir de la producción académica desarrollada por este grupo en los últimos once años, el presente artículo tiene como objetivo analizar los aportes, las dificultades y los retos del abordaje de cuestiones sociocientíficas (CSC) en la

¹ Para ampliar la información sobre este grupo de investigación puede consultarse la página www.alternaciencias.com



formación de profesores de ciencias. Para ello, se destaca la emergencia del abordaje de CSC como problemática de investigación, además se presentan las características centrales de estas cuestiones y las correspondientes intenciones didácticas de su abordaje.

El trabajo desarrollado con profesores de ciencias en ejercicio al abordar CSC ha exigido la articulación de la investigación didáctica desarrollada en la universidad con las experiencias e investigaciones de aula llevadas a cabo por los profesores en contextos escolares. En consecuencia, las últimas investigaciones lideradas por el grupo Alternancias han centrado su atención en los aportes y retos de la formación de profesores en la interfaz universidad-escuela. En estas investigaciones se han elaborado diseños curriculares por parte de profesores de ciencias en ejercicio y en formación inicial, lo que constituye un desafío importante para orientar la formación ciudadana de los estudiantes bajo los fundamentos y estrategias propias del campo CTSA.

La emergencia del abordaje de cuestiones sociocientíficas en el campo CTSA

Existe un amplio consenso entre investigadores de la didáctica de las ciencias de la naturaleza con respecto al significado de CTSA como campo de investigación y movimiento de renovación curricular (Garritz, 1994; Solomon, 1995; Membiela, 1995; 1997 y 2005; Acevedo, 1996; Auler y Bazzo, 2001; Solbes y Vilches, 2004; Edwards et ál., 2004, Aikenhead, 2005; Cachapuz et ál., 2008; Santos y Mortimer, 2001 y 2002; Mion, Alves y Carvalho, 2009; Pedretti y Nazir, 2011; Martínez, 2012). Los autores citados reconocen que el contexto sociopolítico y económico de las décadas de 1960 y 1970, caracterizado por fuertes tensiones bélicas y convulsiones sociales, fue relevante para el nacimiento del movimiento ambientalista, el movimiento contracultural y el movimiento *pugwash*, los cuales repercutieron en los educadores en ciencias y los llevaron a reflexionar profundamente acerca de los objetivos de la educación de científicos y de ciudadanos. Por otra parte, los desarrollos teóricos de la filosofía y la sociología de las ciencias fueron esenciales para el nacimiento de una crítica educativa fundamentada que posibilitó el desarrollo CTSA.

La aplicación del conocimiento científico en proyectos de guerra de alta envergadura como el proyecto Manhattan, la producción y el uso extensivo de agrotóxicos en la agricultura como el DDT (dicloro difenil tricloroetano), entre otros, alertaban acerca de los impactos socioambientales del progreso científico (Carson, 1969). Todo esto prendió las alarmas en los movimientos sociales y cuestionó los fines de la educación en ciencias.

El movimiento CTSA reclamaba una enseñanza de las ciencias centrada en el humanismo en oposición a la enseñanza elitista y tecnocrática (Hurt, 1975; López, 1998), así se cuestionó el *statu quo* dominante de la educación en

ciencias, caracterizado por la transmisión de contenidos científicos y por la fragmentación de las disciplinas (Química, Física y Biología).

En un proyecto de investigación desarrollado entre el 2012 y 2013 (Martínez, et ál., 2013), el grupo Alternancias caracterizó la emergencia del abordaje de CSC en la última década del siglo XX y su consecuente auge durante la primera década del siglo XXI. Parte de esta investigación se publicó en Martínez y Parga (2013b), donde se propuso interpretar la evolución del campo CTSA en cuatro etapas: origen, desarrollo, consolidación y ampliación. En esta última etapa se identificó la emergencia del abordaje de CSC como parte del propio campo, ya que sus objetivos hacen alusión principalmente a la formación ciudadana, la comprensión de la naturaleza de la C&T, la alfabetización científica y el análisis de dilemas éticos y morales; estos aspectos ya habían sido objeto de investigaciones rotuladas como CTSA. Aunque el grupo de Zeidler et ál. (2005) considera que el abordaje de CSC constituye un nuevo movimiento que busca el empoderamiento de los estudiantes a partir del análisis de cuestiones controvertidas que tienen una base científica y que además abarcan principios morales, virtudes y valores relacionados con su propia vida, nuestros estudios coinciden con los planteamientos de Pedretti y Nazir (2011) al argumentar que estas preocupaciones han sido compartidas bajo un mismo “paraguas” denominado CTSA, que abarca varias perspectivas de acuerdo con los momentos históricos y contextos sociales que ha implicado su desarrollo.

El abordaje de CSC bajo el campo CTSA lo podemos sustentar, a partir del análisis de los últimos avances realizado por Pedretti y Nazir (2011). Las autoras revisan la literatura especializada en enseñanza de las ciencias en los últimos cuarenta años para caracterizar las principales corrientes del campo y dejan

de presente que existen varias perspectivas, intenciones, estrategias y formas de comprender el campo CTSA. Así, consideramos que la importante pluralidad teórica y metodológica que identifica el campo ofrece un amplio repertorio de posibilidades para que investigadores y profesores en ejercicio fundamenten y desarrollen sus propios trabajos.

