

ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA ENSEÑANZA DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA: UNA REVISIÓN DE LAS CREENCIAS Y OBSTÁCULOS DEL PROFESORADO

GARCÍA-CARMONA, ANTONIO¹; VÁZQUEZ ALONSO, ÁNGEL² y MANASSERO MAS, MARIA ANTÒNIA³

¹ Departamento de Didáctica de las Ciencias. Universidad de Sevilla

² Departamento de Pedagogía Aplicada y Psicología de la Educación. Universidad de las Islas Baleares

³ Departamento de Psicología. Universidad de las Islas Baleares

garcia-carmona@us.es

angel.vazquez@uib.es

ma.manassero@uib.es

Resumen. En este artículo se hace una revisión reflexiva de la literatura reciente, publicada en la última década, acerca de la comprensión de los profesores de ciencias sobre la naturaleza de la ciencia (NdC) y su enseñanza. Se analizan aquellos factores y estrategias que favorecen dicha comprensión, así como los principales obstáculos que interfieren en la enseñanza de los contenidos sobre NdC. A la luz del estado de la cuestión se analizan y discuten las posibles perspectivas de futuro.

Palabras clave. Educación científica, alfabetización científica, enseñanza de la naturaleza de la ciencia, pensamiento de los profesores sobre la naturaleza de la ciencia.

Present status and perspective of nature of science teaching: a review of teachers' beliefs and obstacles

Summary. The literature about teachers' understanding and teaching of nature of science (NOS), which has been published in the last decade, is reviewed. The factors and the strategies that favor NOS understanding as well as the obstacles that interfere its teaching are analyzed. From the current state of art on these issues, a prospective for future is analyzed and discussed.

Keywords. Science education, scientific literacy, teaching the nature of science, teacher thinking on nature of science.

INTRODUCCIÓN

La alfabetización científica para todos es un lema que, hoy, orienta indudablemente la enseñanza de las ciencias a través de dos componentes básicos: enseñanza de la ciencia (contenidos de conocimientos y procesos) y enseñanza sobre la ciencia (contenidos sobre qué es la ciencia). Por tanto, un componente esencial de tal alfabetización es la adquisición de concepciones y actitudes apropiadas e informadas sobre qué es, cómo se construye y cómo funciona la ciencia y su complemento actual, la tecnología, así como de sus relaciones con la sociedad; es lo que se viene denominando *naturaleza de la ciencia* (NdC). Actualmente, en el ámbito de la educación cien-

tífica, la NdC se concibe como el paradigma heredero de las propuestas del movimiento educativo CTS, desarrolladas desde hace varios lustros, y orientadas a mejorar la comprensión pública de la ciencia y la tecnología en el mundo actual (Hodson, 2008).

Aun cuando la presencia de la NdC en el currículo educativo se puede justificar por razones cognitivas, de comprensión, utilitarias, democráticas, culturales y axiológicas (Driver et al., 1996), la finalidad más global, quizás, sea la de lograr una educación científica de calidad, que promueva la alfabetización científica para

todos, y que desarrolle valores y actitudes importantes para la comprensión de un mundo cada vez más impregnado de ciencia y tecnología (Acevedo et al., 2005). Esta orientación se ha implementado ya en las reformas curriculares de la ciencia escolar, emprendidas por algunos países durante la última década del siglo xx y años posteriores (McComas y Olson, 1998; Millar, 2006; NSTA, 2000). En España, los currículos emanados de la Ley Orgánica de Educación contienen los denominados contenidos comunes, la competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico (natural y artificial –tecnología–), así como diversos objetivos y orientaciones referidos a contenidos de NdC.

La realidad actual es, sin embargo, que la NdC aún no ha calado de un modo efectivo en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias (Lederman, 2006). Hipkins, Barker y Bolstad (2005) han explorado y constatado la incongruencia permanente entre la retórica de la reforma de los currículos de la educación científica y la práctica docente real en las aulas. La falta de un consenso filosófico sobre la NdC, las teorías personales de los profesores sobre el aprendizaje, y la escasez de orientaciones adecuadas del currículo, del conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la NdC, de materiales didácticos apropiados, etc., son factores que contribuyen a esa incongruencia. Además, ésta no se superará si no se debaten ampliamente y se da el apoyo y la formación del profesorado necesarios para ello (Acevedo, 2009a,b), pues la falta de una comprensión adecuada por el profesorado de los principios de la NdC es una constante de la investigación diagnóstica al respecto. Consecuentemente, la mejora de la formación del profesorado se convierte en un objetivo prioritario de la alfabetización científica, y el diagnóstico de las concepciones del profesorado (como indicador de alfabetización científica) constituye un problema relevante de la investigación, pues permite conocer las creencias iniciales para ajustar a ellas dicha formación (Manassero, Vázquez y Acevedo, 2001).

En este contexto problemático, la finalidad de este trabajo es revisar la literatura, fundamentalmente de la última década, sobre los factores y estrategias que parecen favorecer una adecuada comprensión de la NdC entre el profesorado de ciencias, y también sobre los principales obstáculos que impiden realmente esa comprensión.

NdC Y EDUCACIÓN CIENTÍFICA

¿Qué rasgos caracterizan a la NdC?

