

ENFOQUES EXPLÍCITOS *VERSUS* IMPLÍCITOS EN LA ENSEÑANZA DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

José Antonio Acevedo Díaz

E-mail: ja_acevedo@vodafone.es

[Recibido en Marzo de 2009, aceptado en Junio de 2009]

RESUMEN (Inglés)

En este artículo se analizan los principales enfoques usados en la educación científica para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. Dos enfoques generales pueden ser considerados: implícito y explícito-reflexivo. Se valora la eficacia relativa de ambos enfoques a partir de los resultados obtenidos de su puesta en práctica en la enseñanza de las ciencias, y se presta atención a los supuestos inherentes que subyacen en los mismos. El enfoque explícito-reflexivo se ha mostrado más eficaz que el enfoque implícito hasta ahora. Sin embargo, se precisa más conocimiento sobre la eficacia de ambos enfoques en contextos diferentes, por lo que todavía es necesario realizar más investigaciones sistemáticas sobre este asunto.

Palabras clave: Enseñanza de las ciencias, naturaleza de la ciencia, enfoque implícito, enfoque explícito y reflexivo.

“In many ways the state of science education and science education reform is exactly where it was 100 years ago.”

(Lederman, 1998)

INTRODUCCIÓN

En esta provocativa entradilla, Lederman se refiere en concreto a la naturaleza de la ciencia (NdC en adelante) como contenido esencial de la educación científica, el cual se viene invocando desde hace un siglo en EE.UU. (Central Association of Science and Mathematics Teachers, 1907, citado por Abd-El-Khalick y Lederman, 2000a; Klopfer, 1992; Lederman, 1992), aunque desde distintas perspectivas y con diferentes formas de articulación. Mucho después, durante la pasada década de los 90 y en la que ahora termina, la NdC ha sido destacada como objetivo clave del currículo de ciencia escolar (Jenkins, 1996; Rudolph, 2000) y componente principal de la alfabetización científica (Bybee, 1997; DeBoer, 2000; Driver *et al.*, 1996; Millar, 2006) en documentos de reforma de la educación científica elaborados en distintos países (McComas, Clough y Almazroa, 1998), e incluso se le está empezando a prestar alguna atención en las evaluaciones comparativas internacionales de la alfabetización científica como, por ejemplo, PISA 2006 (Acevedo, 2007; OECD, 2006, 2007). Tales documentos señalan con claridad que el profesorado no sólo debe enseñar ciencias de modo consistente

con los puntos de vista actuales sobre la ciencia y la actividad científica, sino que debe tener el propósito de enseñar a los estudiantes determinados aspectos de la NdC. Sin duda, estas exigencias implican una impresionante tarea, que resulta bastante incierta a la vez. Por ello, los expertos en didáctica de las ciencias están dedicando una atención renovada a la enseñanza de la NdC desde hace relativamente poco tiempo.

Conviene recordar que la NdC es un término que se refiere a una gran variedad de asuntos relacionados con la filosofía, la sociología y la historia de la ciencia (Adúriz, 2001; McComas, Clough y Almazroa, 1998; Vázquez *et al.*, 2001), respecto al que no hay una posición única en la educación científica (Adúriz, 2001; Alters, 1997a,b; Backhus y Thompson 2006; Hipkins, Barker y Bolstad, 2005; Scharmann y Smith, 2001). La NdC es un metaconocimiento sobre la ciencia que surge de las reflexiones interdisciplinarias realizadas por los especialistas en las disciplinas indicadas, así como por algunos científicos y expertos en didáctica de las ciencias (Acevedo *et al.* 2007a; Adúriz, 2001; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004). Para muchos autores de didáctica de las ciencias, la NdC se refiere de manera restringida a la epistemología de la ciencia y se dirige sobre todo a los valores y supuestos inherentes al conocimiento científico (Bartholomew, Osborne y Ratcliffe, 2004; Fernández *et al.*, 2002; Leach, Hind y Ryder, 2003; Lederman, 1992, 2006; Liu y Tsai, 2008; Osborne *et al.*, 2003; Sandoval, 2005; Sandoval y Morrison, 2003; Sandoval y Reiser, 2004; Smith y Scharmann, 1999; Tsai y Liu, 2005; entre otros). Por el contrario, para otros autores, la NdC abarca asuntos epistemológicos, sociológicos y psicológicos de la ciencia, de sus actividades y de las características del conocimiento que produce (Acevedo, 2008; Acevedo *et al.*, 2007a,b; Adúriz, 2001; Aikenhead, 2003; Allchin, 2004; Ogunniyi, 2007; Spector, Strong y Laporta, 1998; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004; Vázquez *et al.*, 2007a,b, 2008; entre otros).

Para los expertos que reducen el término NdC fundamentalmente a la epistemología de la ciencia, la NdC se refiere sobre todo a las características del conocimiento científico derivado de la investigación científica. Algunos consideran que el término "naturaleza de la ciencia", aunque está bien afianzado en la bibliografía especializada, puede dar lugar a cierta confusión y sugieren que el término "naturaleza del conocimiento científico" quizás sería más apropiado desde un punto de vista epistemológico (Lederman, 2006). En este sentido, se suelen indicar algunos rasgos básicos del conocimiento científico y de la ciencia en la bibliografía internacional, los cuales también han sido destacados en los principales documentos de reforma de la enseñanza de las ciencias en EE.UU. (AAAS, 1990, 1993; NRC, 1996; NSTA, 2000). Estas características subrayan que el conocimiento científico (i) es tentativo o provisional, (ii) empírico, (iii) subjetivo (cargado de teoría), (iv) resulta en parte de la inferencia o deducción, pero también de la imaginación y la creatividad de los científicos en la búsqueda de explicaciones, (v) requiere de una combinación de observaciones e inferencias o deducciones, (vi) está sometido a normas académicas de la comunidad científica que lo regula (sociología interna de la ciencia), y (vii) está incrustado en la sociedad y en la cultura, que influyen en él y se ven influidas por él (sociología externa de la ciencia). Además, hay que tener en cuenta (viii) las diferentes funciones epistemológicas de hipótesis, leyes y teorías científicas y (ix) el mito del método científico como un método singular y universal (Abd-El-Khalick, 1998;

Abd-El-Khalick, Waters y Le, 2008; Lederman, 1992, 1999; Matkins y Bell, 2007; entre otros). Las características apuntadas se relacionan entre sí (Acevedo, 2008). Por ejemplo, la provisionalidad del conocimiento científico proviene de la creación de ese conocimiento mediante observaciones empíricas y deducciones. Cada una de estas actividades está influida por la cultura y la sociedad donde se hace la ciencia, por el marco conceptual disponible y por la subjetividad personal de cada científico. Cuando se dispone de nuevos datos y se revisan los existentes, las deducciones hechas en un contexto particular pueden dar lugar a cambios en el conocimiento científico existente.

Los rasgos señalados configuran un consenso de lo que se considera adecuado que aprendan los estudiantes y enseñe el profesorado sobre NdC en la educación científica (Abd-El-Khalick y Akerson, 2009 in press; Abd-El-Khalick, Bell y Lederman, 1998; Abd-El-Khalick, Waters y Le, 2008; Akerson, Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Bell, Lederman y Abd-El-Khalick, 2000; Lederman *et al.*, 2002; Khishfe y Lederman, 2006; Lederman, 2006, 2007; Matkins y Bell, 2007; Matkins *et al.*, 2002; Smith *et al.*, 1997). Sin embargo, el listado no es completo y algunos investigadores añaden o quitan determinados aspectos (Acevedo *et al.*, 2007a; Bartholomew, Osborne y Ratcliffe, 2004; Fernández *et al.*, 2002; Hsu, 2007; Niaz, 2001; Osborne *et al.*, 2003; Ryan y Aikenhead, 1992; Scharmann y Smith, 2001; Smith y Scharmann, 1999; entre otros). Aunque existen diferentes versiones de una definición del término NdC, parece haber algún acuerdo entre los profesionales de didáctica de las ciencias y la comunidad internacional de científicos sobre el significado de la NdC en la actualidad (Bell, 2005; Eflin, Glennan y Reish, 1999; Smith *et al.*, 1997). El principal debate alrededor de este consenso se centra hoy en si el significado de la NdC debe limitarse a la inclusión de la epistemología de la ciencia en la enseñanza de las ciencias (Acevedo *et al.*, 2007b; Lederman, 2006; Osborne *et al.*, 2001, 2003) o los contenidos de NdC deberían ser ampliados con aspectos esenciales de la sociología interna y externa de la ciencia, así como de las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad (Abd-El-Khalick, Waters y Le, 2008; Acevedo *et al.*, 2007a; Allchin, 2004; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004; Vázquez *et al.*, 2007a,b, 2008).

Con el fin de mejorar la comprensión de los estudiantes –y de los profesores– sobre la NdC, la atención de los especialistas en didáctica de las ciencias se centró desde muy pronto en el desarrollo curricular y la puesta en práctica de la NdC en la enseñanza de las ciencias (Acevedo, 2008), un asunto bastante complejo por la cantidad de factores que pueden incidir en él, impidiendo, limitando o facilitando la enseñanza de la NdC según los casos (Acevedo, 2009). El enfoque empleado para el desarrollo de la enseñanza de la NdC en el aula es uno de esos factores.

Este estudio aborda los principales enfoques utilizados en la enseñanza de la NdC en la educación científica. En la sección siguiente, se planteará una clasificación de estos enfoques, se valorará su eficacia relativa a partir de los resultados que aparecen en la bibliografía especializada y se prestará atención especial a los supuestos que subyacen en los enfoques considerados.

DOS ENFOQUES GENERALES PARA LA ENSEÑANZA DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

Los enfoques didácticos para la enseñanza de la NdC pueden clasificarse en implícitos y explícitos de un modo general. Ambos enfoques han recibido apoyo en distintos documentos internacionales de diversas reformas de la enseñanza de las ciencias y en la bibliografía de didáctica de las ciencias desde hace varias décadas, con el propósito de mejorar la comprensión de profesores y estudiantes sobre la NdC (p.e., véanse para el enfoque implícito: Gabel, Rubba y Franz, 1977; Haukoos y Penick, 1983, 1985; Lawson, 1982; Rowe, 1974; Scharmann, 1990; Scharmann y Harris, 1992; Spears y Zollman 1977; y para el enfoque explícito: Akindehin, 1988; Billeh y Hasan, 1975; Carey y Stauss, 1968, 1970; Hodson, 1985; Jones, 1969; Kimball, 1967-68; Klopfer, 1964; Lavach, 1969; Ogunniyi, 1983; Robinson, 1965; Rutherford, 1964)[1].