Las autoras citadas caracterizaron seis corrientes o perspectivas del campo CTSA: aplicaciones o diseños, histórica, razonamiento lógico, sociocultural, axiológica (centrada en valores) y eco-justicia social. La primera corriente hace alusión a aquellos trabajos centrados en el diseño de artefactos, aparatos o instrumentos por parte de los estudiantes con el propósito de favorecer la comprensión de conceptos científicos e interpretar aplicaciones tecnológicas. En esta corriente también se establecen situaciones problema para que los estudiantes desarrollen explicaciones científicas y tecnológicas. Algunas críticas hechas a esta corriente llaman la atención por un cierto reduccionismo del proceso de enseñanza-aprendizaje a la construcción de artefactos o a la resolución de problemas, sin el análisis de los valores y contextos socioambientales de dicha construcción.

La corriente histórica es fundamental para la enseñanza CTSA, ya que ofrece una fundamentación teórica sobre el desarrollo y funcionamiento de la ciencia y la tecnología en la sociedad. Así, es posible entender la ciencia como actividad humana vinculada a valores, disputas e intereses. Bajo esta corriente se ha logrado articular las investigaciones sobre naturaleza de la ciencia y se han propuesto varias estrategias para tratar biografías de científicos, análisis de casos históricos, debates y representaciones de distinta índole sobre la evolución de la ciencia. Aunque los avances de esta corriente son significativos, en ocasiones se ha privilegiado el estudio de episodios



positivos de la ciencia en detrimento de aquellos eventos negativos, además se requieren mayores esfuerzos para tratar controversias históricas de la ciencia que caracterizarían un abordaje CTSA. Por ejemplo, el trabajo de Nepote (2011) presenta controversias centrales en la historia de la Química, la Física y la Biología que pueden abordarse en el aula para que los estudiantes comprendan mejor las características sociales de la ciencia.

Conforme a una corriente histórica de CTSA, en el 2009 fueron analizadas creencias de profesores de ciencias de educación básica primaria que laboraban en el contexto rural colombiano (Ruiz, Martínez y Parga, 2009). Allí se evidenció que los profesores creen que la ciencia y la tecnología siguen un método lineal preestablecido, y presentan visiones ahistóricas, apblemáticas e individuales de la ciencia. Dichas creencias pueden limitar el desarrollo de CTSA en la escuela. No obstante, estas creencias no son exclusiva responsabilidad del profesor, ya que las creencias son construcciones sociales y culturales que están asociadas al desarrollo profesional docente y a las condiciones desfavorables de formación. De hecho, el grupo de participantes de esta investigación se mostró en todo momento proactivo para problematizar sus creencias y para mejorar e innovar su práctica.

Los trabajos desarrollados bajo la corriente del razonamiento lógico evidencian que CTSA desde sus orígenes se preocupó por tratar controversias sociales suscitadas por el desarrollo científico y tecnológico, frente a las cuales era necesario que los estudiantes como futuros ciudadanos desarrollaran actividades cognitivas complejas que les permitieran tomar decisiones de manera responsable. El análisis de las controversias requiere del razonamiento lógico para la adopción de determinadas posiciones y acciones frente a situaciones como el consumo de alcohol o de alimentos transgénicos, entre otras situaciones. Este tipo de razonamiento es importante para la argumentación y para la toma de decisiones, pero puede ser insuficiente a la hora de tratar asuntos éticos y de emitir juicios de valor.

La corriente centrada en los valores presupone que las opciones personales son tan importantes como el sistema de valores instalado socialmente. De acuerdo con esta idea, las estrategias utilizadas apuntan a considerar casos particulares de la ciencia y la tecnología que tratan dilemas morales y a partir de ellos se ofrecen a los estudiantes principios básicos de ética de la virtud, ética deontológica y ética utilitarista para que ellos participen de una activa discusión en la que puedan defender sus propios posicionamientos.

La corriente sociocultural pone de relieve una enseñanza intercultural que valora la C&T en cuanto construcción valiosa de la cultura occidental, pero a su vez, otorga la misma importancia a los saberes de otras culturas. Así se basa en una visión holística, reflexiva y afectiva.

La corriente de eco-justicia social es la más reciente y hace hincapié en la necesaria formación de los estudiantes no solo para comprender la C&T, sino

para generar procesos de cambio social que contribuyan con la construcción de una sociedad más justa y sustentable. Esta corriente tiene muchas convergencias filosóficas con los trabajos de la educación ambiental crítica. Las experiencias que se han desarrollado bajo esta perspectiva han centrado la atención en problemas socioambientales cercanos a las escuelas, de tal manera que los estudiantes desarrollen acciones y actitudes inmediatas de reflexión y cambio. También se pueden tratar problemas de interés mundial, como el calentamiento global o el agotamiento de fuentes de energía, para que se construyan con los estudiantes alternativas de acción social responsable.

Desde el 2003 el grupo de investigación Alternancias ha desarrollado investigaciones que aportan al desarrollo del campo CTSA especialmente desde la corriente histórica como se mencionó a propósito del estudio descrito anteriormente y en el abordaje de CSC en educación secundaria y en educación media. En la formación de profesores ha desarrollado trabajos en las corrientes centrada en valores (axiológica), de diseños, de razonamiento lógico y de eco-justicia social. En seguida se realiza una descripción integral de los trabajos adscritos a estas corrientes.

En Martínez y Rojas (2006) se realizó un análisis del establecimiento de relaciones CTSA por parte de futuros profesores de Química y se indagó el aprendizaje de conceptos básicos de Bioquímica asociados a la ruta metabólica del ácido shikímico en las plantas. El estudio se hizo por medio de un juego de roles sobre las CSC de las fumigaciones de glifosato en Colombia, que desde la década de 1970 han sido objeto de grandes controversias centradas en su prohibición o intensificación para controlar cultivos ilícitos. En distintos medios de comunicación han circulado denuncias de habitantes de zonas rurales por la eventual

contaminación de fuentes hídricas por el herbicida, la afectación de la biodiversidad y la aparición de enfermedades, especialmente cutáneas. El abordaje de dicha controversia propició un aprendizaje contextualizado de conceptos bioquímicos y generó una relación directa entre la base científica de la controversia, las implicaciones ambientales y los riesgos existentes en la salud humana.