Actualmente, parece claro que el término NdC resulta complejo porque evoluciona y aglutina una diversidad de aspectos relacionados con diferentes disciplinas como la filosofía, la sociología y la historia de la ciencia, entre otras (Vázquez et al., 2001). Se puede decir que la NdC es un metaconocimiento sobre la ciencia, que surge de las reflexiones interdisciplinares realizadas por especialistas de las disciplinas indicadas, algu-

nos científicos y expertos en didáctica de las ciencias (Acevedo et al., 2007). Acevedo (2008) detecta dos corrientes respecto a la concepción del término NdC en el ámbito de la didáctica de las ciencias: una reduccionista, tendente a identificar la NdC con la epistemología de la ciencia, especialmente con los valores y características filosóficas inherentes al conocimiento científico; y otra, que asume la NdC como un concepto más amplio, que engloba otros aspectos externos como las relaciones con la tecnología y la sociedad. En suma, la NdC tomada en un sentido amplio incluye las respuestas a cuestiones tales como: qué es la ciencia; cuál es su funcionamiento interno y externo; cómo construye y desarrolla el conocimiento que produce; qué métodos emplea para validar y difundir este conocimiento; qué valores están implicados en las actividades científicas; cuáles son las características de la comunidad científica; qué vínculos tiene con la tecnología, la sociedad y la cultura; etc. Esta última perspectiva, más completa y precisa, atribuye a la NdC aspectos epistemológicos, sociológicos y psicológicos, relativos tanto a la ciencia como a la tecnología; de ahí que el concepto se extienda de una manera natural como naturaleza de ciencia y tecnología (NdCyT).

Otra importante mistificación actual se refiere a si la NdC debe o no identificarse con los procedimientos científicos, también denominados procesos de la ciencia o indagación científica (Lederman, 2006; Acevedo, 2008). Quienes consideran que son conceptos diferenciados argumentan que los procedimientos científicos son capacidades referidas a dominio de actividades (saber hacer) relacionadas con la metodología científica, y que la indagación científica consiste en utilizar esos procedimientos de manera articulada, cíclica y compleja (NRC, 2000). En cambio, la NdC se refiere a la comprensión de los aspectos epistemológicos, sociológicos y psicológicos implicados o que fundamentan las actividades y procedimientos de la ciencia (Driver et al., 1996); por ejemplo, la constitución de conceptos, su validez, alcance, significado, valor, etc.

La confusión entre NdC y los procedimientos de la indagación científica (y tecnológica) propicia la idea muy extendida de que practicar estos procedimientos y aprender NdC son la misma cosa. De otra forma, la implicación en actividades de investigación, de modo similar a los científicos, es suficiente para adquirir ideas adecuadas sobre la NdC.

¿Qué debería enseñarse sobre la NdC?

La complejidad y variabilidad de la NdC impiden una posición única entre los especialistas, que se traduce en una imagen de controversia entre filósofos, historiadores, sociólogos y educadores de ciencias, donde coexisten conjeturas razonables con claras discrepancias (Vázquez et al., 2001). Aun así, estudios recientes sugieren la existencia de algunos acuerdos, que podrían ser la base de un currículo escolar de ciencias capaz de ofrecer una visión consensuada y básica de la NdC (Osborne et al., 2003).

La complejidad del sistema tecnocientífico en las sociedades contemporáneas es tan grande, que hoy se caracteriza por la convivencia de diversos modelos de ciencia, en un dinamismo permanente, difícil de asumir incluso por los especialistas (Echeverría, 2003). Por ello, tampoco existe una única reflexión sobre la ciencia, sino diversas conviviendo simultáneamente (Acevedo, 2006). De ahí que la educación sobre la ciencia (o educación en NdC) resalta también la importancia de educar desde la pluralidad, y no desde el adoctrinamiento hacia un modelo concreto, especialmente en aquellos aspectos más complicados o donde el disenso es mayor (Rudolph, 2003).

Asimismo, la complejidad de la tecnociencia hace que cualquier descripción de la NdC sea necesariamente limitada y parcial. Este rasgo permite justificar dos importantes objeciones contrarias a la enseñanza de la NdC en el currículo científico y, complementariamente, supone un argumento en favor de la enseñanza de la NdC. La primera objeción argumenta que la enseñanza de la NdC basada en las creencias consensuadas podría considerarse inaceptable por ser reduccionista, esto es, por estar limitada a unas pocas creencias y ser incapaz de presentar holísticamente el tema. En segundo lugar, cualquier enseñanza viene tamizada por la *transposición didáctica* oportuna, en este caso, la transformación de los contenidos sobre la NdC en contenidos escolares (Taber, 2008), lo cual implica también una nueva simplificación o reducción. Por tanto, si se acepta que cualquier marco de la NdC que se adopte implicará una reducción parcial, la objeción de reduccionismo a una enseñanza basada en los consensos de la NdC o en la transposición didáctica no sólo no es tan trascendente sino que forma parte de los rasgos esenciales del contenido de la NdC.

Si a los factores anteriores se añade la influencia de otras variables naturales intervinientes sobre el acto didáctico, se favorece más aún que la enseñanza de la NdC sea siempre fragmentada y limitada. Estas variables pueden ser las teorías personales de los profesores sobre el aprendizaje, la falta de orientaciones adecuadas para el desarrollo del currículo, la ausencia de un conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la NdC, la carencia de materiales didácticos apropiados, etc., (Acevedo, 2009a,b).

En consecuencia, la selección de determinados contenidos de la NdC para la enseñanza de las ciencias, guiada por consensos empíricamente justificados, no puede rechazarse, tanto desde una perspectiva didáctica como epistemológica. Desde diversos enfoques, en los últimos años han proliferado investigaciones empíricas orientadas a conocer la comprensión y los obstáculos de los profesores de cara a enseñar NdC, que arrojan más luz que las reflexiones meramente teóricas para determinar qué y cómo afrontar la integración de la NdC en la educación científica.

CREENCIAS DEL PROFESORADO ACERCA DE LA NdC

La comprensión de los profesores de la NdC también es un factor determinante en su enseñanza, es decir, cómo conciben los profesores el significado de la NdC influye

sobre cuál es la enseñanza que dispensan. Como nadie puede enseñar aquello que no domina, la investigación sobre las concepciones de los profesores es importante para mejorarlas y para la mejora consecuyente de la enseñanza.