1. Enfoque implícito para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia

El enfoque implícito sugiere que se puede conseguir una comprensión de la NdC de modo indirecto mediante una enseñanza basada en la adquisición de habilidades en los procesos de la ciencia, involucrando a los estudiantes en actividades de indagación científica. En los enfoques implícitos que proponen la enseñanza de destrezas en los procesos de la ciencia y actividades de indagación científica (Barufaldi, Bethel y Lamb, 1977; Riley, 1979), se asume que los estudiantes pueden llegar a conseguir un conocimiento del significado de la NdC mediante experiencias adecuadas con una metodología basada en "hacer ciencia" en la escuela ("*doing science*", en inglés) y sin necesidad de hacer referencias explícitas a aspectos de la NdC (Lawson, 1982; Rowe, 1974). Este tipo de enfoque implícito fue adoptado por una buena parte de los currículos de ciencia escolar durante los años 60 y 70 del siglo XX en EE.UU. e Inglaterra, como los estadounidenses *Physical Science Study Curriculum* (PSSC) y *Biological Sciences Curriculum Study* (BSCS) y diversos proyectos británicos de la fundación *Nuffield*. Sin embargo, la investigación ha venido mostrando con reiteración que un enfoque implícito de esta clase suele resultar poco eficaz para ayudar a los estudiantes a desarrollar concepciones más adecuadas sobre la NdC. Tal resultado no debería sorprender, pues resulta claro que involucrarse en actividades de indagación científica o aprender habilidades de los procesos de la ciencia no es lo mismo que aprender sobre NdC. Como señalan Khishfe y Abd-El-Khalick:

"Aprender a hacer cuidadosas observaciones implica conseguir una importante habilidad en un proceso de la ciencia. No obstante, el dominio de esta habilidad no conduce de manera automática a comprender que las observaciones están restringidas por la percepción y guiadas por esquemas conceptuales. Esta última comprensión pertenece al dominio de la NdC. Del mismo modo, el control de variables es un proceso de la ciencia esencial para realizar indagaciones científicas. Sin embargo, el aprendizaje y la práctica de esta habilidad no conllevan necesariamente un aprendizaje sobre la lógica de la experimentación científica, algo que también pertenece al ámbito de la NdC."

(Khishfe y Abd-El-Khalick, 2002, p. 573)

Así, Crumb (1965) y Trent (1965) informaron que el enfoque implícito basado en la indagación que proponía el proyecto PSSC no resultaba más efectivo que los currículos centrados en libros de texto tradicionales para mejorar el conocimiento de los

estudiantes sobre la NdC. Igual puede decirse de las evaluaciones que compararon diversas versiones del BSCS con cursos de biología o de ciencia basados en libros de texto más tradicionales (Jungwirth, 1970; Meichtry, 1992; Tamir, 1972). Otras investigaciones han mostrado también que este tipo de enfoque implícito no es eficaz en general para mejorar la comprensión de la NdC (Durkee, 1974; Haukoos y Penick, 1985; Riley, 1979; Spears y Zollman, 1977). En este sentido, es importante destacar que Meichtry concluye su estudio afirmando la necesidad de una *“representación explícita de todos los aspectos de la naturaleza de la ciencia en el contenido del currículo que se enseña y en la metodología de enseñanza usada por los profesores”* (Meichtry, 1992, p. 405).

A pesar de las pruebas en contra de este enfoque implícito, en la pasada década de los 90 todavía era posible encontrar partidarios de intentar la mejora del conocimiento de los estudiantes sobre la NdC de modo automático mediante actividades de indagación (p.e., Jelinek, 1998; McComas, 1993; Moss, Abrams y Kull, 1998; Ryder y Leach, 1999). No obstante, esos trabajos han mostrado más bien lo contrario; esto es, que no se producen cambios significativos en las creencias sobre la NdC de los estudiantes implicados en una enseñanza orientada por tal tipo de enfoque implícito. Por ejemplo, el estudio realizado por Moss, Abrams y Kull (1998) llega a la siguiente conclusión: *“la implicación simple de los estudiantes en proyectos relacionados con la ciencia no desarrolla necesariamente una mejor comprensión de la naturaleza de la ciencia”*.

2. Enfoque explícito para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia

Un enfoque alternativo al anterior es el explícito, que recomienda afrontar el objetivo de la mejora de las creencias sobre la NdC mediante *“la planificación en vez de esperar obtener un efecto como producto secundario”* de los enfoques implícitos en la enseñanza de las ciencias (Akindehin, 1988, p. 73).

Un tipo de enfoque explícito es el que orienta la enseñanza hacia diversos aspectos de la NdC utilizando distintos elementos de historia de la ciencia o, en menor grado, de filosofía de la ciencia. Este enfoque, recomendado por los *National Science Education Standards* (NRC, 1996) entre otros, sugiere que la incorporación de la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias puede servir para la mejora de la comprensión de los estudiantes sobre la NdC; es decir, se asume que los alumnos pueden percibir aspectos de la NdC en los episodios históricos y que, por lo tanto, el enfoque histórico puede tener un papel significativo en el aprendizaje de la NdC. Dicho enfoque parte de la antigua e intuitiva idea según la cual los cursos de historia de la ciencia y filosofía de la ciencia, disciplinas que se ocupan de la epistemología de la ciencia y su desarrollo, son los candidatos principales para intentar alcanzar una comprensión más adecuada de la NdC (Abimbola, 1983; Brush, 1969; Duschl, 1990; Loving, 1991; Matthews, 1994; Monk y Osborne, 1997; O'Brien y Korth, 1991; Wandersee J. H., 1992; entre otros muchos más). En esta línea, se ha usado un enfoque explícito junto con la enseñanza de la historia y la filosofía de la ciencia para ayudar a los profesores de ciencias a mejorar su conocimiento de la NdC (p.e., Jones, 1969; Ogunniyi, 1983). Así, por ejemplo, Billeh y Hasan (1975) propusieron una docena de lecturas de historia de la ciencia para que los profesores de ciencias en activo abordaran, entre otras

cuestiones, la naturaleza de las investigaciones científicas, las características del conocimiento científico y aspectos sociológicos de la ciencia.

Dos proyectos curriculares destacados se desarrollaron siguiendo este tipo de enfoque histórico en la enseñanza secundaria de los EE.UU. durante los años 60 y 70 del siglo XX: *History of Science Cases for High Schools* –HOSC– (Klopfer y Watson, 1957) y *Harvard Project Physics* –HPP– (Rutherford, Holton y Watson, 1970). Sin embargo, una revisión de las evaluaciones realizadas para incorporar la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias (p.e., Klopfer y Cooley, 1963; Welch y Walberg, 1972; Yager y Wick, 1966) muestra que las pruebas sobre la eficacia del enfoque histórico para la mejora del conocimiento de la NdC son poco concluyentes en el mejor de los casos. En efecto, los resultados de dos estudios muy amplios llevados a cabo por Klopfer y Cooley (1963) y Welch y Walberg (1972) para evaluar, respectivamente, la influencia del proyecto HOSC y del curso HPP en la comprensión de los estudiantes sobre la NdC son contradictorios. Mientras que Klopfer y Cooley informaron de cambios favorables en las concepciones de los estudiantes sobre la NdC, Welch y Walberg (véase también el trabajo de Yager y Wick, 1966) comunicaron que la enseñanza de las ciencias orientada por la historia de la ciencia fallaba a la hora de conseguir este objetivo.

Una investigación posterior de Solomon *et al.* (1992; Solomon, Duveen y Scot, 1994) presenta algunos resultados favorables a la aplicación de un enfoque histórico, aunque se atribuyen al efecto Hawthorne. Por otra parte, los autores también señalan que los estudiantes tienen cierto malestar con los puntos de vista de diversos escenarios históricos, no muestran empatía con las ideas del pasado y descartan las teorías antiguas como conocimiento erróneo. Además, afirman que muchos alumnos se encuentran incómodos con el papel de algunos científicos del pasado, sobre todo con el papel representado por los que saben que se equivocaron. Los alumnos tampoco son capaces de apreciar las condiciones sociales y el pensamiento de la época que orientaron el desarrollo de las ideas y las decisiones de esos científicos. Algo después, la tesis de doctorado de Abd-El-Khalick (1998) ha mostrado que los cursos específicos de historia y filosofía de la ciencia tienen un efecto bastante pequeño en la mejora de la comprensión sobre la NdC de estudiantes y profesores si esos cursos no van acompañados de suficientes actividades explícitas y reflexivas sobre la NdC (véase también Abd-El-Khalick y Lederman, 2000b).

En general, puede decirse que este enfoque explícito parece mostrarse relativamente algo más efectivo que uno implícito para ayudar a estudiantes y profesores a mejorar su comprensión de la NdC (Abd-El-Khalick, Bell y Lederman, 1998; Abd-El-Khalick y Khishfe, 2000; Abd-El-Khalick y Lederman, 2000b; Akerson, Akindehin, 1988; Billeh y Hasan, 1975; Carey y Stauss, 1968; Dagher *et al.*, 2004; Jones, 1969; Khishfe y Abd-El-Khalick, 2002; Lavach, 1969; Ogunniyi, 1983; Olstad, 1969; Ryder, Leach y Driver, 1999; entre otros). Otros investigadores también han empleado actividades de indagación científica junto a los elementos históricos señalados antes para mejorar las concepciones de la NdC (p.e., Akindehin, 1988; Bianchini y Colburn, 2000; Olstad, 1969; Shapiro, 1996).

No obstante, una comprensión más adecuada de la NdC puede conseguirse mejor mediante un enfoque explícito y reflexivo, que incluye la comprensión de algunos

aspectos esenciales de la NdC, debates y una reflexión dirigida a ayudar a los estudiantes y los profesores a comprender esos aspectos de la NdC. De este modo, se ha dado preeminencia a los elementos reflexivos dentro del enfoque explícito más recientemente. Así, Abd-El-Khalick (2001), Abd-El-Khalick, Bell y Lederman (1998) y Akerson, Abd-El-Khalick y Lederman (2000) han usado actividades de enseñanza explícita y reflexiva para promover concepciones más adecuadas sobre la NdC entre los profesores. En los dos últimos estudios citados, algunos aspectos de la NdC se introducen explícitamente a los profesores y se les proporcionan suficientes oportunidades estructuradas para reflexionar sobre esos aspectos en el contexto de las actividades de indagación científica en las que se implican o en el de los contenidos de ciencias que deben aprender, todo ello con el objetivo de articular mejor sus concepciones sobre diversos aspectos de la NdC y desarrollar un marco de la NdC más coherente. Actividades de este tipo también han sido propuestas en el ámbito de la formación del profesorado iberoamericano sobre la NdC desde una perspectiva esencialmente epistemológica (Adúriz, 2001, 2002a,b; Adúriz e Izquierdo, 2004; Adúriz, Izquierdo y Estany, 2002; Izquierdo, 2000).