En Martínez, Peña y Villamil (2007) se analizó el desarrollo de actitudes favorables hacia la Química, a partir del estudio de las CSC asociadas a posibles sanciones a empresas de la zona industrial de Puente Aranda (en Bogotá) y de Yumbo (en Cali), por la generación de lluvia ácida debido a los altos grados de polución. La cuestión puso de presente los conflictos de interés entre empresarios y gobierno, en cuanto a la necesaria aplicación de normas y acuerdos firmados en el ámbito internacional en las distintas cumbres sobre el ambiente. El estudio demostró que al abordar las CSC por medio de juegos de roles se logró favorecer una mejor actitud hacia el estudio de la Química. Dicho mejoramiento actitudinal se evidenció a nivel cognitivo en la medida en que el estudio de las reacciones químicas se favoreció al tratarlas en el contexto de la problemática socioambiental. Asimismo se puso de manifiesto en lo afectivo, ya que dadas las polémicas que se suscitaron en torno a la polución atmosférica, los estudiantes de educación secundaria se motivaron por el estudio de conceptos químicos como reacción química, leyes ponderales y estequiometría.

En Moreno y Martínez (2009) se trató con estudiantes de educación media la controversia sobre la conveniencia de la producción de biocombustibles como una forma de energía alternativa. El trabajo se orientó al análisis de los niveles de argumentación de los estudiantes y la habilidad del profesor para su desarrollo. Los resultados mostraron que las



discusiones realizadas por los mismos estudiantes favorecen un buen nivel de argumentación, caracterizado por la exposición de justificaciones respaldadas con garantías y cualificadores. No obstante, la mayoría de estudiantes mantuvieron bajos niveles de argumentación pese a las condiciones favorables para su desarrollo, lo cual evidencia que este proceso es complejo y requiere una articulación permanente con el currículo de Ciencias.

Con respecto a la misma CSC, en Martínez, Cattuzzo y Carvalho (2009) se analizaron los niveles de negociación básico (representacional), intermedio y avanzado (operacional) de acuerdo con la propuesta de Berkowitz y Simmons (2003). Los resultados evidenciaron la importancia de la articulación coherente de habilidades del profesor para favorecer la negociación, ya que esto facilita el nivel operacional, que se caracteriza por el reconocimiento de los distintos puntos de vista y la interlocución basada en intervenciones fundamentadas, manejo de contradicciones, ampliación de puntos de vista y razonamiento crítico.

Otra CSC trabajada, en este caso a nivel universitario con estudiantes de Fisioterapia, fue la intoxicación de pacientes con sustancias químicas, denominadas xenobióticos (Torres y Martínez, 2011). Allí se analizó la habilidad de argumentación de los estudiantes y la solución de problemas. Los resultados indicaron que el 55% de ellos consideraron características, efectos, mecanismos de acción y resultados de exámenes de sangre para el estudio de los xenobióticos en casos clínicos asociados a intoxicaciones generadas por cianuro y benzodiazepinas. La discusión contextualizada de estos temas favoreció una mejor comprensión de conceptos bioquímicos tratados por los estudiantes.

Los trabajos descritos anteriormente evidencian el abordaje de CSC en la enseñanza de las ciencias con enfoque CTSA y sus aportes a la formación ciudadana de estudiantes de distintos niveles del sistema educativo colombiano; igualmente ponen de presente aportes para la formación inicial y continua del profesor, en cuanto a los avances en investigaciones y experiencias sobre su práctica.

Con la intención de precisar el significado de las CSC y su abordaje en la formación del profesor, a continuación se describen las características de dichas cuestiones y se discuten los aportes a la formación de profesores.

Características de las cuestiones sociocientíficas (CSC), aportes y desafíos para la formación de profesores

Para comprender mejor las características de las CSC, a manera de ejemplo, utilizaremos las controversias suscitadas por la producción a gran escala de biocombustibles. En la tabla 1 ilustramos dichas características según los planteamientos de Ratcliffe y Grace (2003).