Aunque la mayoría de las investigaciones se han realizado con profesores en formación inicial, los resultados indican consistentemente que los profesores sostienen ideas inadecuadas respecto a las concepciones actuales procedentes de la historia, filosofía y sociología de la ciencia y tecnología. En general, una mayoría de profesores muestran creencias sobre NdC tradicionales, positivistas e idealistas. Asumen la ciencia como un cuerpo de conocimientos identificado con algunas de sus áreas (biología, física, química, etc.), con rasgos utilitaristas. Conceptualizan la tecnología como ciencia aplicada (no perciben una interacción mutua más profunda) o como artefactos, principalmente electrónicos (no incluyen diseños o procesos). Creen que el conocimiento científico no es diferente de otros tipos de conocimiento; que se desarrolla en diferentes estadios (hipótesis, teorías y leyes); que es definitivo, estático, verdadero y absoluto, por corresponder a hechos (en lugar de provisional y cambiante); que se genera aplicando un método universal, único, de etapas cíclicas y estandarizadas que prueba el conocimiento, y libre de interferencias contextuales (culturales, sociales, políticas, éticas, religiosas, etc.); y que los científicos, individuales (se ignora el rol de la comunidad científica), se limitan a aplicar el método, registrar hechos que hablan por sí mismos, y organizar el conocimiento científico, sin apelar a la creatividad o la imaginación (García-Carmona, 2002), al marco teórico previo, ni a la interpretación de las observaciones y hechos (Celik y Bayrakçeken, 2006; Irez, 2006; Lederman, 1992).

Yalvac y otros (2007) exploran las visiones de los profesores de ciencias turcos sobre las interacciones CTS para promover y mejorar la alfabetización científica para todos. El análisis revela que muchos participantes sostienen visiones realistas sobre la interdependencia entre la ciencia, la tecnología y la sociedad, mientras que sus visiones sobre la tecnología y la naturaleza de la ciencia fueron más variadas. Algunas consideraban la tecnología como una aplicación de la ciencia, y otras asumían la ciencia como explicación e interpretación de la naturaleza. La mayoría estaba de acuerdo en que el conocimiento científico es tentativo, pero no mostraban una comprensión profunda de las diferencias entre hipótesis, leyes y teorías. En esta misma línea, Liu y Lederman (2007) exploraron las visiones del mundo y las concepciones sobre la NdC de futuros profesores de ciencias taiwaneses. Centrando la atención en las relaciones de los humanos con el mundo natural, observan que aquellos que reconocen las limitaciones del conocimiento científico, y aceptan la idea de que la ciencia involucra componentes subjetivos y culturales, eran más propensos a destacar la armonía con la naturaleza. En cambio, los participantes que poseen visiones reduccionistas sobre la actividad científica, describen la ciencia cercana a la tecnología, que ofrece beneficios materiales; lo que revela una perspectiva antropocéntrica de las relaciones humano-naturaleza.

Ma (2009), por su parte, ha analizado la comprensión sobre la NdC de profesores chinos de ciencias a partir de sus conceptualizaciones sobre la naturaleza. Para ello, comparó las ideas chinas tradicionales y modernas sobre la naturaleza, en torno a tres perspectivas: qué es la ciencia, las estrategias y enfoques para hacer ciencia, y el estatus del conocimiento científico. Encontró que: (1) la naturaleza era vista por muchos profesores más como algo totalmente asociado con la ciencia natural que con los humanos (o aspectos relacionados con las relaciones sociales humanas, incluyendo creencias religiosas); (2) muchos profesores tendían a sostener una visión realista sobre las relaciones entre las teorías científicas y la realidad; y, (3) la mayoría de los profesores apenas muestra alguna duda sobre el poder explicativo del actual conocimiento científico, especialmente el que ha sido logrado por amplio consenso, lo que sugiere que eran proclives a ver el conocimiento científico más como algo estable que provisional.

Sadler y otros (2006) centran su investigación en conocer los puntos de vista del profesorado de ciencias sobre el uso de cuestiones sociocientíficas y la atención a la ética en sus clases. Encuentran varios perfiles: *a*) los profesores que aceptan la implantación de cuestiones sociocientíficas controvertidas en el currículo de ciencias, y citan ejemplos del uso que hacen de éstas en sus clases; *b*) los que apoyan teóricamente la inclusión de cuestiones sociocientíficas en el currículo de ciencias, pero señalan restricciones significativas que les dificultan la consecución de este objetivo; *c*) los que no están dispuestos a centrar su enseñanza en cuestiones sociocientíficas y en la ética; *d*) los que sostienen que la ciencia y la educación científica deben estar libres de valores y basan en ella su rechazo; y *e*) los que consideran la cuestión de la ética en la educación científica, mostrando una sólida convicción de que toda educación debe contribuir al desarrollo ético de sus estudiantes.

Desde una perspectiva más amplia, Bartholomew, Osborne y Ratcliffe (2004) investigaron qué aspectos relativos a la NdC, sus procesos y sus prácticas, emplearon profesores de ciencias durante un curso. Observan cinco dimensiones críticas, que distinguen y determinan la habilidad del profesor para enseñar *sobre* ciencia de manera efectiva: el conocimiento del profesor y la comprensión de la NdC; las concepciones de los profesores sobre su propio rol; el uso del discurso por parte de los profesores; las concepciones de los profesores sobre las metas de aprendizaje; y la naturaleza de las actividades de clase.

FACTORES Y ESTRATEGIAS QUE FAVORECEN LA COMPRESIÓN DE LA NdC ENTRE EL PROFESORADO

A raíz de que la NdC ocupa un lugar destacado dentro de los estándares nacionales estadounidenses para la enseñanza de las ciencias, Backhus y Thompson (2006) realizaron un estudio nacional con profesores de ciencias. Encontraron que los instrumentos que más contribuyen a la comprensión de los futuros profesores sobre la NdC son los cursos sobre métodos de la ciencia, los proyectos de investigación y los cursos sobre contenidos de ciencia.