Los resultados de diversas investigaciones realizadas en la década de los 90 y en los primeros años del siglo XXI, incluyendo varias con un diseño cuasi-experimental o un diseño de comparación de grupos con pre-test y post-test, han mostrado con bastante claridad que un enfoque explícito y reflexivo es mejor, en general, que uno implícito para ayudar a los estudiantes y los profesores a conectar sus experiencias de aprendizaje con determinados aspectos de la NdC y reflexionar meta-cognitivamente sobre la NdC, por lo que unos y otros pueden aprender estos aspectos de la NdC de un modo mucho más adecuado y eficaz (Abd-El-Khalick, 2001; Abd-El-Khalick y Akerson, 2004b; Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Abd-El-Khalick, Waters y Le, 2008; Akerson y Abd-El-Khalick, 2003; Akerson, Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Akerson, Hanson, y Cullen, 2007; Akerson y Hanuscin, 2007; Akerson y Volrich, 2006; Bell *et al.*, 2003; Bell, Lederman y Abd-El-Khalick, 1998, 2000; Duschl, 2000; Gess-Newsome, 2002; Khishfe, 2008; Khishfe y Abd-El-Khalick, 2002; Kim *et al.*, 2005; Lederman *et al.*, 2001; Matkins y Bell, 2007; Meichtry, 1992; Morrison, Raab e Ingram, 2009; Scharmann *et al.*, 2005; Schwartz *et al.*, 2002; Southerland, Johnston y Sowell, 2006; entre otros). Así mismo, la influencia de una formación adecuada en la adquisición de estrategias meta-cognitivas también parece ser bastante beneficiosa para la mejora de las concepciones sobre la NdC del profesorado y de los estudiantes, como han puesto de manifiesto algunos estudios recientes (Abd-El-Khalick y Akerson, 2004a, 2009 in press; Peters *et al.*, 2007; Scheid y Chin, 2009).

El término explícito es de naturaleza curricular, mientras que el término reflexivo tiene implicaciones para la enseñanza (Abd-El-Khalick y Akerson, 2009 in press). El primero destaca que la comprensión de la NdC es un objetivo de la enseñanza que debe ser planificado de manera deliberada y de la misma forma que la comprensión de las teorías científicas y otros contenidos conceptuales. El segundo hace referencia a que se debe proporcionar a los estudiantes suficientes oportunidades en el aula para analizar las actividades que realizan desde diversas perspectivas (p.e., un esquema de la NdC), conectar esas actividades con las que llevan a cabo otras personas (p.e., los científicos) y llegar a hacer generalizaciones sobre un dominio de conocimiento (p.e.,

la epistemología de la ciencia). La NdC es un esfuerzo reflexivo y los elementos de reflexión apuntados pretenden emular en cierto modo las actividades en que se ocupan historiadores, filósofos y sociólogos de la ciencia en su empeño por comprender el funcionamiento de la ciencia (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000a). De otra forma, un enfoque explícito y reflexivo debe resaltar el conocimiento de los estudiantes sobre ciertos aspectos de la NdC relacionados con las actividades de ciencias en las que se implican en el aula, así como la reflexión sobre esas actividades dentro de un esquema conceptual que abarque esos aspectos de la NdC.

El enfoque explícito y reflexivo no debe confundirse con una enseñanza transmisiva y directa de la NdC (Abd-El-Khalick, Waters y Le, 2008; Abd-El-Khalick y Akerson, 2009 in press). Tal enfoque no implica necesariamente enseñar a los estudiantes a repetir algunas generalidades de la NdC, sino que debe interpretarse como la aplicación de estrategias de enseñanza destinadas a hacer visible en el aula determinados aspectos de la NdC con una cuidadosa planificación, contenidos que se desarrollan con diversas actividades en contextos variados y potencialmente fructíferos, y la evaluación de los procesos seguidos y los resultados alcanzados (Acevedo, Vázquez y Manassero, 2002; Lederman *et al.*, 2001; Schwartz y Lederman, 2002). Estas estrategias pueden incluir, por ejemplo, el comienzo de la clase con una declaración expresa de los objetivos y la presentación de los nuevos materiales curriculares en pequeños pasos, seguidos de la realización de actividades prácticas por los estudiantes. También es imprescindible la ayuda del profesor para tomar conciencia y aplicar la comprensión de los supuestos subyacentes a las características, el desarrollo y la validación del conocimiento científico. El componente reflexivo puede llevarse a cabo, con frecuencia, mediante preguntas o indicaciones insertadas en las propias actividades de aprendizaje de la ciencia (Abd-El-Khalick, 2001; Khishfe y Abd-El-Khalick, 2002), así como por medio de actividades de síntesis, tales como redacciones escritas de las reflexiones hechas en las respuestas a cuestiones planteadas sobre la NdC (Abd-El-Khalick, 2005; Akerson y Abd-El-Khalick, 2003; Akerson, Abd-El-Khalick y Lederman, 2000).

Un enfoque explícito y reflexivo no invoca solamente elementos de historia y filosofía de la ciencia, ni tampoco excluye actividades de indagación científica. Por el contrario, la realización de actividades de indagación o, incluso, la participación en auténticas investigaciones dirigidas por el profesor son una parte integral de este enfoque (Abd-El-Khalick, 2001; Akerson, Hanson, y Cullen, 2007; Lederman *et al.*, 2002, 2003, 2004; Lederman y Lederman, 2004 bis, 2005; Schwartz y Crawford, 2004; Schwartz, Lederman y Crawford, 2000, 2004; Shapiro, 1996). También pueden ser apropiadas lecturas extraídas de la historia de la ciencia (Abd-El-Khalick, Waters y Le, 2008; Bybee, 1990; McComas, 2008). Si bien las lecturas de episodios históricos y las actividades de indagación científica o las investigaciones auténticas guiadas en las que se involucran los estudiantes pueden proporcionar un contexto muy fructífero para mejorar las creencias de los alumnos sobre la NdC, es necesario hacer hincapié en que estos procedimientos no son eficaces si no se proporciona a los estudiantes suficientes oportunidades para reflexionar de manera explícita sobre la NdC (Acevedo, 2008, 2009; Flick y Lederman, 2004; Hodson, 1992; Kim *et al.*, 2005). Con otras palabras, los alumnos deben implicarse en debates que les inviten a reflexionar metacognitivamente sobre lo que dicen y escriben durante el desarrollo de las actividades

de indagación y acerca de las implicaciones que las actividades realizadas tienen para el conocimiento resultante.

En resumen, los enfoques explícitos implican que determinados aspectos de la NdC deben abordarse de modo intencional y explícito en diversos contextos, tales como la historia y la filosofía de la ciencia, cuestiones tecnocientíficas controvertidas o prácticas de laboratorio, mediante una enseñanza basada en la indagación. De otra manera, los enfoques explícitos conllevan una enseñanza que permita la identificación de algunas de las principales características de la NdC en el propio contexto de aprendizaje de las ciencias y que, asimismo, incluya contenidos explícitos de NdC.

3. Supuestos subyacentes en ambos enfoques

Hay dos supuestos relacionados entre sí que subyacen en el compromiso mantenido por algunos investigadores con un enfoque implícito (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000a; Khishfe y Abd-El-Khalick, 2002). El primero es que la comprensión de la NdC se considera el resultado indirecto de un aprendizaje afectivo o emotivo, de naturaleza básicamente no cognitiva[2] e implícita (Barufaldi, Bethel y Lamb, 1977; Riley, 1979). Por contra, los investigadores que usan un enfoque explícito, parecen considerar que el desarrollo y la comprensión de la NdC es un contenido de aprendizaje de carácter esencialmente cognitivo[3], lo que se puede deducir a partir de algunos indicios en determinados casos como, por ejemplo, cuando se presentan al profesorado lecturas destinadas a abordar ciertos aspectos de la NdC con el fin de mejorar su comprensión de la NdC (Adúriz e Izquierdo, 2004; Akindehin, 1988; Billeh y Hasan, 1975; Carey Stauss, 1968, 1970; McComas, 2008; Olstad 1969) y, también, por la influencia positiva en la comprensión de diversos aspectos de la NdC de una formación específica destinada a la adquisición de estrategias meta-cognitivas (Abd-El-Khalick y Akerson, 2004a, 2009 in press; Peters *et al.*, 2007). En resumen, puesto que las intervenciones con un enfoque explícito parecen dar resultados mejores que las realizadas con un enfoque implícito, la comprensión de la NdC debería ser considerada más bien un contenido cognitivo de aprendizaje, que debería planificarse y enseñarse de manera explícita en vez de esperar que *“pueda ser asimilado por un tipo de proceso osmótico durante las actividades comunes de ciencias”* (Durkee, 1974, p. 352).

El segundo supuesto de un enfoque implícito es que el aprendizaje sobre la NdC puede obtenerse indirectamente de forma automática de la práctica escolar de los procesos científicos o de actividades de indagación sin más. Sin embargo, la investigación que ha adoptado un enfoque implícito ha proporcionado muy pocas pruebas de su eficacia en el aprendizaje de la NdC; más bien ha mostrado que es poco probable que los estudiantes puedan aprender aquello que no es enseñado a propósito y de manera intencional (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000a; Acevedo, Vázquez y Manassero, 2002; Khishfe y Abd-El-Khalick, 2002; Lederman, Wade y Bell, 1998; Meichtry, 1992; Sandoval y Morrison, 2003). Debe destacarse que con este supuesto se puede estar asumiendo en muchas ocasiones una correspondencia directa entre práctica científica y NdC, lo que supone una creencia muy ingenua. En efecto, la NdC es un meta-conocimiento que necesita un gran esfuerzo reflexivo, porque no puede olvidarse que las diversas concepciones construidas históricamente de la NdC son, en general, el

resultado de la contribución colectiva de historiadores, filósofos y sociólogos de la ciencia, científicos reconvertidos a filósofos o historiadores, y científicos reflexivos.

Por otro lado, es necesario insistir en que una secuencia de historia o filosofía de la ciencia no es por sí misma un enfoque explícito para intentar mejorar las concepciones de la NdC, ni tampoco una secuencia de enseñanza basada en los procesos de la ciencia o en actividades de indagación científica puede considerarse característica de un enfoque implícito. Por ejemplo, Russell (1981, p. 56) ha señalado que *“si se desea usar la historia de la ciencia para modificar la comprensión de la ciencia, se debe [...] trabajar con materiales [históricos] destinados a aclarar determinadas características de la ciencia”*. Así pues, una secuencia de enseñanza de la historia de la ciencia puede corresponder a un enfoque implícito si carece de alguna discusión sobre uno o más aspectos de la NdC y a un enfoque explícito si promueve el debate sobre algunos de esos aspectos (McComas, 2008). Del mismo modo, la implicación de los alumnos en actividades de indagación científica puede ser parte de un enfoque explícito si, como propone Shapiro (1996), los alumnos tienen suficientes oportunidades para reflexionar sobre sus experiencias con un esquema conceptual apropiado para explicar ciertos aspectos de la NdC.