Tabla 1. Características de las CSC

Características de las CSC	Controversias asociadas a la producción de biocombustibles
Se basan en la ciencia, por lo general en áreas que están en las fronteras del conocimiento científico.	<ul style="list-style-type: none"> – Investigaciones actuales orientadas al mejoramiento genético de variedades de caña de azúcar con el propósito de contar con buenas características agronómicas e industriales – Estudios científicos sobre el impacto ambiental de la producción a gran escala y sus efectos en la reducción de la emisión de gases invernadero – Alteración de la dinámica natural del ciclo biogeoquímico del nitrógeno
Por lo general las divulgan los medios masivos de comunicación, destacando aspectos relacionados con sus intereses.	<ul style="list-style-type: none"> – Entre el 2005 y el 2014 se publicaron en el portal web del periódico <i>El Tiempo</i> 3229 textos relacionados con biocombustibles. En el mismo periodo el diario <i>The New York Times</i> registra 3310 textos, y <i>Folha de São Paulo</i> (Brasil) 1706 textos.
Enfrentan problemas locales y globales.	<ul style="list-style-type: none"> – Polémicas sobre seguridad alimentaria por extensión de monocultivos y variación de precios – Deforestación – Deterioro de suelos para producción agrícola – Contaminación ambiental por quema de caña – Condiciones laborales inadecuadas de trabajadores rurales
Abarcan la formación de opiniones y la realización de elecciones en los niveles personal y social.	<ul style="list-style-type: none"> – Opiniones a favor de ofrecer nuevas fuentes energéticas y de aportar a la disminución de emisiones de gases invernadero – Opiniones en contra de peligros asociados a la seguridad alimentaria
Enfrentan información incompleta, ya se trate de evidencias científicas incompletas o confrontantes, o de vacíos en los registros.	<ul style="list-style-type: none"> – Hay dudas sobre los beneficios ambientales de la producción a gran escala de biocombustibles por los impactos que puede generar en el ámbito local.
<ul style="list-style-type: none"> – Abarcan análisis de costo y beneficio en los cuales los riesgos interactúan con los valores. – Pueden requerir algún entendimiento de probabilidad y riesgo. 	<ul style="list-style-type: none"> – Producción de biocombustibles frente a producción de alimentos – Producción a gran escala para atender la demanda energética frente a los efectos ambientales locales
<ul style="list-style-type: none"> – Pueden abarcar consideraciones sobre sustentabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> – Objeciones a la producción de biocombustible por no ser una energía limpia – Producción a gran escala dentro de un modelo de crecimiento económico que se ha tornado insostenible
<ul style="list-style-type: none"> – Abarcan valores y razonamiento ético. 	<ul style="list-style-type: none"> – Existen dilemas éticos con respecto a la producción de biocombustibles para atender demandas energéticas del crecimiento económico en lugar de usar el suelo para la producción de alimentos que ayuden a calmar el hambre en el mundo.

Fuente Autor.

Podemos identificar las características de las CSC en muchos ejemplos de actualidad, tales como la transgénesis, la clonación, el diagnóstico genético preimplantación, la vida sintética, la explotación del coltán, la utilización de medicamentos y cosméticos, o la creación y el uso de armas nucleares, entre otros. No hay duda de que el abordaje de estas cuestiones en la educa-



ción formal e informal es una necesidad inaplazable y representa un desafío para los profesores e investigadores que trabajamos en la enseñanza de las ciencias.

A diferencia de un abordaje tradicional de contenidos científicos descontextualizados socialmente, el abordaje de CSC está sujeto a polémicas y controversias desde diferentes perspectivas y pueden proponerse diversas soluciones en donde el razonamiento de los estudiantes desempeña un papel fundamental (Sadler y Zeidler, 2005). Estas cuestiones están asociadas a conceptos, productos y procedimientos científicos, en donde el estudiante deberá examinar las causas y consecuencias, las ventajas y desventajas, los pros y los contras de la posición que asuma. Por lo tanto el trabajo con las CSC en las clases de ciencias implica, según Ratcliffe y Grace (2003):

- Comprensión conceptual (los conceptos químicos, físicos, biológicos y ecológicos implicados, por ejemplo, en la producción de biocombustibles, así como los conceptos ambientales y éticos).
- Comprensión de procedimientos (cómo se genera la evidencia científica; cómo pueden tomarse con responsabilidad las decisiones).
- Reconocimiento de los valores personales, sociales y el análisis del razonamiento ético y moral.

Ahora bien, el desafío para la formación del profesorado está en conocer y aprender los distintos aspectos científicos, filosóficos, sociológicos, políticos, ambientales y éticos que contribuyan a fundamentar y orientar su práctica de enseñanza. Además explicitar conscientemente las intenciones didácticas también resulta de notable importancia a la luz de la construcción de dicha formación. En este sentido Zeidler et ál. (2005) indican cuatro líneas de trabajo didáctico para el abordaje de CSC:

1. *Aspectos de la naturaleza de las ciencias (NdC)*. En esta línea las orientaciones epistemológicas relacionadas con la NdC influyen sobre los soportes de las posturas de los estudiantes acerca de las CSC.
2. *Aspectos del discurso en el aula*. El manejo del razonamiento y la interacción dialógica en clase sobre las CSC es de importancia para el aprendizaje.
3. *Aspectos culturales*. Su presencia implica que el profesor de ciencias, a partir del abordaje de las CSC, ilustre sobre las diversas culturas y las capacidades variadas de desarrollo hacia el entendimiento intercultural.
4. *Aspectos basados en casos*. El estudio de las CSC consiste en casos que pueden tratarse en clase como controversiales para desarrollar las habilidades de razonamiento crítico y estimular el desarrollo ético y moral de los estudiantes.

El abordaje de CSC también ofrece grandes posibilidades de profundizar los estudios sobre la argumentación, el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico, el análisis de los razonamientos informal y científico, así como la toma de decisiones (Sadler, 2004) y el aprendizaje activo (Reis, 2014).

Reis (2004) señala que los procesos de evaluación y toma de decisiones sobre las CSC requieren construcciones y procesos tales como: i) un marco de conocimientos científicos indispensables para la apropiación de un conocimiento más detallado de los temas involucrados, ii) conocimiento de la naturaleza, así como de las posibilidades y límites de la ciencia, iii) las habilidades de pensamiento crítico, toma de decisiones y resolución de problemas, iv) las actitudes y los valores relevantes para la evaluación de las dimensiones ética y moral de la ciencia y la tecnología, y v) el deseo y la confianza para hacer frente a cuestiones de su interés científico. Por ende, el trabajo de las CSC en el aula de clase es importante no solo por la promoción del conocimiento sobre los contenidos, los procesos y la naturaleza de la ciencia y la tecnología, sino también por el potencial educativo de este tipo de interacción en el desarrollo cognitivo, social, político, moral y ético en los estudiantes.