Schwartz, Lederman y Crawford (2004) estudiaron el progreso de las concepciones de la NdC durante una investigación científica, realizada en un curso amplio para profesores de ciencias de secundaria, en formación inicial. Observaron que la mayoría mostró sustanciales mejoras en el conocimiento de la NdC, gracias a la reflexión sobre las notas escritas en los diarios personales y a los seminarios. Pero aquellos participantes que asumieron una posición personal más reflexiva mejoraron aún más sus concepciones sobre la NdC. En la misma línea, Akerson y otros (2009) llevaron a cabo con profesores de nivel elemental un programa de formación orientado a enfatizar la investigación científica y la NdC, dentro del tema de modelización científica. Observaron que tras el programa los profesores mejoraron sus visiones sobre la NdC y la investigación, incluyendo la modelización científica en sus definiciones de cómo trabajan los científicos, la naturaleza empírica de la ciencia y el papel de las observaciones e inferencias en la ciencia.

También se ha comprobado que la inclusión de la filosofía de la ciencia en la formación de futuros profesores de ciencias favorece una adecuada visión sobre la NdC (Abd-El-Khalick, 2005), y que ello, además, influye luego en los enfoques y metodologías adoptadas por los profesores a la hora de hacer sus diseños de enseñanza (Rosa y Martins, 2009). Lin y Chen (2002) comprueban un resultado similar enseñando química a través de la historia. Constatan que los futuros profesores enrolados en un curso de estas características mejoraron su comprensión sobre la naturaleza de la creatividad, la naturaleza basada en la teoría de observaciones científicas y las funciones de las teorías científicas.

Por otra parte, Morrison, Raab e Ingram (2009) comprueban que profesores con baja comprensión previa sobre la NdC mejoran su comprensión a través de cursos de formación donde se incluyan entrevistas entre los profesores y científicos, experiencias de investigación y enseñanza explícita y reflexiva sobre la NdC. Igualmente, el desarrollo de cursos de formación del profesorado donde se introducen controversias originadas en la construcción del conocimiento científico facilita una progresiva comprensión sobre la NdC (Niaz, 2009).

OBSTÁCULOS DEL PROFESORADO ANTE LA ENSEÑANZA DE LA NdC

Si bien se han citado algunos estudios que muestran la eficacia de ciertas estrategias para mejorar las creencias y la práctica docente del profesorado respecto a la NdC, la relación entre comprensión de la NdC y su implementación práctica en el aula no parece ser tan directo y simple, sino más bien un asunto complejo.

Lederman (1999) abordó la relación entre concepciones sobre NdC y práctica docente analizando las prácticas de cinco profesores de biología con una adecuada comprensión de la NdC, concluyendo que tal relación es compleja. El estudio revela el papel mediador sobre estas prácticas efectivas de otras variables, entre las que

se incluyen la organización y gestión del aula, la presión para acabar los programas educativos, la motivación y capacidad de los estudiantes, la experiencia del profesor, las limitaciones institucionales, incomodidad del profesor con el tema de la NdC y carencia de recursos y experiencias de referencia. Finalmente, se recomienda la necesidad de una formación explícita y reflexiva, que ayude a los profesores a desarrollar sus propias concepciones sobre NdC, y destrezas docentes para convertir su comprensión en prácticas de enseñanza efectivas.

La extendida confusión, ya citada, acerca de la eficacia de la indagación para aprender NdC entre los profesores ha sido un obstáculo constante detectado en la investigación educativa sobre la NdC. Muchos profesores no consideran la NdC como un contenido curricular interdisciplinar diferenciado, sino como una capacidad más asociada al aprendizaje de los procedimientos científicos (Garriz, 2006). Esta confusión continúa siendo problemática pues no permite la discriminación precisa entre ambas en la práctica docente (Trumbull, Scarano y Bonney, 2006), y es el origen de improductivas prácticas entre el profesorado para enseñar NdC. Estos últimos autores realizaron un seguimiento, durante más de tres años, de las concepciones y prácticas docentes de dos profesores implicados en aplicar proyectos de investigación científica. Sus respuestas educativas se relacionaban mucho con sus ideas acerca de cómo debe estructurarse el aprendizaje, pero no tanto con sus puntos de vista sobre la NdC. Asimismo, detectaron la paradoja de que el profesor con una visión de la NdC más adecuada no apoyaba los proyectos de indagación de los estudiantes en el aula, mientras que el profesor con una visión más pobre de la NdC se esforzó en apoyarlas. Este resultado es un caso extremo de los resultados obtenidos en otros estudios (Akerson y Abd-El-Khalick, 2003; Lederman, 1999; Roehrig y Luft, 2004), donde se observa que una comprensión adecuada de la NdC no implica, necesariamente, que el profesorado incorpore contenidos de ésta en su práctica docente. Una adecuada comprensión de la NdC es una condición más para que los profesores enseñen NdC en su aula, posiblemente necesaria, pero no es una condición suficiente (Water-Adams, 2006).

Otro obstáculo que interfiere las visiones de futuros profesores de ciencias sobre la NdC son sus creencias religiosas. Smith y Scharmann (2008) encuentran que es posible mejorar su comprensión de la NdC mediante cursos específicos de formación, basados en una enseñanza reflexiva, incluyendo las ideas de Khun sobre la ciencia. Profundizando en esta cuestión, Stolberg (2007) explora las concepciones de profesores de primaria puestas en juego cuando enseñan ciencia, partiendo de la base de que las formas de pensamiento científico y religioso son centrales en la estructura cognitiva y cultural de cada individuo para interpretar el mundo. Clasificando las actitudes hacia la ciencia/religión en «epistémicas» o «pragmáticas», encuentra que los marcos religioso-científicos individuales podrían ser utilizados para explicar los diferentes enfoques de la enseñanza de la ciencia. Por su parte, Álvarez, García y Fernández (2004) sostienen que la componente ideológica del profesorado condiciona la orientación didáctica y los contenidos de la asignatura en educación am-

biental; pero también supone, en algunos casos, un obstáculo para el desarrollo de actitudes proambientales por el alumnado. En este sentido, han investigado las ideologías ambientales de profesores de secundaria, y han encontrado que la ideología ambiental más frecuente es la denominada desarrollista-proteccionista.