En definitiva, las diferencias entre los enfoques implícitos y explícitos no son tanto un asunto del tipo de actividades usadas para promover la comprensión de la NdC, puesto que la enseñanza de la NdC debe enmarcarse en un contexto de contenidos y actividades de ciencias (Khishfe y Abd-El-Khalick, 2002; Matkins y Bell, 2007). La diferencia fundamental entre los dos enfoques descansa en la cantidad de instrumentos conceptuales que se proporciona a los estudiantes y a los profesores, como pueden ser determinados aspectos de la NdC, para permitirles pensar y reflexionar sobre las actividades en las que se involucran. En definitiva, las diferencias derivan sobre todo de los supuestos mencionados que subyacen en ambos enfoques.

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL ENFOQUE EXPLÍCITO-REFLEXIVO EN LA ENSEÑANZA DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA EN DIVERSOS CONTEXTOS

El enfoque explícito y reflexivo de enseñanza de la NdC se ha usado con diversos tipos de actividades y contextos donde se integran los contenidos de NdC. Los resultados indican que, en general, este tipo de enfoque permite mejorar las creencias sobre la NdC (véase la tabla 1). Sin embargo, la mayoría de los datos disponibles proceden de intervenciones emprendidas con profesores o maestros de ciencias en formación inicial, los cuales suelen ser mejores que las realizadas con estudiantes de secundaria.

En consecuencia, los estudios sobre la eficacia de un enfoque explícito y reflexivo con alumnos de diferentes niveles y en contextos de aprendizaje distintos –laboratorio, resolución de problemas, historia o filosofía de la ciencia, cuestiones tecnocientíficas controvertidas, entre otros– aún son insuficientes y deberían ser ampliados. En particular, se necesita investigar mucho más la influencia de un enfoque explícito y reflexivo en las creencias de los estudiantes más jóvenes sobre la NdC (Khishfe, 2008).

Así mismo, se necesita saber más sobre la eficacia relativa de los enfoques implícito y explícito en contextos diferentes; por ejemplo, si un enfoque implícito en un trabajo

de laboratorio es más o menos eficaz que un enfoque explícito en un estudio de caso histórico o en una actividad sobre un asunto tecnocientífico controvertido con interés social, o si tal vez pudiera ser más eficaz una combinación de ambos enfoques que cada uno de ellos por separado (Hanuscin, Pareja y Phillipson-Mower, 2005; Lederman, 2006; Moss, Abrams, y Robb, 2001; Ryder y Leach, 1999; Seker y Welch, 2005, 2006). En definitiva, es necesario investigar mucho más las posibilidades que tienen los dos enfoques en distintos contextos de aprendizaje e incluso la puesta en práctica de una combinación de ambos.

Contexto	Referencias	Mejora	Participantes
Indagación o investigación guiada	Abd-El-Khalick (2001) Abd-El-Khalick y Akerson (2004b) Akerson, Abd-El-Khalick y Lederman (2000) Akerson y Hanuscin (2003) Akerson y Hanuscin (2007) Carey <i>et al.</i> (1989) Kenyon y Reiser (2005) Khishfe (2008) Liu y Lederman (2002) Schwartz <i>et al.</i> (2002) Schwartz, Lederman y Crawford (2004)	Aceptable Elevada Notable Notable Notable Pequeña Pequeña Notable Pequeña Aceptable Elevada	Candidatos a profesores Candidatos a profesores Candidatos a profesores Candidatos a profesores Candidatos a profesores Estudiantes de grado 7 Estudiantes de grado 7 Estudiantes de grado 7 Estudiantes de grado 7 Candidatos a profesores Candidatos a profesores
Cursos de métodos de las ciencias	Abd-El-Khalick (2000) Abd-El-Khalick y Akerson (2004a, 2009 in press) Akerson y Abd-El-Khalick (2000) Akerson, Morrison y McDuffie (2006) Dickinson, Abd-El-Khalick y Lederman (1999) Gess-Newsome (2002) Hanuscin, Akerson y Phillipson-Mower (2006) Hanuscin, Pareja y Phillipson-Mower (2005)	Aceptable Notable Notable Notable Notable Aceptable Notable Aceptable	Candidatos a profesores Candidatos a profesores Candidatos a profesores Candidatos a profesores Candidatos a profesores Candidatos a profesores Ayudantes de enseñanza Candidatos a profesores
Historia de la ciencia	Akçay (2007) Akçay y Akçay (2007) Akçay, Akçay y Kuo (2008) Spellman y Oliver (2002)	Aceptable Aceptable Aceptable Pequeña	Candidatos a profesores Estudiantes y graduados univ. Candidatos a profesores Estudiantes de grado 9
Filosofía de la ciencia	Abd-El-Khalick (2005)	Notable	Candidatos a profesores
Cursos de ciencias	Khishfe y Abd-El-Khalick (2002)	Aceptable	Estudiantes de grado 6
Cuestiones tecnocientíficas controvertidas	Khishfe y Lederman (2006) Khishfe y Lederman (2007) Matkins y Bell (2007) Matkins <i>et al.</i> (2002)	Notable Variable* Notable Notable	Estudiantes de grado 9 Estudiantes de grados 9-10-11 Candidatos a profesores Candidatos a profesores

(*) Entre aceptable y notable, dependiendo del contexto.

Tabla 1.- Ejemplos de resultados obtenidos en investigaciones que usan un enfoque explícito y reflexivo en diversos contextos de la enseñanza de las ciencias.

A menudo se suele asumir como hipótesis que los alumnos aprenden mejor sobre la NdC si los contenidos de ésta se integran en los temas de ciencias habituales que si se enseñan de manera separada de éstos (Brickhouse *et al.*, 2000; Clough, 2003; Ryder, Leach y Driver, 1999; Schwartz, 2006). Por ejemplo, es posible que los estudiantes puedan aprender sobre la provisionalidad del conocimiento científico a la vez que aprenden algo de los modelos atómicos, o sobre las relaciones mutuas entre ciencia y

sociedad mientras aprenden acerca de la evolución de las especies. Sin embargo, todavía son escasas las investigaciones que han tratado a fondo este asunto en la práctica docente (Clough, 2001, 2003). Los pocos datos disponibles hasta hoy indican que con una enseñanza explícita y reflexiva de la NdC se pueden conseguir algunos resultados satisfactorios tanto si los contenidos de NdC se integran en determinados temas de ciencias (Khishfe y Abd-El-Khalick, 2002) como si se insertan actividades específicas de NdC en las lecciones de ciencias por separado de los demás contenidos (Leach, Hind y Ryder, 2003; Lederman y Abd-El-Khalick, 1998). Hasta ahora, no ha sido posible decantarse con claridad a favor de un método u otro (Khishfe y Lederman, 2006, 2007). Es preciso, pues, hacer más investigaciones sistemáticas que comparen la eficacia relativa de las dos metodologías indicadas e incluso de una combinación de ambas (Clough, 2003).

Como se ha afirmado más arriba, algunos estudios muy recientes han mostrado una influencia positiva en la comprensión de diversos aspectos de la NdC de una buena formación en estrategias meta-cognitivas (Abd-El-Khalick y Akerson, 2004a, 2009 in press; Peters *et al.*, 2007). No obstante, hace falta realizar más investigaciones para encontrar las estrategias meta-cognitivas más adecuadas con el fin de conseguir esa mejor comprensión de aspectos de la NdC y retenerlos con el paso del tiempo.

Por último, si la NdC se enseña integrada en otros temas de ciencias, la dificultad de éstos parece influir en gran medida en el aprendizaje de diversos aspectos de la NdC (Khishfe y Abd-El-Khalick, 2002; Khishfe y Lederman, 2007; Matkins y Bell, 2007). En tal caso, ¿debería quizás limitarse el contexto del contenido curricular para la enseñanza de la NdC a los temas de ciencias que sean relativamente accesibles a los estudiantes? Ésta también es una cuestión interesante a la que la investigación debe intentar dar una respuesta aclaratoria.

REFLEXIONES FINALES

Después de varias décadas de investigación sobre el tema, se dispone de ciertas evidencias respecto a que una enseñanza explícita y reflexiva de la NdC en contextos de aprendizaje diversos resulta más efectiva que una enseñanza implícita para mejorar la comprensión sobre la NdC de profesores y estudiantes. Por consiguiente, parece que no debería asumirse por mucho más tiempo que se pueda conseguir una adecuada comprensión de la NdC exclusivamente como resultado indirecto, mediante actividades de enseñanza basadas en destrezas en los procesos de la ciencia, indagación científica, historia de la ciencia, asuntos tecnocientíficos controvertidas con interés social, etc., sin incluir un tratamiento explícito de la NdC y, asimismo, actividades meta-cognitivas de reflexión sobre ella (Abd-El-Khalick y Akerson, 2004a, 2009 in press; Acevedo, 2009; Huang y Tsai, 2009; Peters *et al.*, 2007; Scheid y Chin, 2009).

Para ello, los alumnos han de reflexionar meta-cognitivamente sobre lo que hacen e implicarse en debates, por ejemplo, acerca de por qué las investigaciones pueden diseñarse de diferentes maneras. También deben discutir las hipótesis y supuestos inherentes a una investigación científica determinada, así como las implicaciones que tales hipótesis y supuestos tienen para los resultados que puede producir esa

investigación. Además, los estudiantes tienen que debatir sobre la ciencia como forma de actividad humana influida por la cultura, la política y la sociedad, así como sobre las implicaciones sociales del conocimiento que produce.

Los anteriores no son más que unos cuantos asuntos de relieve y, sin duda, podrían señalarse muchos más. Únicamente en este nivel de reflexión sobre la ciencia y el conocimiento científico los estudiantes podrán conseguir lo que está previsto en las reformas actuales de la enseñanza de las ciencias en muchos países del mundo. No obstante, la participación de los alumnos en este tipo de tareas complejas y exigentes implica el desarrollo y la utilización de capacidades y habilidades de nivel cognitivo elevado para superar los retos que plantean esas tareas, por lo que los estudiantes deben recibir ayudas educativas adecuadas y ser guiados por profesores bien formados y competentes para poder llevar a cabo esta importante y difícil labor (Flick, 2004; Flick y Lederman, 2004).

Según la incisiva crítica recogida en la entradilla de este artículo, hecha por Lederman (1998) a finales del siglo XX y mantenida repetidas veces en lo que va de éste (Lederman, 2004, 2006 y 2007), el estado de la educación científica y la reforma de la enseñanza de las ciencias no ha cambiado demasiado en algunos de los aspectos más esenciales de la enseñanza de la NdC desde hace cien años. Se saben más cosas, tal vez muchas más, pero se sigue fracasando a la hora de proporcionar a los estudiantes –y, por lo tanto, a los ciudadanos– uno de los más importantes elementos para la organización de los temas de ciencias: la NdC.