El abordaje de CSC en la práctica del profesor representa una valiosa posibilidad para construir nuevas comprensiones sobre las interacciones CTSA. Martínez y Carvalho (2011) evidenciaron que profesores de Química en ejercicio valoran el enfoque CTSA para la contextualización de contenidos disciplinares, reconfiguran la idea de tecnología como simple aplicación de las ciencias y valoran la dimensión sociocultural de la tecnología que representa las necesidades humanas de acuerdo con determinados valores que desencadena la generación de nuevas tecnologías. Asimismo, Moreno et ál. (2011) consideraron

que el abordaje de CSC constituye una alternativa de trabajo para desarrollar CTSA en la práctica, ya que parte de los problemas que se presentan en experiencias de los profesores, cuando ellos deciden trabajar con temas de ciencia relacionados con el poder, el razonamiento ético y la acción responsable.

Desde una perspectiva teórica y metodológica crítica, en otros estudios se ha documentado los aportes del abordaje de CSC a la práctica del profesor de Ciencias, con respecto al favorecimiento de la formación del profesor como investigador de su práctica (Martínez y Carvalho, 2012; Martínez, 2012). Los profesores indagaron en sus estudiantes el proceso de toma de decisiones, el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y la argumentación al tratar diversas CSC². Las conclusiones de los estudios indicaron que la toma de decisiones no debe reducirse al desarrollo de estrategias didácticas que contribuyan con la construcción de posicionamientos claros sobre las opciones personales de los estudiantes, sino que también debe considerar la forma como el contexto cultural influye en dicho proceso. Así, es esencial relacionar la cultura del estudiante con la cultura de las disciplinas científicas del currículo, ya que existen más posibilidades de articular la toma de decisiones de los estudiantes con aspectos científicos. En cuanto al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico los profesores fundamentaron sus estudios en autores como Ennis (1987), Halpern (2006) y Campos (2007), a partir de los cuales conceptualizaron dicho pensamiento como un proceso reflexivo y racional, por medio del cual los sujetos deciden qué hacer y en qué creer frente a determinadas situaciones problema. En consecuencia, se analizaron las habilida-

2 En Martínez (2012) se relacionan las CSC tratadas por los profesores de Ciencias. A manera de ejemplo relacionamos las cuestiones sobre biocombustibles, experimentación con animales, xenobióticos, péptidos opioides en la leche, automedicación, transgénicos, entre otras.

des de orden superior, como la capacidad de resolver problemas, la argumentación y la toma de decisiones sin desconocer habilidades básicas como la búsqueda e interpretación de información, el uso de conceptos, la formulación coherente de cuestionamientos y el análisis de diferentes puntos de vista.

En las últimas investigaciones lideradas por el grupo Alternancias (Martínez y Parga, 2013 y 2014) se ha puesto de presente el desafío del abordaje de CSC en la formación de profesores en cuanto a la construcción de experiencias e investigaciones que se desarrollen en la interfaz universidad-escuela, esto en virtud de que la investigación didáctica ha mostrado en los últimos años que uno de los grandes problemas consiste en el poco impacto de los resultados de investigación en la escuela (Duit, 2006).

Tabla 2. Descripción de unidades didácticas construidas por profesores de Ciencias en ejercicio y en formación inicial

Unidad didáctica	Descripción
Alimentos transgénicos	Esta unidad didáctica tuvo como tema controversial las implicaciones que tienen las técnicas utilizadas en biotecnología para la producción de alimentos transgénicos, analizándolas desde una perspectiva social, económica, científica y ambiental. El objetivo de esta unidad se centró en fomentar el pensamiento crítico y las competencias argumentativas hacia las ciencias por parte de estudiantes del grado noveno de educación básica secundaria.
Experimentación con animales	Esta unidad didáctica tuvo como objetivo generar la controversia en un grupo de estudiantes de grado octavo de educación básica secundaria, partiendo de las controversias adyacentes a la experimentación con animales, y su validez en relación con el avance de la ciencia.
Y tú, ¿qué tipo de carne prefieres en tu hamburguesa?	Esta unidad fue propuesta con el fin de informar a los estudiantes de cuarto grado de primaria sobre la procedencia y el manejo de los alimentos, y concientizarlos al respecto. En esta secuencia se planteó una serie de actividades que pretendían aumentar gradualmente el nivel de complejidad de los conocimientos y el nivel argumentativo de los estudiantes.
Vallados, uso industrial y agrícola	Esta unidad buscó promover procesos de argumentación científica y ética en estudiantes de grado once en una institución educativa rural, por medio de artículos informativos, propuestas experimentales y puestas en común guiadas por la estrategia didáctica, como el juego de roles.

Fuente Tomado de Martínez y Parga (2013, pp. 44-45)

El mayor desafío está sustentado en el planteamiento de la formación del profesorado de ciencias a partir de la discusión de CSC en clases de Ciencias, como una alternativa de trabajo que posibilite la reflexión sobre la práctica y la construcción de sus propios materiales de enseñanza. En Martínez y Parga (2013) se analizó la creación de un espacio de formación entre profesores de escuelas, profesores en formación inicial y profesores de la universidad, que favoreció la construcción de cuatro unidades didácticas que próximamente serán publicadas en Martínez y Villamizar (2014) y que se describen en la tabla 2. En este orden

de ideas, nuestra propuesta consiste en que el propio profesorado elabore su microcurrículo en lo que respecta al diseño de unidades didácticas fundamentadas en los presupuestos teóricos del movimiento CTSA y en el abordaje de CSC en el aula. Dicha construcción no constituye un ejercicio individual o aislado de los profesores en las escuelas, sino que se articula con la formación permanente del profesorado en espacios colectivos de aprendizaje.