La mayoría de los profesores de ciencias sienten que su tarea más importante es enseñar los hechos, conceptos y principios de la ciencia, y que todos los demás cambios e innovaciones didácticos representan una carga y un obstáculo. Esta arraigada creencia impide la consideración de factores eficientes como el caso de las cuestiones sociocientíficas. Por ejemplo, Lee y Witz (2009) argumentan que, pese a que existe un amplio consenso y aval empírico respecto a la eficacia de incluir aspectos sociocientíficos en los currículos de ciencias, aún son pocos los profesores que los incorporan en sus clases. Si bien, estos autores, al igual que otros como Niaz (2009), sostienen que si los profesores tomaran conciencia de la importancia de las cuestiones sociocientíficas, podrían desarrollar su propia motivación y materiales para el abordaje en clase de tales cuestiones, basados en sus propios valores, ideales, filosofías e inquietudes personales. Por ello, sostienen que las reformas de los currículos actuales deberían conectar, efectivamente, con los valores e ideales más profundos de los profesores.

El rol de la conciencia metacognitiva en la mejora de las concepciones sobre la NdC es subrayado en el estudio de Abd-El-Khalick y Akerson (2009). Usando un grupo de control y otro experimental de profesores de primaria en formación inicial, que participan en un curso de métodos de la ciencia, donde ambos reciben un tratamiento de reflexión explícita sobre la NdC, comprueban que el grupo que practicó estrategias metacognitivas de concienciación sobre la NdC mejoró más que el otro sus concepciones sobre la NdC.

Otro obstáculo destacable es la falta de convergencia en las escuelas acerca de lo que se considera debe constituir una adecuada alfabetización científica. Pintó y El Boudamoussi (2009) han investigado la visión de profesores de ciencias sobre los procesos científicos básicos contemplados en el programa de evaluación PISA 2003 (descripción, explicación y predicción de fenómenos científicos; comprensión de la investigación científica; e interpretación de la evidencia científica y conclusiones). Los resultados muestran una gran diversidad de opiniones y percepciones acerca de estas competencias: cuáles deben ser prioritarias, cuáles provocan mayores dificultades a sus estudiantes y qué actividades usan los profesores en sus clases para promover competencias científicas similares a las de PISA.

Guisasola y Morentin (2007), abundando en la existencia de un consenso general respecto a que una adecuada comprensión de la naturaleza del conocimiento científico es un requisito necesario en la formación del profesorado de ciencias, comprueban que los estudiantes de Magisterio, al finalizar su preparación, no tienen una adecuada comprensión de la NdC. Concretamente, que tienen una concepción empírico-inductivista de la misma, al igual que la mayoría de los maestros de educación primaria en ejercicio.

Akerson, Cullen y Hanson (2009) han analizado el desarrollo profesional de tres profesores de primaria acerca de la NdC. Con un equipo de apoyo, los profesores participaron durante un año en un programa de formación basado en talleres y cursos específicos orientados a ayudarles a incorporar nuevas técnicas y a reflexionar sobre sus propias ideas y prácticas. Dicho programa no fue suficiente para cambiar sus prácticas, pero creó un clima favorable que facilita el cambio cuando se añade modelado de NdC y reflexión explícita.

En síntesis, los estudios acerca de los factores que determinan las prácticas educativas para enseñar eficazmente NdC continúan en la actual agenda didáctica. La investigación resalta la importancia del conocimiento didáctico del contenido acerca de la NdC por el profesorado, que concreta en la comprensión de la NdC, conocimientos didácticos generales y específicos, interiorización de la importancia de la NdC como contenido educativo y la planificación intencional de estos conocimientos en un modelo de enseñanza explícita y reflexiva (Acevedo, 2009a,b; Bartholomew, Osborne y Ratcliffe, 2004; Lederman, 2007).

SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

La limitación de espacio no permite extender demasiado esta revisión de las investigaciones en torno al tema tratado, si bien las citadas proporcionan una importante panorámica del estado actual de la cuestión. Tras esta revisión, se puede concluir que el profesorado de ciencias de los diferentes niveles educativos no tiene, en general, una comprensión adecuada sobre la NdC. A esta conclusión ya llegó, hace casi dos décadas, Lederman (1992), aunque hoy se pueden describir con más detalle los rasgos de esta incomprensión y algunas relaciones con la práctica docente.

Entre el profesorado son frecuentes creencias que sostienen que la tecnología es una aplicación de la ciencia, que la ciencia describe la naturaleza, o que la ciencia ofrece beneficios materiales, dando así lugar a una perspectiva antropocéntrica e instrumentalista de la ciencia y la tecnología, así como de sus relaciones con la naturaleza. Asimismo, parte del profesorado no termina de asumir los componentes subjetivos de la ciencia, el carácter tentativo y provisional del poder explicativo del conocimiento científico, que es establecido por consenso de la comunidad científica. Análogamente, no tienen una comprensión adecuada de las diferencias entre hipótesis, leyes y teorías científicas, los rasgos del método científico o el estatus epistemológico de las observaciones y las evidencias empíricas.

La escasa comprensión de la NdC por el profesorado sólo puede remediarse con una formación adecuada sobre estas cuestiones, tanto en la formación inicial como en la formación permanente. La literatura revisada informa que la comprensión del profesorado puede mejorarse si se programan cursos de formación que aborden:

a) las características de la actividad científica (naturaleza empírica de la ciencia, métodos e investigación científica,

ca, modelización, relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, etc.);

b) situaciones de controversia originadas en la construcción del conocimiento científico; y

c) aspectos relativos a la historia y la filosofía de la ciencia.

La efectividad de estos cursos de formación se ve incrementada, además, cuando el profesorado asume una actitud reflexiva durante el proceso formativo (Hanuscin, Akerson y Phillipson-Mower, 2006; Acevedo, 2009c).