Todo esto sucede en EE.UU. [4],[5] y en otros países también, pero el problema quizás sea todavía más grave en España [6], donde la atención explícita que se le presta a diversos aspectos de la NdC en el currículo de ciencias normativo sigue siendo muy poca (Cañas, Martín-Díaz y Niedo, 2008), puesto que no suele ir mucho más allá de una declaración de buenas intenciones; atención explícita que es menor en el currículo de ciencias planificado en los centros (Banet, 2007) y muy probablemente aún sea mucho menor en el que se aplica en el aula realmente. A menos que los alumnos reciban una educación explícita y reflexiva sobre la NdC con actividades adecuadas, capaces de promover una necesaria meta-cognición, éstos continuarán aprendiendo los temas de ciencias fuera de contexto y, probablemente, las propuestas de reforma de la educación científica respecto a la enseñanza de la NdC no progresarán mucho más de lo que lo han hecho en el pasado. En ese caso, no habría más remedio que admitir que *“partiendo de la nada hemos conseguido alcanzar las más altas cotas de la miseria”*, tal y como ya sentenciara el genial Groucho Marx, cuyos pensamientos cargados de ironía constituyen hoy el mejor “marxismo” posible.

TERMINUS

“¡Cómo han pasado los años!
¡Cómo cambiaron las cosas!
... ¡Qué mundo tan diferente!
... ¡Las vueltas que dio la vida!”
(Bolero popular)

Cuando este artículo vea la luz en la *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* habré terminado mi servicio activo en educación después de 38 años (19 como profesor y 19 como inspector de educación), de los cuales también he dedicado al menos los últimos 30 a la reflexión, investigación e innovación en didáctica de las ciencias, de manera independiente, sin apenas apoyo institucional alguno, teniendo que superar muchas trabas casi siempre y habiéndome visto obligado a navegar contra corriente en más de una ocasión. A pesar de ello, ha sido una aventura apasionante para mí, en la que siempre he procurado ser fiel a la independencia de criterio, que considero un valor sacro. Uno es libre para cultivarlo, pero se paga el peaje más caro en el tránsito.

Y AGRADECIMIENTOS

Al margen de que sea capaz de publicar o no algún artículo más en el futuro, considero justo y necesario que exprese los siguientes agradecimientos aquí y ahora.

A Fátima Paixão, José María Oliva y Antonio García Carmona, amigos con los que he compartido sentimientos, afectos y emociones que van mucho más allá del interés por la didáctica de las ciencias. A Ángel Vázquez y María Antonia Manassero, queridos compañeros de viaje durante una década prodigiosa de intensa y fecunda colaboración en común. A Mariano Martín Gordillo, por los valores compartidos y los estimulantes encuentros mantenidos en las fronteras de los diferentes saberes. A Andoni Garritz, mi afable y generoso amigo del otro lado del Atlántico. A Nicolás Marín, por su fidelidad constante a la independencia de criterio y el aprecio mutuo. A Isabel Martins y sus colegas de la Universidad de Aveiro (Portugal), que siempre me trataron académicamente como si fuera uno de los suyos. A la OEI como institución y a Juan Carlos Toscano, Joaquín Asenjo y Óscar Macías en particular, por su amabilidad y el empeño puesto en la promoción de mis artículos en Iberoamérica desde el año 2001 hasta hoy. A todos aquellos de cuyas fuentes bebí, reflejados en las numerosas citas y referencias que siempre he hecho en mis artículos; con mi más profundo reconocimiento. A mis críticos, porque sus observaciones y comentarios me han servido unas veces para mejorar mis argumentos y otras para reafirmarme más en ellos. A los lectores de mis escritos, porque sin ellos no habría tenido sentido el gran esfuerzo realizado durante estos años. Y, más que a nadie, a mi esposa María del Carmen y a mi hija Pilar, las personas más importantes en mi vida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAAS, AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (1990). *Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.
- AAAS, AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
- ABD-EL-KHALICK, F. (1998). The influence of history of science course on students' conceptions of the nature of science. Unpublished doctoral dissertation. Oregon State University, Oregon.
- ABD-EL-KHALICK, F. (2000). Improving elementary teacher' conceptions of nature of science in the context of a science content course. En P. A. Rubba, J. A. Rye, P.

- F. Keig y W. J. Di Biase (Eds.), *Proceedings of the 2000 Annual International Conference of the Association for Science Teacher Education* (pp. 366-398). Pensacola, FL: ASTE.
- ABD-EL-KHALICK, F. (2001). Embedding nature of science instruction in preservice elementary science: abandoning scientism, but... *Journal of Science Teacher Education*, 12(3), 215-233.
- ABD-EL-KHALICK, F. (2005). Developing deeper understandings of nature of science: the impact of a philosophy of science course on preservice science teachers' views and instructional planning. *International Journal of Science Education*, 27(1), 15-42.
- ABD-EL-KHALICK, F. y AKERSON, V. L. (2004a). Enhancing preservice teachers' conceptions of nature of science: The impact of training in metacognitive strategies. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association (AERA). San Diego, CA.
- ABD-EL-KHALICK, F. y AKERSON, V. L. (2004b). Learning as conceptual change: factors mediating the development of preservice elementary teachers' views of nature of science. *Science Education*, 88(5), 785-810.
- ABD-EL-KHALICK, F. y AKERSON, V. (2009 in press). The influence of metacognitive training on preservice elementary teachers' conceptions of nature of science. *International Journal of Science Education*.
- ABD-EL-KHALICK, F., BELL, R. L. y LEDERMAN, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), 417-436.
- ABD-EL-KHALICK, F. y KHISHFE, R. (2000). Inquiry instruction and learning about nature of science: the need for an explicit reflective component. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association. New Orleans, LA.
- ABD-EL-KHALICK, F. y LEDERMAN, N. G. (2000a). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701.
- ABD-EL-KHALICK, F. y LEDERMAN, N. G. (2000b). The influence of history of science course on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1057-1095.
- ABD-EL-KHALICK, F., WAHBEH, N., WAIGHT, N. y ZEINEDDIN, A. (2009). A longitudinal analysis of the representations of nature of science in High School Biology and Physics textbooks. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Garden Grove, CA (April 17-21).
- ABD-EL-KHALICK, F., WATERS, M. y LE, A-P. (2008). Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(7), 835-855.

- ABIMBOLA, I. (1983). The relevance of the "new" philosophy of science for the science curriculum. *School Science and Mathematics*, 83(2), 181-193.
- ACEVEDO, J. A. (2007). Las actitudes relacionadas con la ciencia y la tecnología en el estudio PISA 2006. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(3), 394-416, <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>.
- ACEVEDO, J. A. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 134-169, <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>.
- ACEVEDO, J. A. (2009). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (II): una perspectiva. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(2), 164-189, <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>.
- ACEVEDO, J. A., VÁZQUEZ, A. y MANASSERO, M. A. (2002). El movimiento Ciencia, Tecnología y Sociedad y la enseñanza de las ciencias. En *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, <http://www.oei.es/salactsi/acevedo13.htm>. Versión en castellano del capítulo 1 del libro de Manassero, M. A., Vázquez, A. y Acevedo, J. A. (2001): *Avaluació dels temes de ciència, tecnologia i societat*. Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació i Cultura del Govern de les Illes Balears.
- ACEVEDO, J. A., VÁZQUEZ, A., MANASSERO, M. A. y ACEVEDO, P. (2007a). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), 42-66, <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>.
- ACEVEDO, J. A., VÁZQUEZ, A., MANASSERO, M. A. y ACEVEDO, P. (2007b). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: aspectos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(2), 202-225, <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>.
- ADÚRIZ, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias*. Tesis doctoral. Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona.
- ADÚRIZ, A. (2002a). Aprender sobre el pensamiento científico en el aula de ciencias: una propuesta para usar novelas policíacas. *Alambique*, 31, 105-111.
- ADÚRIZ, A. (2002b). Un modelo para introducir la naturaleza de la ciencia en la formación de los profesores de ciencias. *Revista Pensamiento Educativo*, 30, 315-330.
- ADÚRIZ, A. e IZQUIERDO, M. (2004). The discovery of radium as a "historical setting" to teach some ideas on the nature of science. En Metz, D. (Ed.), *7th International History, Philosophy, and Science Teaching Conference Proceedings* (pp. 12-19). Winnipeg: University of Winnipeg.
- ADÚRIZ, A., IZQUIERDO, M. y ESTANY, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.

- AIKENHEAD, G. S. (2003). Review of research on humanistic perspectives in science curricula. Paper presented at the 4th Conference of the European Science Education Research Association (ESERA), *Research and the quality of science education*. Noordwijkerhout, The Netherlands (August 19-23). En http://www.usask.ca/education/people/aikenhead/ESERA_2.pdf.
- AKÇAY, B. B. (2007). The influence of history of science course on pre-service science teachers' understanding of nature of science. Paper presented at the annual International Conference of the Association for Science Teacher Education. Clearwater Beach, FL (January 4-6).
- AKÇAY, B. B. y AKÇAY, H. (2007). Explicit/reflective approach to enhance pre-service science teachers' understanding of the nature of science concepts. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. New Orleans, LA (April 15-17).
- AKÇAY, H., AKÇAY, B. B. y KUO, P-C. (2008). Effectiveness of a history of science course experience in improving preservice science teachers' understanding of the nature of science. Paper presented at the XIII IOSTE Symposium, "The Use of Science and Technology Education for Peace and Sustainable Development" (pp. 1260-1265). Kuşadası, Turkey (September 21-26).
- AKERSON, V. L. y ABD-EL-KHALICK, F. (2000). Improving preservice elementary teacher' conceptions of nature of science using a conceptual change teaching approach. En P. A. Rubba, J. A. Rye, P. F. Keig y W. J. Di Biase (Eds.), *Proceedings of the 2000 Annual International Conference of the Association for Science Teacher Education* (pp. 337-365). Pensacola, FL: ASTE.
- AKERSON, V. L. y ABD-EL-KHALICK, F. (2003). Teaching elements of nature of science: a yearlong case study of a fourth-grade teacher. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(10), 1025-1049.
- AKERSON, V. L., ABD-EL-KHALICK, F. y LEDERMAN, N. G. (2000). Influence of a reflective explicit activity-based approach on elementary teachers' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), 295-317.
- AKERSON, V. L., HANSON, D. L. y CULLEN, T. A. (2007). The influence of guided inquiry and explicit instruction on K-6 teachers' views of nature of science. *Journal of Science Teacher Education*, 18(5), 751-772.
- AKERSON, V. L. y HANUSCIN, D. L. (2003). Primary teachers' abilities to teach via scientific inquiry while making elements of NOS explicit. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Philadelphia, PA.
- AKERSON, V. L. y HANUSCIN, D. L. (2007). Teaching nature of science through inquiry: results of a 3-year professional development program. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(5), 653-680.
- AKERSON, V. L., MORRISON, J. A. y McDUFFIE, A. R. (2006). One course is not enough: preservice elementary teachers' retention of improved views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(2), 194-213.