El diseño curricular por parte de los propios profesores no constituye una tarea fácil y se ve seriamente afectado por dificultades de tiempo y apoyo institucional. Sin embargo, los profesores que realizaron sus diseños curriculares enriquecieron su desarrollo profesional y contribuyeron a la formación de sus estudiantes en diversos aspectos, como la argumentación, el desarrollo de pensamiento crítico y la toma de decisiones, además constituyeron una experiencia motivadora para otros docentes.

Consideraciones finales

El gran impacto de la C&T en la sociedad actual demanda una enseñanza de las ciencias para el siglo XXI comprometida con la formación ciudadana de todos y todas en los distintos niveles y modalidades educativas. Dicha formación implica una nueva comprensión de la naturaleza de la ciencia, que además de los aspectos epistemológicos y sociológicos abarque las implicaciones éticas, sociales, políticas y ambientales del desarrollo tecnocientífico. Esto en virtud de que dicho desarrollo comprende grandes polémicas en cuanto a asuntos de sensibilidad social, como la manipulación de la vida, la mercantilización del conocimiento científico y los efectos ambientales de la industrialización de la ciencia. Así, la ciencia y la tecnología forman parte de una gran paradoja: por un lado, nos ofrecen bienestar y confianza en los distintos esce-

narios sociales, pero, por otro, nos generan temor e incertidumbre, pues sus promesas pueden verse vulneradas a la luz de accidentes ambientales o usos antiéticos de compañías o intereses particulares que ostentan el poder en determinadas investigaciones, por ejemplo, relacionadas con ciencias de materiales, nanotecnología, genética o biología molecular.

La preocupación por la formación ciudadana crítica en temas de C&T y por la construcción de currículos de ciencias humanísticas, interdisciplinarios y alternativos, históricamente es propia del campo de investigación denominado enseñanza de las ciencias con enfoque CTSA. Al estudiar el desarrollo de este campo hemos caracterizado su origen vinculado a los movimientos sociales y ambientalistas de las décadas de 1960 y 1970, así como a los estudios históricos y epistemológicos. El desarrollo y la consolidación del campo estuvieron marcados por la construcción de currículos en todo el mundo y la ampliación del campo forma parte del momento actual, en el cual destacamos la emergencia del abordaje de CSC en la enseñanza como una importante alternativa de trabajo didáctico que posibilita el desarrollo de la argumentación, el pensamiento crítico, la toma de decisiones y la acción sociopolítica responsable de los estudiantes.

Los estudios desarrollados por el grupo Alternaciencias durante la última década han aportado a la construcción de conocimiento didáctico, a propósito de la problematización de creencias del profesorado sobre C&T. Asimismo han puesto de presente estrategias didácticas que favorecen un mejor aprendizaje de conceptos científicos, a la vez que hacen posible el establecimiento de relaciones CTSA en estudiantes de educación básica y media, al igual que aportan a la formación inicial y permanente del profesorado en el abordaje de CSC.



El abordaje de CSC en la formación del profesorado trae importantes aportes a su práctica, en la medida en que hace posible la investigación en el aula sobre aquellas intenciones didácticas que pueden favorecer una formación ciudadana de los estudiantes en temas de C&T. Este abordaje también representa un desafío para el profesorado, ya que exige su preparación en temas sociales, éticos, políticos y ambientales que, aunque relacionados con los conocimientos disciplinares propios de la ciencia, trascienden este escenario y exigen un trabajo colaborativo con otros docentes y profesionales. Estas exigencias favorecen la construcción de la autonomía docente en términos colectivos y participativos porque demandan del profesorado una formación permanente en la escuela de manera consistente y articulada a las investigaciones didácticas. Así, se trata de crear sinergias entre investigadores, profesores y directivos que posibiliten la transformación de los currículos escolares de ciencias descontextualizados, para dar paso a currículos basados en problemas, controversias y trabajo interdisciplinario.

Abordar CSC en la práctica del profesor también presenta grandes dificultades, desde aquellas impuestas por los currículos oficiales que en muchos casos restringen la creatividad del profesorado para desarrollar sus propias propuestas de enseñanza con sus colegas, hasta las organizaciones burocráticas de las escuelas que no ofrecen tiempos, espacios ni condiciones reales para el desarrollo de la investigación. A todo esto se le suma la ausencia de programas de formación que superen los tradicionales cursos de capacitación o corta duración, para dar paso a iniciativas permanentes orientadas a una formación del profesorado articulada entre las instituciones de educación superior dedicadas a la investigación y a las experiencias de los docentes en la escuela.

La comprensión por parte del profesorado de las características de las CSC y su correspondiente abordaje didáctico constituye otra dificultad importante, una vez que estas cuestiones abarcan un amplio espectro de conocimientos que deben articularse de manera coherente en la práctica, lo cual no resulta sencillo. No obstante, las investigaciones comentadas a lo largo de este artículo evidencian avances en la estructuración de propuestas microcurriculares del profesorado que materializan sus intencionalidades didácticas y que dan cuenta del abordaje de CSC en el aula. Tales diseños se construyen en un diálogo permanente del profesorado de las escuelas con profesores universitarios que investigan en el campo CTSA y que tienen el compromiso intelectual y social de tratar los problemas de la profesión docente de acuerdo con los escenarios escolares en los cuales actúa el profesorado.