Hoy parece claro que la mera formación de los profesores no garantiza que la NdC se enseñe eficazmente. Los cursos de formación deben afrontar explícitamente los principales obstáculos que impiden a los profesores de ciencias aplicar adecuadamente en su enseñanza contenidos sobre la NdC; incluso en el caso más favorable de poseer un conocimiento profesional adecuado sobre la misma. Estos obstáculos son:

– La falta de consenso en las escuelas sobre lo que debe constituir una adecuada alfabetización científica, y consecuentemente, que muchas escuelas excluyen por principio la NdC.

– La confusión de identificar la NdC con una capacidad asociada con los procedimientos científicos, que no requiere contenidos curriculares interdisciplinarios propios y diferenciados. Con lo cual, aunque muchos profesores posean un adecuado conocimiento de la NdC, y los currículos expliciten la inclusión de tal contenido, no significa que se aborden aspectos de ésta en sus clases.

– La enseñanza de la ciencia se identifica esencialmente con el aprendizaje de contenidos declarativos (hechos, conceptos y principios) y toda innovación didáctica, como la inclusión de la NdC, representa una carga adicional difícil de asumir. Muchos profesores sienten que su tarea más importante, con mucho, es enseñar principios de la ciencia y todo el tiempo disponible es insuficiente para ello.

– La educación científica, como reflejo de la objetividad atribuida a la ciencia, debe estar libre de valores y otros elementos subjetivos contrarios a la objetividad. Muchos profesores asumen esta idea de la ciencia y rechazan todo lo no se ajuste a un presunto patrón objetivo.

– Las ideologías personales de los profesores interfieren también en sus visiones acerca de la NdC. En educación ambiental, se observa que la ideología ambiental más frecuente del profesorado en formación es la denominada como desarrollista-proteccionista, componente que condiciona la orientación didáctica y los contenidos de la asignatura.

El rol del profesor en relación con su práctica educativa en la enseñanza de NdC tiene tres dimensiones claras: como dispensador explícito de concepciones adecuadas sobre la NdC (para lo cual debe poseerlas), como diseñador del cu-

rrículo de NdC (que se ejerce planificando la enseñanza de NdC) y como responsable de mantener la coherencia entre los principios de NdC (los que se enseñan y los que no se enseñan) y las representaciones de la ciencia que se presentan en la educación científica escolar (conocimientos y procesos de la ciencia, actividades, evaluación, libros de texto, materiales, etc.).

Evidentemente, para seleccionar contenidos educativos relevantes sobre la NdC se hace necesario algún tipo de consenso que hoy ya ha sido construido. Además, la educación siempre transforma los conocimientos científicos en contenidos escolares a través de la transposición didáctica, y en este proceso es inevitable la pérdida de algunos elementos del contenido original, en aras de adecuarlos a la diversidad de necesidades de aprendizaje de los estudiantes. Todo ello hace que la NdC escolar sea un ente diferenciado de la NdC académica, y, por tanto, es inevitable admitir la simplificación y transformación de los conceptos educativos, justificado porque la enseñanza de la NdC en el contexto educativo no pretende formar epistemólogos ni sociólogos de la ciencia, sino personas científicamente alfabetizadas (Hodson, 2008).

Las propuestas para enseñar NdC deben partir de objetivos relativamente sencillos, modestos y asequibles para todos los estudiantes (Lederman, 1999; Matthews, 1998; Monk y Osborne, 1997). Este tipo de contenidos sencillos no suele aparecer en los debates académicos, pero son válidos para la alfabetización científica, por lo que debería tener una clara incidencia en el diseño de programas de formación del profesorado orientados a una enseñanza básica de la NdC. En suma, aunque puedan subsistir discrepancias en casos específicos, la integración de la NdC en la educación científica consolida un marco teórico en torno a los siguientes rasgos:

1. la denominación NdC abarca aspectos amplios que van desde la epistemología de la ciencia, los valores y características inherentes al conocimiento científico, pa-

sando por las relaciones con la tecnología y aspectos sociológicos y psicológicos;

2. la integración de la NdC en el ámbito escolar y la educación científica requiere la adaptación de los contenidos científicos de la NdC a contenidos curriculares escolares, enseñables y comprensibles; lo que supone asumir una simplificación y cierta pérdida de autenticidad, incitando al planteamiento de objetivos modestos de alfabetización científica y tecnológica.

3. la enseñanza de los contenidos de NdC parece ser más efectiva si se realiza de manera explícita (planificando intencionalmente todos los elementos didácticos necesarios) y reflexiva (incluyendo actividades que ayuden a la interiorización personal de aspectos del aprendizaje, que son actitudinales), en lugar de planteamientos implícitos.

En cualquier caso, todavía queda camino por recorrer en el empeño de lograr que la NdC forme parte, de manera explícita, real y adecuada, de las clases de ciencias de todos los niveles educativos. Se hacen necesarias nuevas investigaciones, que profundicen en los aspectos aquí tratados y arrojen más luz al proceso de integrar la NdC en el currículo de ciencia escolar como componente básico de la alfabetización científica. En particular, intensificar la formación del profesorado, elaborar recursos y materiales didácticos, y contrastar su validez en el aula.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este estudio ha sido posible gracias a la ayuda concedida al Proyecto de Investigación SEJ2007-67090/EDUC, financiado por la Convocatoria de ayudas a proyectos de I+D 2007, del Ministerio de Ciencia e Innovación (España).

Agradecemos a nuestro apreciado amigo José Antonio Acevedo Díaz sus amables y valiosos comentarios durante la redacción del presente artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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), pp. 15-42.

ABD-EL-KHALICK, F. y AKERSON, V. (2009). The Influence of Metacognitive Training on Preservice Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science. *International Journal of Science Education*, 31, pp. 2161-2184

ACEVEDO, J.A. (2006). Relevancia de los factores no-epistémicos en la percepción pública de los asuntos tecnocientíficos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), pp. 369-390.