- AKERSON, V. L. y VOLRICH, M. L. (2006). Teaching nature of science explicitly in a first-grade internship setting. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(4), 377-394.
- AKINDEHIN, F. (1988). Effect of an instructional package on preservice science teachers' understanding of the nature of science and acquisition of science-related attitudes. *Science Education*, 72(1), 73-82.
- AKTAMIŞ, H. y TAŞKIN, B. C. (2008). The effect of the history of science on the ideas related to the nature of science. Paper presented at the XIII IOSTE Symposium, "The Use of Science and Technology Education for Peace and Sustainable Development" (pp. 1233-1239). Kuşadası, Turkey (September 21-26).
- ALLCHIN, D. (2004). Should the sociology of science be rated X? *Science Education*, 88(6), 934-946.
- ALSAMRANI, S. y MCCOMAS, W. F. (2009). The context, accuracy and frequency of inclusion of key nature of science concepts in current secondary level physics textbooks. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Garden Grove, CA (April 17-21).
- ALTERS, B. J. (1997a). Whose nature of science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(1), 39-55.
- ALTERS, B. J. (1997b). Nature of science: a diversity or uniformity of ideas? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(10), 1105-1108.
- BACKHUS, D. A. y THOMPSON, K. W. (2006). Addressing the nature of science in preservice science teacher preparation programs: science educator perceptions. *Journal of Science Teacher Education*, 17(1), 65-81.
- BANET, E. (2007). Finalidades de la educación científica en secundaria: opinión del profesorado sobre la situación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(1), 5-20.
- BARUFALDI, J. P., BETHEL, L. J. y LAMB, W. G. (1977). The effect of a science methods course on the philosophical view of science among elementary education majors. *Journal of Research in Science Teaching*, 14, 289-294.
- BARTHOLOMEW, H., OSBORNE, J. y RATCLIFFE, M. (2004). Teaching students ideas-about-science: five dimensions of effective practice. *Science Education*, 88(5), 655-682.
- BELL, R. L. (2005). The nature of science in instruction and learning. Paper presented at the annual International Conference of the Association for Science Teacher Education. Colorado Springs, CO.
- BELL, R. L., BLAIR, L. M., CRAWFORD, B. A. y LEDERMAN, N. G. (2003). Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students' understandings of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487-509.

- BELL, R. L., LEDERMAN, N. G. y ABD-EL-KHALICK, F. (1998). Implicit versus explicit nature of science instruction: an explicit response to Palmquist and Finley. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1057-1061.
- BELL, R. L., LEDERMAN, N. G. y ABD-EL-KHALICK, F. (2000). Developing and acting upon one's conception of the nature of science: a follow-up study. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 563-581.
- BIANCHINI, J. A. y COLBURN, A. (2000). Teaching the nature of science through inquiry to prospective elementary teachers: a tale of two researchers. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), 177-209.
- BILLEH, V. Y. y HASAN, O. E. (1975). Factors affecting teachers' gain in understanding the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 12(3), 209-219.
- BRICKHOUSE, N. W., DAGHER, Z. R., LETTS IV, W. J. y SHIPMAN, H. L. (2000). Diversity of students' views about evidence, theory, and the interface between science and religion in an astronomy course. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), 340-362.
- BRUSH, S. G. (1969). The role of the history in the teaching physics. *The Physics Teacher*, 7(5), 271-280.
- BYBEE, R. W. (1990). Teaching history and the nature of science in science courses: a rationale. *Science Education*, 75(1), 143-156.
- BYBEE, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: from purposes to practices*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- CAREY, L. R. y STAUSS, A. N. (1968). An analysis of the understanding of the nature of science by secondary school science teachers. *Science Education*, 52(4), 358-363.
- CAREY, R. L. y STAUSS, N. G. (1970). An analysis of experienced science teachers' understanding of the nature of science. *School Science and Mathematics*, 70(4), 366-376.
- CAREY, S., EVANS, R., HONDA, M., JAY, E. y UNGER, C. (1989). "An experiment is when you try it and see if it works": a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11(5), 514-529.
- CAÑAS, A., MARTÍN-DÍAZ, M^a J. y NIEDA, J. (2008). ¿Debería nuestro currículo adaptarse más a la competencia científica de PISA? *Alambique*, 57, 32-40.
- CENTRAL ASSOCIATION OF SCIENCE AND MATHEMATICS TEACHERS (1907). A consideration of the principles that should determine the courses in biology in the secondary schools. *School Science and Mathematics*, 7, 241-247.
- CLOUGH, M. P. (2001). Longitudinal understanding of the nature of science following a course emphasizing contextualized & decontextualized nature of science instruction. Paper presented at the Sixth International History, Philosophy & Science Teaching (IHPST) Conference. Denver, CO (November 7-11).

- CLOUGH, M. P. (2003). Explicit but insufficient: additional considerations for successful NOS instruction. Paper presented at the annual International Conference of the Association for Science Teacher Education. St. Louis, MO.
- CRAVEN III, J. A., HAND, B. y PRAIN, V. (2002). Assessing explicit and tacit conceptions of the nature of science among preservice elementary teachers. *International Journal of Science Education*, 24(8), 785-802.
- CRUMB, G. H. (1965). Understanding of science in high school physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 3(3), 246-250.
- DAGHER, Z. R., BRICKHOUSE, N. W., SHIPMAN, H. y LETTS, W. J. (2004). How some college students represent their understandings of the nature of scientific theories. *International Journal of Science Education*, 26(6), 735-755.
- DEBOER, G. E. (2000). Scientific literacy: another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 582-601.
- DICKINSON, V. L., ABD-EL-KHALICK, F. S. y LEDERMAN, N. G. (1999). Changing elementary teachers' views of the NOS: effective strategies for science methods courses. En P. Rubba y J. Rye (Eds.), *Proceedings of the 1999 Annual International Conference of the Association for Science Teacher Education* (pp. 673-703). Pensacola, FL: ASTE.
- DRIVER, R., LEACH, J., MILLAR, R. y SCOTT, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham, UK: Open University Press.
- DURKEE, P. (1974). An analysis of the appropriateness and utilization of TOUS with special reference to high-ability students studying physics. *Science Education*, 58(3), 343-356.
- DUSCHL, R. A. (2000). Making the nature of science explicit. En R. Millar, J. Leach y J. Osborne (Eds.), *Improving science education: the contribution for research* (pp. 187-206). Buckingham: Open University Press.
- EFLIN, J. T., GLENNAN, S. y REISCH, R. (1999). The nature of science: a perspective from the philosophy of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 107-116.
- FERNÁNDEZ, I., GIL-PÉREZ, D., CARRASCOSA, J., CACHAPUZ, A. y PRAIA, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.
- FLICK, L. (2004). Developing understanding of scientific inquiry in secondary students. En L. Flick y N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: implications for teaching, learning, and teacher education* (pp. 157-172). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- FLICK, L. y LEDERMAN, N. G. (Eds.) (2004). Introduction. En L. Flick y N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: implications for teaching, learning, and teacher education* (pp. ix-xvii). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

- GABEL, D. L., RUBBA, P. A. y FRANZ, J. R. (1977). The effect of early teaching and training experiences on physics achievement, attitude toward science and science teaching, and process skill proficiency. *Science Education*, 61, 503-511.
- GESS-NEWSOME, J. (2002). The use and impact of explicit instruction about the nature of science and science inquiry in an elementary science methods course. *Science & Education*, 11(1), 55-67.
- GERICKE, N. y HAGBERG, M. (2008). Textbook authors' intentions and ideas when writing upper secondary biology textbooks in relation to nature of science. Paper presented at the 9th Nordic Research Symposium on Science Education. Reykjavik, Iceland, (11-15 Jun).
- HANUSCIN, D. L., AKERSON, V. L. y PHILLIPSON-MOWER, T. (2006). Integrating nature of science instruction into a physical science content course for preservice elementary teachers: NOS views of teaching assistants. *Science Education*, 90(5), 912-935.
- HAUKOOS, G. D. y PENICK, J. E. (1983). The influence of classroom climate on science process and content achievement of community college students. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 629-637.
- HAUKOOS, G. D. y PENICK, J. E. (1985). The effects of classroom climate on college science students: a replication study. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(2), 163-168.
- HIPKINS, R., BARKER, M. y BOLSTAD, R. (2005). Teaching the "nature of science": modest adaptations or radical reconceptions? *International Journal of Science Education*, 27(1), 243-254.
- HODSON, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, 12, 25-57.
- HODSON, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541-562.
- HSU, L-R. (2007). Taiwan experts' perspectives on what "nature of science" should be taught in elementary and secondary schools. Paper presented at the Ninth International History, Philosophy & Science Teaching (IHPST). Calgary, Canadá (June 24-28).
- HUANG, C-M. y TSAI, C-C. (2009). The relationship of pupils' epistemology, metacognition, cognitive structures and scientific achievement: a path analysis study. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Garden Grove, CA (April 17-21).
- IZQUIERDO, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En J. Perales y P. Cañal (Dir.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 35-64). Alcoy: Marfil.
- JELINEK, D. J. (1998). Student perceptions of the nature of science and attitudes towards science education in an experiential science program. Paper presented

- at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. San Diego, CA.
- JENKINS, E. W. (1996). The "nature of science" as a curriculum component. *Journal of Curriculum Studies*, 28(2), 137-150.
- JONES, K. M. (1969). The attainment of understandings about the scientific enterprise, scientists, and the aims and methods of science by students in a college physical science course. *Journal of Research in Science Teaching*, 6(1), 47-49.
- JUNGWIRTH, E. (1970). An evaluation of the attained development of the intellectual skills needed for understanding of the nature of scientific inquiry by BSCS pupils in Israel. *Journal of Research in Science Teaching*, 7, 141-151.
- KENYON, L. y REISER, B. J. (2005). Students' epistemologies of science and their influence on inquiry practices. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Dallas, TX (April 4 - April 7).
- KHISHFE, R. (2008). The development of seventh graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(4), 470-496.
- KHISHFE, R. y ABD-EL-KHALICK, F. (2002). Influence of explicit reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-581.
- KHISHFE, R. y LEDERMAN, N. G. (2006). Teaching nature of science within a controversial topic: integrated versus nonintegrated. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(4), 395-418.
- KHISHFE, R. y LEDERMAN, N. G. (2007). Relationship between instructional context and views of nature of science. *International Journal of Science Education*, 29(8), 939-961.
- KIM, B. S., KO, E. K., LEDERMAN, N. G. y LEDERMAN, J. S. (2005). A developmental continuum of pedagogical content knowledge for nature of science instruction. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Dallas, TX (April 4-7).
- KIMBALL, M. E. (1967-1968). Understanding the nature of science: a comparison of scientists and science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 5, 110-120.
- KLOPFER, L. E. (1964). The use of case histories in science teaching. *School Science and Mathematics*, 64, 660-666.
- KLOPFER, L. E. (1992). An historical perspective on the history and nature of science in school science programs. En R. Bybee, J. D. Ellis, J. R. Giese y L. Parisi (Eds.), *Teaching about the history and nature of science and technology* (pp. 105-130). Colorado Springs, CO: Background Papers, BSCS/SSEC.