Nuestras conclusiones coinciden con las consolidadas por otros estudios, como los realizados por Reis (2014) al apuntar el desafío de orientar la enseñanza de las ciencias hacia la acción sociopolítica responsable, que pueda incidir de alguna manera en el desarrollo democrático de nuestras sociedades, para dicha acción resulta fundamental la construcción de comunidades de práctica del profesorado que aprendan permanentemente al tratar temas controvertidos

de C&T. Asimismo, la experiencia de construir una programa de formación de profesores en la interfaz universidad-escuela fundamentado en la idea de asociaciones libres y en el desarrollo de un currículo abierto, flexible y contextual constituye un marco de referencia necesario para el abordaje de CSC en la formación del profesorado (Martínez y Parga, 2014).

Finalmente, las investigaciones descritas a lo largo de este artículo abarcan innovaciones didácticas en la formación del profesorado y en la enseñanza de las ciencias, ya que las

estrategias desarrolladas con un enfoque CTSa y con el abordaje de CSC ofrecen una alternativa a la enseñanza tradicional, gracias a la comprensión de conocimientos sociales, políticos, ambientales y éticos que se articulan a los conocimientos específicos de las ciencias. En el abordaje de CSC el nivel de controversia social y científico es significativo porque está articulado a investigaciones relevantes para la sociedad contemporánea y en consecuencia demanda una amplia formación del profesorado.

Referencias bibliográficas

- Acevedo, J. (1996). Cambiando la práctica docente en la enseñanza de las ciencias a través de CTS. *Revista Borrador*, 13, Recuperado de <http://www.campusoei.org/salactsi/acevedo2.htm>
- Aikenhead, G. (2005). Educación Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS): una buena idea comoquiera que se le llame. *Educación Química*, 16(2), 114-124.
- Auler, D. y Bazzo, W. (2001). Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional Brasileiro. *Ciência & Educação*, 7(1), 1-3.
- Berkowitz, M. y Simmons, P. (2003). Integrating science education and character education: The role of peer discussion. En Zeidler, D. (org). *The role of moral reasoning on socioscientific issues and discourse in science education* (pp. 117-138). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Cachapuz, A., Paixão, F., Lopes, B. y Guerra, C. (2008). Estado da arte da pesquisa em educação em Ciências: linhas de pesquisa e o caso "Ciência-Tecnologia-Sociedade". *Alexandria, Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 1(1), 27-49.
- Carson, R. (1969). *Primavera silenciosa*. 2 ed. São Paulo: Melhoramentos.
- Campos, A. (2007). *Pensamiento crítico: técnicas para su desarrollo*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.
- Duit, R. (2006). La investigación en la enseñanza de las ciencias: un requisito imprescindible para mejorar la práctica educativa. *Revista Mexicana de Investigación Educativa* 11(30), 741-770.
- Echeverría, J. (2003). *La revolución tecnocientífica*. Madrid: Fondo de Cultura Económica de España.
- Edwards, M., Gil, D., Vilches, A. y Praia J. (2004). La atención a la situación del mundo en la educación científica. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(1), 47-64.
- Ennis, R. A. (1987). Taxonomy of critical thinking dispositions and abilities. En Baron, J. y Sternberg, R. (Org.), *Teaching thinking skills* (pp. 9-26). New York: Freeman and Company.
- Fleck, L. (1986). *La génesis y el desarrollo de un hecho científico*. Traducción Luis Meana. Madrid: Alianza.

- Garriz, A. (1994). Ciencia-tecnología-sociedad: A diez años de iniciada la corriente. Recuperado de <http://www.campus.oei.org>
- Halpern, D. (1998). Teaching critical thinking for transfer across domains. *American Psychologist*, 53(4), 449-455.
- Halpern, D. (2006). *Critical Thinking Assessment Using Everyday Situations: Background and scoring standards (2° Report)*. Manuscrito inédito. Claremont, CA: Claremont McKenna College.
- Hurd, P. (1975). Science, technology and society: new goals for interdisciplinary science teaching. *The Science Teacher*, 42(2), 27-30.
- Kuhn, T. (2000). *La estructura de las revoluciones científicas*. Santafé de Bogotá, Fondo de Cultura Económica.
- López, J. (1998). Ciencia, tecnología y sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos. *Revista Iberoamericana de Educación*, 18, 41-68.
- Martínez, L. y Rojas, A. (2006). Estrategia didáctica con enfoque ciencia, tecnología, sociedad y ambiente, para la enseñanza de tópicos de bioquímica. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 19, 44-62.
- Martínez, L., Peña, D. y Villamil, Y. (2007). Relaciones ciencia, tecnología, sociedad y ambiente, a partir de casos simulados: una experiencia en la enseñanza de la química, *Ciência & Ensino*, Número especial. Recuperado de <http://www.ige.unicamp.br/ojs/index.php/cienciaeensino/index>
- Martínez, L., Cattuzzo, F. y Carvalho, W. (2009). Ensino de Ciências para cidadania a partir do desenvolvimento de habilidades de negociação em estudantes de Ensino Médio. En Caldeira, A. (Org.). *Ensino de ciências e matemática II: temas sobre a formação de conceitos* (pp. 269-287). São Paulo: Cultura Acadêmica. Recuperado de http://www.culturaacademica.com.br/titulo_view.asp?ID=29
- Martínez, L. (2012). *Questões sociocientíficas na prática docente: ideologia, autonomia e formação de professores*. São Paulo: Editora Unesp.
- Martínez, L., y Carvalho, W. (2011). Contribuições da abordagem de questões sociocientíficas à construção de novas compreensões sobre a perspectiva CTSA por parte de professores de Química em serviço. En: Caluzi, J., Recena, M. y Zuliani, S. (Org). *Ensino de ciências e matemática VI. Ensino de Química* (pp. 121-144). São Paulo: Cultura Acadêmica.
- Martínez, L. y Carvalho, W. (2012) Contribuições e dificuldades da abordagem de questões sociocientíficas na prática de professores de ciências. *Educação & Pesquisa*, 38(3), 727-741.
- Martínez, L. y Moreno, D. (2013). A formação crítica de professores no contexto da perspectiva: ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. En Chapani, D. y Silva, J. (Org). *Debates em Educação Científica* (pp. 33-44). São Paulo: Escrituras.