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), pp. 134-169.

ACEVEDO, J.A. (2009a). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): el marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), pp. 21-46.

ACEVEDO, J.A. (2009b). 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), pp. 164-189.

ACEVEDO, J.A. (2009c). Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), pp. 355-386.

ACEVEDO, J.A., VÁZQUEZ, A., MARTÍN-GORDILLO, M., OLIVA, J.M., ACEVEDO, P., PAIXÃO, M.F. y MANASSERO, M.A. (2005). Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), pp. 121-140.

ACEVEDO, J. A., VÁZQUEZ, A., MANASSERO, M.A. y ACEVEDO, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), pp. 42-66.

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), pp. 1025-1049.

AKERSON, V. L., CULLEN, T. A. y HANSON, D. L. (2009). Fostering a Community of Practice through a Professional Development Program to Improve Elementary Teachers' Views of Nature of Science and Teaching Practice. *Journal of Research In Science Teaching*, 46, pp. 1090-1113

AKERSON, V., TOWNSEND, J.S., DONNELLY, L.A., HANSON, D.L., TIRA, P. y WHITE, O. (2009). Scientific Modeling for Inquiring Teachers Network (SMIT'N): The Influence on Elementary Teachers' Views of Nature of Science, Inquiry, and Modeling. *Journal of Science Teacher Education*, 20(1), pp. 21-40.

ÁLVAREZ, P. GARCÍA, J. y FERNÁNDEZ, M. J. (2004). Ideología ambiental del profesorado de Educación Secundaria Obligatoria. Implicaciones didácticas y evidencias sobre la validez de un instrumento. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(3), pp. 1-14.

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, pp. 65-81.

BARTHOLOMEW, H., OSBORNE, J. y RATCLIFFE, M. (2004). Teaching students' ideas-about-science: five dimensions of effective practice. *Science Education*, 88(5), pp. 655-682.

CELIK, S. y BAYRAKÇEKEN, S. (2006). The effect of a 'Science, Technology and Society' course on prospective teachers' conceptions of the nature of science. *Research in Science & Technological Education*, 24(2), pp. 255-273

CRONIN-JONES, L.L. (1991). Science teaching beliefs and their influence on curriculum implementation. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(3), pp. 235-250.

DRIVER, R., LEACH, J., MILLAR, R. y SCOTT, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press.

ECHEVERRÍA, J. (2003). *La revolución tecnocientífica*. Madrid: FCE.

GARCÍA-CARMONA, A. (2002). Casualidad, inspiración y descubrimientos científicos. *Red Científica*. Consultado el 27/02/2010 en <<http://www.redcientifica.com/doc/doc200209150001.html>>.

GARRITZ, A. (2006). Naturaleza de la ciencia e indagación: cuestiones fundamentales para la educación científica del ciudadano. *Revista Iberoamericana de Educación*, 42, pp. 127-152.

GUISASOLA, J. y MORENTIN, M. (2007). ¿Comprenden la naturaleza de la ciencia los futuros maestros y maestras de Educación Primaria? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), pp. 246-262.

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), pp. 912-935.

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), pp. 243-254.

HODSON, D. (2008). *Towards Scientific Literacy*. Rotterdam: Sense Publishers.

IREZ, S. (2006). Are we prepared? An assessment of preservice science teacher educators' beliefs about nature of science. *Science Education*, 90, pp. 1113-1143.

LEDERMAN, N.G. (1999). Teachers' understanding of the nature of science: factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8), pp. 916-929.

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). Consultado el 12/12/2009 en <http://www.ied.edu.hk/apfs/lt/>.

- LEE, H. y WITZ, K.G. (2009). Science Teachers' Inspiration for Teaching Socio-scientific Issues: Disconnection with reform efforts. *International Journal of Science Education*, 31(7), pp. 931-960.
- LIN, H.-S. y CHEN, C.-C. (2002). Promoting Preservice Chemistry Teachers' Understanding about the Nature of Science through History. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(9), pp. 773-792.
- LIU, S.-Y. y LEDERMAN, N.G. (2007). Exploring Prospective Teachers' Worldviews and Conceptions of Nature of Science. *International Journal of Science Education*, 29(10), pp. 1281-1307.
- MA, H. (2009). Chinese Secondary School Science Teachers' Understanding of the Nature of Science-Emerging from Their Views of Nature. *Research in Science Education*, 39(5), pp. 701-724.
- 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.
- MATTHEWS, M.R. (1998). The Nature of Science and Science Teaching, en Fraser, B.J. y Tobin, K.G. (eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 981-999. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- McCOMAS, W.F. y OLSON, J.K. (1998). The nature of science in international science education standards documents, en McComas, W.F. (ed.). *The nature of science in science education: Rationales and strategies*, pp. 41-52. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- 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), pp. 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), pp. 405-424.
- MORRISON, J.A., RAAB, F. e INGRAM, D. (2009). Factors Influencing Elementary and Secondary Teachers' Views on the Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(4), pp. 384-403.
- NAIAZ, M. (2009). Progressive transitions in chemistry teachers' understanding of nature of science based on historical controversies. *Science & Education*, 18(1), pp. 43-65.
- NRC, NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: a guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- NSTA, NATIONAL SCIENCE TEACHERS ASSOCIATION (2000). *NSTA position statement: the nature of science*. NSTA Document.
- 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), pp. 692-720.
- PINTÓ, R. y EL BOUDAMOSSI, S. (2009). Scientific Processes in PISA Tests Observed for Science Teachers. *International Journal of Science Education*, 31(16), pp. 2137- 2159.
- ROEHRIG, G.H. y LUFT, J. A. (2004). Constraints experienced by beginning secondary science teachers in implementing scientific inquiry lessons. *International Journal of Science Education*, 26(1), pp. 3-24.
- ROSA, K. Y MARTINS, M.C. (2009). Approaches and Methodologies for a Course on History and Epistemology of Physics: Analyzing the Experience of a Brazilian University. *Science & Education*, 18(1), pp. 149-155.
- RUDOLPH, J.L. (2000). Reconsidering the 'nature of science' as a curriculum component. *Journal of Curriculum Studies*, 32(3), pp. 403-419.
- SADLER, T.D., AMIRSHOKOOHI, A., KAZEMPOUR, M. y ALLSPAW, K.M. (2006). Socioscience and ethics in science classrooms: Teacher perspectives and strategies. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(4), pp. 353-376.
- 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), pp. 610-645.
- SMITH, M.U. y SCHARMANN, L. (2008). A Multi-Year Program Developing an Explicit Reflective Pedagogy for Teaching Pre-service Teachers the Nature of Science by Observation. *Science & Education*, 17(2-3), pp. 219-248.
- STOLBERG, T. (2007). The Religio-scientific Frameworks of Pre-service Primary Teachers: An analysis of their influence on their teaching of science. *International Journal of Science Education*, 29(7), pp. 909-930.
- TABER, K. (2008). Towards a Curricular Model of the Nature of Science. *Science & Education*, 17, pp. 179-218.
- TRUMBULL, D. J., SCARANO, G. y BONNEY, R. (2006). Relations among two teachers' practices and beliefs, conceptualizations of the nature of science, and their implementation of student independent inquiry projects. *International Journal of Science Education*, 28(14), pp. 1717-1750.
- 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, pp. 135-176.
- WATERS-ADAMS, S. (2006). The relationship between understanding of the nature of science and practice: the influence of teachers' beliefs about education, teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 28(8), pp. 919-944.
- YALVAC, B., TEKKAYA, C., CAKIROGLU, J. y KAHYAOG-LU, E. (2007). Turkish Pre-Service Science Teachers' Views on Science-Technology-Society Issues. *International Journal of Science Education*, 29(3), pp. 331-348.