- KLOPFER, L. E. y COOLEY, W. W. (1963). "The History of Science Cases" for high school in the development of student understanding of science and scientists. *Journal of Research in Science Teaching*, 1(1), 33-47.
- KLOPFER, L. E. y WATSON, F. G. (1957). Historical materials and high school science teaching. *The Science Teacher*, 24(6), 264-293.
- LAVACH, J. F. (1969). Organization and evaluation of an in-service program in the history of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 6, 166-170.
- LAWSON, A. E. (1982). The nature of advanced reasoning and science instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 743-760.
- LEACH, J., HIND, A. y RYDER, J. (2003). Designing and evaluating short teaching interventions about the epistemology of science in high school classrooms. *Science Education*, 87(6), 832-848.
- LEDERMAN, J. S. y LEDERMAN, N. G. (2004). Early elementary students' and teachers' understandings of nature of science and scientific inquiry. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Vancouver, Canadá (31 March-3 April).
- LEDERMAN, J. S. y LEDERMAN, N. G. (2005). Developing and assessing elementary teachers' and students' understandings of nature of science and scientific inquiry. Paper Presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Dallas, TX.
- LEDERMAN, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- LEDERMAN, N. G. (1998). The state of science education: subject matter without context. *Electronic Journal of Science Education*, 3(2), 1-12, <http://unr.edu/homepage/crowther/ejse/ejsev3n2.html>.
- 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), 916-929.
- LEDERMAN, N. G. (2004). Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. En Flick, L. B. y Lederman, N. G. (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: implications for teaching, learning, and teacher education* (pp. 301-317). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- LEDERMAN, N. G. (2006). Research on nature of science: reflections on the past, anticipations of the future. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 7(1), <http://www.ied.edu.hk/apfslt/>.
- LEDERMAN, N. G. (2007). Nature of science: past, present, and future. En Abell, S. K. y Lederman, N. G. (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- LEDERMAN, N. G. y ABD-EL-KHALICK, F. (1998). Avoiding de-natured science: activities that promote understandings of the nature of science. En W.

- McComas (Ed.), *The nature of science in science education: rationales and strategies* (pp. 83-126). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- LEDERMAN, N. G., ABD-EL-KHALICK, F., BELL, R. L. y SCHWARTZ, R. (2002). Views of Nature of Science questionnaire: towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- LEDERMAN, N. G. y LEDERMAN, J. S. (2004). Project ICAN: a professional development project to promote teachers' and students knowledge of nature of science and scientific inquiry. En A. Buffler y R. C. Laugksch (Eds.), *Proceedings of the 12th Annual Conference of the Southern African Association for Research in Mathematics, Science and Technology Education*. Durban: SAARMSTE.
- LEDERMAN, N. G., LEDERMAN, J. S., KHISHFE, R., DRUGER, E., GNOFFO, G. y TANTOCO, C. (2003). Project ICAN: a multi-layered model of professional development. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Philadelphia, PA.
- LEDERMAN, N. G., SCHWARTZ, R., ABD-EL-KHALICK, F. y BELL, R. F. (2001). Pre-service teachers' understanding and teaching of the nature of science: an intervention study. *Canadian Journal of Science, Mathematics, and Technology Education*, 1(2), 135-160.
- LEDERMAN, N. G., SCHWARTZ, R., LEDERMAN, J. S., MATTHEWS, L. y KHISHFE, R. (2002). Project ICAN: a teacher enhancement project to promote teachers' and students' knowledge of scientific inquiry and nature of science. Symposium presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans, LA (April 15-17).
- LEDERMAN, N. G., WADE, P. D. y BELL, R. L. (1998). Assessing understanding of the nature of science: a historical perspective. *Science & Education*, 7(6), 595-615.
- LEE, Y. H. y CHIAPPETTA, E. L. (2009). How do the high school biology textbooks introduce the nature of science? Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Garden Grove, CA (April 17-21).
- LIU, S-Y. y LEDERMAN, N. G. (2002). Taiwanese gifted students' views of nature of science. *School Science and Mathematics*, 102(3), 114-123.
- LIU, S-Y. y TSAI, C-C. (2008). Differences in the scientific epistemological views of undergraduate students. *International Journal of Science Education*, 30(8), 1055-1073.
- LOVING, C. C. (1991). The scientific theory profile: a philosophy of science model for science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 823-838.
- MATKINS, J. J. y BELL, R. L. (2007). Awakening the scientist inside: global climate change and the nature of science in an elementary science methods course. *Journal of Science Teacher Education*, 18(2), 137-163.

- MATKINS, J. J., BELL, R. L., IRVING, K. y McNALL, R. (2002). Impacts of contextual and explicit instruction on preservice elementary teachers' understandings of the nature of science. En P. A. Rubba, J. A. Rye, W. J. Di Biase y B. A. Crawford (Eds.), *Proceedings of the 2002 annual International Conference of the Association for Science Teacher Education* (pp. 456-481). Pensacola, FL: ASTE.
- MATTHEWS, M. R. (1994). *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge.
- MCCOMAS, W. F. (1993). The effects of an intensive summer laboratory internship on secondary students' understanding of the NOS as measured by the test on understanding of science (TOUS). Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Atlanta, GA.
- MCCOMAS, W. F. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, 17(2-3), 249-263.
- MCCOMAS, W. F., CLOUGH, M. P. y ALMAZROA, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. *Science & Education*, 7(6), 511-532.
- MCCOMAS, W. F., LEE, C. K. y SWEENEY, S. J. (2009). A critical review of current U.S. State Science Standards with respect to the inclusion of elements of the nature of science. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Garden Grove, CA (April 17-21).
- MEC-IE (INSTITUTO DE EVALUACIÓN) (2007). *PISA 2006. Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos de la OCDE. Informe español*. Madrid: MEC.
- MEICHTRY, Y. J. (1992). Influencing student understanding of the nature of science: data from a case of curriculum development. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 389-407.
- MILLAR, R. (2006). Twenty first century science: insights from the design and implementation of a scientific literacy approach in school science. *International Journal of Science Education*, 28(13), 1499-1521.
- MONK, M. y OSBORNE, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81(4), 405-424.
- MORRISON, J. A., RAAB, F. y INGRAM, D. (2009). Factors influencing elementary and secondary teachers' views on the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(4), 384-403.
- MOSS, D. M., ABRAMS, E. D. y KULL, J. R. (1998). Describing students' conceptions of the nature of science over an entire school years. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. San Diego, CA.
- MOSS, D. M., ABRAMS, E. D. y ROBB, J. (2001). Examining student conceptions of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 23(8), 771-790.

- NIAZ, M. (2001). Understanding nature of science as progressive transitions in heuristic principles. *Science Education*, 85(6), 684-690.
- NRC, NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards*. National Washington, DC: Academic Press.
- NSTA, NATIONAL SCIENCE TEACHERS ASSOCIATION (2000). *NSTA position statement: the nature of science*. NSTA Document.
- O'BRIEN, G. E. y KORTH, W. W. (1991). Teachers' self-examination of their understanding of the nature of science: a history and philosophy course responsive to science teachers' needs. *Journal of Science Teacher Education*, 2(4), 94-100.
- OECD (2006). *Assessing scientific, reading and mathematical literacy: a framework for PISA 2006*. París: OECD. Traducción castellana (2006), *Evaluación de la competencia científica, lectora y matemática: un marco teórico para PISA 2006*. Madrid: INECSE.
- OECD (2007). *PISA 2006. Science competencies for tomorrow's world*. París: OECD. Traducción castellana (2008), *Informe PISA 2006. Competencias científicas para el mundo del mañana*. Madrid: Santillana Educación.
- OGUNNIYI, M. B. (1983). Relative effects of a history/philosophy of science course on student teachers' performance on two models of science. *Research in Science & Technological Education*, 1(2), 193-199.
- OGUNNIYI, M. M. (2007). Effectiveness of a discursive/argumentation-based history, philosophy and sociology of science program in enhancing teachers' conceptions of the nature of science. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. New Orleans, LA (April 15-17).
- OLSTAD, R. G. (1969). The effect of science teaching methods on the understanding of science. *Science Education*, 53(1), 9-11.
- OSBORNE, J., COLLINS, S., RATCLIFFE, M., MILLAR, R. y DUSCHL, R. (2003). What "ideas-about-science" should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.
- OSBORNE, J., RATCLIFFE, M., COLLINS, S., MILLAR, R. y DUSCHL, R. (2001). *What should we teach about science: a Delphi study*. Evidence-based practice in science education (EPSE) Report, School of Education. London: King's College.
- PETERS, E. E., KITSANTAS, A., BAEK, J. Y. y BANNAN-RITLAND, B. (2007). The effect of nature of science metacognitive prompts on science students' content knowledge and nature of science knowledge, metacognition, and self-regulatory efficacy. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. New Orleans, LA (April 15-17).
- PUENTE, J. (2008). PISA 2006: resultados españoles en ciencias. *Alambique*, 57, 12-22.

- RILEY, J. P. II (1979). The influence of hands-on science process training on preservice teachers' acquisition of process skills and attitude toward science and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 16(5), 373-384.
- ROBINSON, J. T. (1965). Science teaching and the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 3(1), 37-50. Reproducido en *Science & Education*, 7(6), 635-642, 1998.
- ROWE, M. B. (1974). A humanistic intent: the program of preservice elementary education at the University of Florida. *Science Education*, 58(3), 369-376.
- RUDOLPH, J. L. (2000). Reconsidering the "nature of science" as a curriculum component. *Journal of Curriculum Studies*, 32(3), 403-419.
- RUSSELL, T. L. (1981). What history of science, how much, and why? *Science Education*, 65(1), 51-64.
- RUTHERFORD, F. J. (1964). The role of inquiry in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 2(1), 80-84.
- RUTHERFORD, F. J., HOLTON, G. y WATSON, F. (1970). *The project physics course: text*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- RYAN, A. G. y AIKENHEAD, G. S. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. *Science Education*, 76(6), 559-580.
- RYDER, J. y LEACH, J. (1999). University science students' experiences of investigative project work and their images of science. *International Journal of Science Education*, 21(9), 945-946.
- RYDER, J., LEACH, J. y DRIVER, R. (1999). Undergraduate science students' images of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(2), 201-220.
- SANDOVAL, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89(4), 634-656.
- SANDOVAL, W. A. y MORRISON, K. (2003). High school students' ideas about theories and theory change after a biological inquiry unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(4), 369-392.
- SANDOVAL, W. A. y REISER, B. J. (2004). Explanation-driven inquiry: integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88(3), 345-372.
- SCHARMANN, L. C. (1990). Enhancing the understanding of the premises of evolutionary theory: the influence of diversified instructional strategy. *School Science and Mathematics*, 90(2), 91-100.
- SCHARMANN, L. C. y HARRIS, W. M. JR. (1992). Teaching evolution: understanding and applying the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 375-388.
- SCHARMANN, L. C. y SMITH, M. U. (2001). Further thoughts on defining versus describing the nature of science: a response to Niaz. *Science Education*, 85(6), 691-693.