- Martínez, L., Parga, D., Gómez, D. y Rodríguez, B. (2013). *Informe final proyecto DQU 338-12 Cuestiones sociocientíficas en la formación de profesores: Discursos y enseñanza*. Bogotá: Centro de Investigaciones de la Universidad Pedagógica Nacional (CIUP).
- Martínez, L. y Parga, D. (2013a). *Discurso ético y ambiental sobre cuestiones sociocientíficas: Aportes a la formación del profesorado de ciencias*. Bogotá: UPN.
- Martínez, L. y Parga, D. (2013b). La emergencia las cuestiones sociocientíficas en el enfoque CTSA. *Góndola*, 8(1).
- Martínez, L., y Moreno, D. (2014). Perspectiva teórica e metodológica crítica para a formação de professores de ciências sob o enfoque CTSA. En: Nery, B., y Maldaner, O. (Org). *Formação de professores. Compreensões em novos programas e ações* (pp. 159-180). Ijuí: Ed. Unijuí.
- Martínez, L. y Villamizar, D. (2014). *Unidades didácticas sobre cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias: construcciones entre la escuela y la universidad*. Bogotá: Fondo Editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Martínez, L. y Parga, D. (coord). (2014). *Formación permanente de profesores en la interfaz universidad-escuela: currículo, fundamentos y roles. Una experiencia en construcción*. Bogotá: Fondo Editorial, Universidad Pedagógica Nacional.
- Membriela, P. (1995). Ciencia-tecnología-sociedad en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias experimentales. *Alambique*, 3, 7-11.
- Membriela, P. (1997). Una revisión del movimiento educativo ciencia-tecnología- sociedad. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(1), 51-57.
- Membriela, P. (2005). Reflexión desde la experiencia sobre la puesta en práctica de la orientación CTS en la enseñanza científica. *Educación Química*. 16(3), 404-409.
- Mion, R., Alves, J. y Carvalho, W. (2009). Implicações da relação entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente: subsídios para a formação de professores de Física. *Experiências em Ensino de Ciências*, 4(2), 47-59.
- Moreno, D. y Martínez, L. (2009). Argumentación en estudiantes de educación media y habilidad del profesor para su desarrollo: una discusión en el aula sobre implicaciones sociales y ambientales de la producción de etanol. *Nodos y Nudos*, 27(3), 30-42.
- Moreno, D., Lopes, N., Carvalho, W y Martinez, L. (2011). "A abordagem de uma questão socio-científica na educação de adultos". En Santos, W. y Auler, D. (Org). *CTS e Educação Científica: Desafios Tendências e Resultados de Pesquisa* (p. 347-371). Brasília: UnB.
- Nepote, J. (2011). *Científicos en el ring. Luchas, pleitos y peleas en la ciencia*. Buenos Aires: Siglo Veintiuno Editores.
- Pedretti, E. y Nazir, J. (2011). Currents in STSE education: Mapping a complex field, 40 years on. *Science Education*, 95(4), 601-626.
- Ratcliffe, M. y Grace, M. (2003). *Science education for citizenship: teaching socio-scientific issues*. Maidenhead: Open University Press.

- Reis, P. (2004). *Controvérsias sócio-científicas: discutir ou não discutir? percursos de aprendizagem na disciplina de ciências da Terra e da vida* (tesis doctoral). Recuperada de <http://pwp.netcabo.pt/PedroRochaReis/>
- Reis, P. (2014). Acción socio-política sobre cuestiones socio-científicas: reconstruyendo la formación docente y el currículo. *Uni-Pluri/versidad*, 14(2), 16-26.
- Ruiz, D., Martínez, L. y Parga, D. (2009). Creencias de los profesores de preescolar y primaria sobre ciencia, tecnología y sociedad, en el contexto de una institución rural. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 25, 41-61.
- Sadler, T. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of research in science teaching*, 41(5), 513-536.
- Sadler, T. y Zeidler, D., L. (2005). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 112-138.
- Santos, W., Mortimer, E. y Scott, P. (2001). A argumentação em discussões sócio-científicas: reflexões a partir de um estudo de caso. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1(1), 140-152.
- Santos, W. y Mortimer, E. (2002). Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio*, 2(2), 1-23.
- Solomon, J. (1995). El estudio de la tecnología en la educación. *Alambique*, 3, 13-18.
- Solbes, J. y Vilches, A. (2004). Papel de las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en la formación ciudadana. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 337 -348.
- Torres, N. y Martínez, L. (2011). Desarrollo de pensamiento crítico en estudiantes de Fisioterapia, a partir del estudio de las implicaciones sociocientíficas de los xenobióticos. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED* 29, 65-84.
- Zeidler, D., Sadler, T., Simmons, M. y Howes, E. (2005). Beyond STS: A research-based framework for socioscientific issues education. *Science & Education*, 89(3), 357-377.