[Artículo recibido en abril de 2010 y aceptado en septiembre de 2010]

Present status and perspective of nature of science teaching: a review of teachers' beliefs and obstacles

GARCÍA-CARMONA, ANTONIO¹; VÁZQUEZ ALONSO, ÁNGEL² y MANASSERO MAS, MARIA ANTÓNIA³

¹ Departamento de Didáctica de las Ciencias. Universidad de Sevilla

² Departamento de Pedagogía Aplicada y Psicología de la Educación. Universidad de las Islas Baleares

³ Departamento de Psicología. Universidad de las Islas Baleares

garcia-carmona@us.es

angel.vazquez@uib.es

ma.manassero@uib.es

Summary

This paper shows an exhaustive and reflective analysis of recent literature regarding the teachers' understanding of nature of science (NOS) and its teaching. The obtained conclusions are:

1. Science teachers frequently believe that: (a) technology is applied science; (b) science describes nature; (c) science offers material benefits, which indicates an anthropocentric and instrumentalist vision of science. A part of teachers do not assume the subjective components of science, such as the tentative and provisional character of scientific knowledge.

2. Teachers' understanding of NOS can be improved if training courses are programmed in order to approach: (a) characteristics of scientific activity (empiric nature of science, methods and scientific research, modeling, science, technology and society relationships, etc.); (b) controversial situations regarding the construction of scientific knowledge; and (c) philosophy of science and episodes of history of science.

3. NOS is not taught efficacy due to the following teachers' obstacles:

– NOS is identified with a capacity associated to the procedures of scientific research and its teaching not require specific curricular contents.

– Science teaching is essentially identified with learning declarative contents (concepts, principles, phenomena...), and the inclusion of NOS is considered an extra task that is difficult to assume. An important part of teachers believe that their more important task is teaching principles of science.

– Science Education is assumed as an objective activity and consequently it must be free of values and other subjective elements.

– Teachers' ideologies interfere in their visions about NOS and they determine the didactic orientation and selection of contents.

4. For teaching NOS, teachers must assume a role with three perspectives: (1) as an explicit dispensator of adequately conceptions on NOS, (2) as a designer of NOS curriculum, and (3) as a responsible of establishing coherence between NOS contents and science representations included in the ambit of school (knowl-

edge and procedures of science, activities, evaluation, textbooks, etc.)

5. Integration of NOS in Science Education consolidates a theoretical model round the following characteristics:

– Concept of NOS covers aspects such as the science epistemology, relationships among sciences, technology, sociology and psychology, and values and characteristics inherent in science itself.

– Integration of NOS in Science Education requires a transformation of consensus about NOS in teachable and comprehensible curricular contents through didactic transposition and pedagogical content knowledge.

– NOS teaching is more effective when it is carried out explicitly (planning intentionality all necessary didactic elements) and in a reflexive climate (including activities that help to the personal internalization of attitudinal learning aspects).

Teaching implications:

1. Curricular development of NOS in school requires, fundamentally, a progressive adaptation to students' age from the official science curriculum, the design of activities that favours reflection and argumentation about NOS (instead of transmitting principles exclusively). NOS teaching must start from a simple level and get to a more advanced perspective. It must deal with accessible and less polemic beliefs (consensus) in basic educational levels to get to more complex questions in superior levels.

2. In primary education, the most adequately NOS teaching can promote the meta-reflection about the mutual impacts among science, technology and society related to contents of science area at this educational level (with special attention to environmental education), and about some epistemological aspects appropriated in this level. In secondary education, the formation of a critical spirit regarding the construction of science, its causes and its consequences (STS relationships) is proposed; the analysis of relevant episodes of errors and limitations in science history; the status of theories (recognize questions that can be solved by means of observations and scientific data); the inherent values of science, etc.

3. Science teachers must be aware of the fact that NOS teaching states a principle of coherence to school Science curriculum, since all curricular elements (objectives, contents, methodology, evaluation, activities...) must be consistent with the adequate conceptions of NOS.