- SCHARMANN, L. C., SMITH, M. U., JAMES, M. C. y JENSEN, M. (2005). Explicit reflective nature of science instruction: evolution, intelligent design, and umbrellalogy. *Journal of Science Teaching Education*, 16(1), 27-41.
- SCHEID, N. M. y CHIN, P. (2009). Metacognitive Underpinnings of "Nature of Science" and Implications for Science Education. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Garden Grove, CA (April 17-21).
- SCHWARTZ, R. (2006). Embedding NOS instruction and assessment into an undergraduate biology course. Paper presented at the annual International Conference of the Association for Science Teacher Education. Portland, OR (January 12-14).
- SCHWARTZ, R. y CRAWFORD, B. A. (2004). Authentic scientific inquiry as context for teaching nature of science: identifying critical elements for success. En Flick, L. B. y Lederman, N. G. (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: implications for teaching, learning, and teacher education* (pp. 331-355). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- SCHWARTZ, R. y LEDERMAN, N. G. (2002). "It's the nature of the beast": the influence of knowledge and intentions on learning and teaching nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(3), 205-236.
- SCHWARTZ, R., LEDERMAN, N. G. y CRAWFORD, B. A. (2000). Making connections between the nature of science and scientific inquiry: a science research internship for preservice teachers. Paper presented at the annual International Conference of the Association for Science Teacher Education. Akron, OH (January 6-9).
- SCHWARTZ, R., LEDERMAN, N. G. y CRAWFORD, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: an explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88(4), 610-645.
- SCHWARTZ, R., LEDERMAN, N. G., KHISHFE, R., LEDERMAN, J. S., MATTHEWS, L. y LIU, S-Y. (2002). Explicit/reflective instructional attention to nature of science and scientific inquiry: impact on student learning. En P. A. Rubba, J. A. Rye, W. J. Di Biase y B. A. Crawford (Eds.), *Proceedings of the 2002 annual International Conference of the Association for Science Teacher Education* (pp. 646-667). Pensacola, FL: ASTE.
- SEKER, H. y WELSH, L. C. (2005). The comparison of explicit and implicit ways of using history of science for student understanding of the nature of science. Paper presented at the Eighth International History, Philosophy & Science Teaching (IHPST) Conference, Leeds, UK (July 15-18).
- SEKER, H. y WELSH, L. C. (2006). The use of history of mechanics in teaching motion and force units. *Science & Education*, 15(1), 55-89.

- SHAPIRO, B. L. (1996). A case study of change in elementary student teacher thinking during an independent investigation in science. Learning about the "face of science that does not yet know". *Science Education*, 80(5), 535-560.
- SMITH, M. U., LEDERMAN, N. G., BELL, R. L., McCOMAS, W. F. y CLOUGH, M. P. (1997). How great is the disagreement about the nature of science: a response to Alters. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(10), 1101-1103.
- SMITH, M. U. y SCHARMANN, L. C. (1999). Defining versus describing the nature of science: a pragmatic analysis of classroom teachers and science education. *Science Education*, 83(4), 493-509.
- SOLOMON, J., DUVEEN, J. y SCOT, L. (1994). Pupils' images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, 16(3), 361-373.
- SOLOMON, J., DUVEEN, J., SCOT, L. y MCCARTHY, S. (1992). Teaching about the nature of science through history: action research in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 409-421.
- SOUTHERLAND, S. A., JOHNSTON, A. y SOWELL, S. (2006). Describing teachers' conceptual ecologies for the nature of science. *Science Education*, 90(5), 874-906.
- SPEARS, J. y ZOLLMAN, D. (1977). The influence of structured versus unstructured laboratory on students' understanding the process of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 14(1), 33-38.
- SPECTOR, B., STRONG, P. y LAPORTA, T. (1998). Teaching the nature of science as an element of science, technology and society. En W. F. McComas. (Ed.), *The nature of science in science education: rationales and strategies* (pp. 267-276). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- SPELLMAN, J. E. y OLIVER, J. S. (2002). The nature and history of science in science in 9th grade physical science. En P. A. Rubba, J. A. Rye, W. J. Di Biase y B. A. Crawford (Eds.), *Proceedings of the 2002 annual International Conference of the Association for Science Teacher Education* (pp. 976-1006). Pensacola, FL: ASTE.
- TAMIR, P. (1972). Understanding the process of science by students exposed to different science curricula in Israel. *Journal of Research in Science Teaching*, 9, 239-245.
- TRENT, J. (1965). The attainment of the concept "understanding science" using contrasting physics courses. *Journal of Research in Science Teaching*, 3(3), 224-229.
- TSAI, C-C. y LIU, S-Y. (2005). Developing a multi-dimensional instrument for assessing students' epistemological views toward science. *International Journal of Science Education*, 27(13), 1621-1638.
- VÁZQUEZ, A., ACEVEDO, J. A. y MANASSERO, M. A. (2004). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: evidencias e implicaciones para su enseñanza. *Revista*

Iberoamericana de Educación, edición electrónica,
<http://www.rieoei.org/deloslectores/702Vazquez.PDF>.

- VÁZQUEZ, A., ACEVEDO, J. A., MANASSERO, M. A. y ACEVEDO, P. (2001). Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia. *Argumentos de Razón Técnica*, 4, 135-176. Versión digital en *Sala de Lecturas CTS+I de la OEI*, 2003, <http://www.oei.es/salactsi/acevedo20.htm>.
- VÁZQUEZ, A., MANASSERO, M. A., ACEVEDO, J. A. y ACEVEDO, P. (2007a). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la ciencia y la tecnología en la sociedad. *Educación Química*, 18(1), 38-55.
- VÁZQUEZ, A., MANASSERO, M. A., ACEVEDO, J. A. y ACEVEDO, P. (2007b). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la comunidad tecnocientífica. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 331-363, <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.
- VÁZQUEZ, A., MANASSERO, M. A., ACEVEDO, J. A. y ACEVEDO, P. (2008). Consensos sobre a natureza da ciência: a ciência e a tecnologia na sociedade. *Química Nova na Escola*, 27, 34-50.
- WANDERSEE, J. H. (1992). The historicity of cognition: implications for science education research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 423-434.
- WELCH, W. W. y WALBERG, H. J. (1972). A national experiment in curriculum evaluation. *American Educational Research Journal*, 9, 373-383.
- YAGER, R. E. y WICK, J. W. (1966). Three emphases in teaching biology: a statistical comparison of results. *Journal of Research in Science Teaching*, 4(1), 16-20.

[1] Algunos autores clasifican los enfoques para la enseñanza de la NdC en (i) implícito (indirecto), (ii) explícito (directo) y reflexivo, y (iii) histórico (véanse, p.e., Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Aktamiş y Taşkın, 2008; Khishfe y Abd-El-Khalick, 2002). Sin embargo, aquí se considera que el uso de narraciones y materiales de historia de la ciencia (enfoque histórico) puede considerarse una modalidad incluida en los otros dos enfoques, sobre todo en el enfoque explícito y reflexivo (Akçay, Akçay y Kuo, 2008).

[2] Esto no debería confundirse con un aprendizaje estrictamente actitudinal, puesto que las actitudes tienen al menos tres componentes: emotivo, cognitivo y conativo (activo).

[3] Tampoco esto debería implicar el olvido de la influencia de las emociones y los sentimientos en el aprendizaje de la NdC.

[4] Una revisión crítica de los estándares estatales de educación primaria y secundaria, hecha en EE.UU. muy recientemente, muestra la escasa atención prestada a algunos aspectos esenciales de la NdC, tales como que el conocimiento científico no es del todo objetivo y que la ciencia no puede dar respuesta a todas las preguntas (McComas *et al.*, 2009).

[5] Investigaciones muy recientes, realizadas en EE. UU., han puesto de manifiesto que la gran mayoría de los libros de texto examinados de química (Abd-El-Khalick, Waters y Le, 2008), de biología y de física (Abd-El-Khalick *et al.*, 2009), correspondientes a la enseñanza secundaria, apenas ha mejorado sus representaciones sobre diversos aspectos de la NdC y el tratamiento que le dan a éstos durante las cuatro últimas décadas, e incluso algunos de los libros analizados han empeorado al respecto. En la misma línea, Alsamrani y McComas (2009) han informado de la escasa o nula presencia de aspectos clave de la NdC en los siete libros de física más frecuentemente utilizados en la educación secundaria de EE.UU. Uno de los aspectos clave menos tratados es la relación entre ciencia, tecnología y sociedad, algo que también se ha observado en los libros de texto de biología de bachillerato (Lee y Chiappetta, 2009). Así

mismo, Gericke y Hagberg (2008) explican algunos de los motivos por los que los autores no suelen incluir contenidos explícitos de NdC e integrados en los otros contenidos científicos en los libros de texto suecos de biología de educación secundaria superior. Investigaciones similares de los libros de texto y los autores españoles no han sido llevada a cabo todavía y sería muy interesante conocer sus resultados por la gran dependencia que el profesorado de ciencias español sigue teniendo de los libros de texto.

[6] Uno de los resultados más bajos obtenidos por los estudiantes españoles de ESO (de 15 años de edad) en la prueba de evaluación internacional PISA 2006 ha sido en la escala correspondiente a la dimensión "conocimiento sobre la ciencia"; esto es, comprensión de la NdC. Este resultado negativo solo fue más bajo en la escala de la dimensión "sistemas físicos"; es decir, en conocimientos de física y química (MEC-IE, 2007; OECD, 2007). Aunque el resultado obtenido en la dimensión "conocimiento sobre la ciencia" no es inferior al del total de la OCDE desde un punto de vista estadísticamente significativo, sí está por debajo del alcanzado en esa dimensión por otros países desarrollados, lo que debería ser un motivo de preocupación para todos los responsables de la enseñanza de las ciencias en España (Puente, 2008).

EXPLICIT VERSUS IMPLICIT APPROACHES IN NATURE OF SCIENCE TEACHING

SUMMARY

In this paper, we analyze the main approaches used in science education for nature of science teaching. Two general approaches could be considered: implicit and explicit-reflexive. We value the relative effectiveness of both approaches through the results of the implementation in science teaching, and we pay attention to underlying inherent assumptions. Up to now, explicit-reflexive approach has been shown more effective than implicit approach. However, more knowledge about the effectiveness of both approaches in different contexts is required. Consequently, it is still necessary more systematic research on this question.

Key words: *Science teaching; nature of science; implicit approach: explicit & reflexive approach.*