

La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 2): Una revisión desde los currículos de ciencias y la competencia PISA

Vázquez-Alonso, Ángel¹; Manassero-Mas, María Antonia²

¹ Departamento de Pedagogía Aplicada y Psicología de la Educación. Universidad de las Islas Baleares, España. angel.vazquez@uib.es

² Departamento de Psicología. Universidad de las Islas Baleares, España. ma.manassero@uib.es

[Recibido en julio de 2011, aceptado en octubre de 2011]

Este estudio revisa los currículos de ciencias (con especial énfasis en el español) y la competencia científica de PISA como fuentes de contenidos de aprendizaje correspondientes a la “naturaleza de la ciencia” (y tecnología). Este es continuación de la primera parte donde se expusieron los consensos de la investigación, que se consideran como guías transversales del currículo. El propósito es proponer un marco de referencia que ilumine, contextualice y clarifique el sentido global de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia a la luz de los contenidos de los currículos de ciencias españoles actuales. Primero, se presentan las contribuciones de algunos currículos extranjeros para identificar los contenidos consensuados que plantean. Segundo, se presenta la perspectiva y aportaciones de la competencia científica, desde los marcos de referencia de PISA y la competencia sobre conocimiento e interacción con el mundo físico. Tercero, se identifican los contenidos para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (y tecnología) presentes en el currículo español de la educación secundaria y el bachillerato y se analiza su diseño, organización y sentido en el marco curricular español. Finalmente, se discuten las fortalezas y debilidades del marco curricular y se diagnostican las dificultades de la didáctica de estas cuestiones innovadoras sobre naturaleza de la ciencia (y tecnología), de modo que se pongan las bases que motiven, conciencien y ayuden al profesorado a superar las dificultades.

Palabras clave: naturaleza de la ciencia (y tecnología), currículos de ciencias, enseñanza y aprendizaje de naturaleza de la ciencia, selección de contenidos.

The selection of content to teach nature of science and technology (part 2): A review from science curriculum and the PISA competence

This study reviews school science curricula (with especial emphasis in the Spanish curriculum) and PISA scientific competence as sources of learning contents for the "nature of science" (and technology). This paper is the continuation of the first part that presented the investigation consensuses, which are deemed the cross-curricular guidelines. The paper aims to propose a framework that illuminates, contextualizes and clarifies the overall meaning of teaching the nature of science in light of the current Spanish science curricula. First, the specific contributions of some foreign curricula to formulate the consensual contents are displayed. Second, the perspectives and contributions of the scientific literacy competence from PISA framework and from the Spanish "knowledge and interaction with the physical world" competence are presented. Third, the nature of science (and technology) contents of the Spanish secondary and high school curricula are identified, and their design, organization and meaning are discussed within the Spanish curricula context. Finally, the strengths and weaknesses of the curriculum and the difficulties for teaching these innovative issues on nature of science (and technology) are discussed, as a mean to motivate, raise awareness and help teachers to overcome them.

Keywords: nature of science (and technology), science curricula, teaching and learning of nature of science, curriculum content selection.

Introducción

Este estudio es continuación de otro previo (Vázquez y Manassero, 2012) donde se han puesto las bases teóricas sobre la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (y tecnología) – NdCyT - y se ofrecen exhaustivas y resumidas compilaciones de los principales consensos sobre las concepciones acerca de la NdCyT desde la perspectiva de la literatura de investigación didáctica especializada en este tema. Complementariamente, las ideas de los

estudiantes que son opuestas a los consensos constituyen verdaderos inventarios de ideas previas acerca de estos temas.

La primera parte de este estudio presentó una síntesis de los hallazgos en torno a las concepciones adecuadas y consensuadas sobre NdCyT en la investigación didáctica de las últimas décadas. Estas concepciones marcan un conjunto de referencias que, dentro de su carácter siempre dialéctico y evolutivo, son considerados por los especialistas como ideas coherentes con la actual visión desde la historia, la epistemología y la sociología de la ciencia y la tecnología. En la perspectiva de la enseñanza de las ciencias, las ideas consensuadas componen la guía básica para el desarrollo curricular de estos temas y la enseñanza de las mismas por el profesorado en el aula, que se pueden resumir en el siguiente marco de referencia:

1. Definiciones de ciencia y tecnología y sus relaciones mutuas
2. Epistemología de la ciencia
3. La sociología interna de la ciencia y tecnología
4. La influencia de la sociedad sobre la ciencia y la tecnología
5. La influencia de la ciencia y la tecnología sobre la sociedad
6. La educación en ciencia y tecnología

En la primera parte (Vázquez y Manassero, 2012) se discuten también algunos temas que tienen incidencia práctica en la enseñanza de los contenidos de NdCyT. Un problema fundamental para la enseñanza de la NdCyT son las concepciones manejadas en el aula de ciencias por estudiantes y profesores, que perpetúan visiones distorsionadas sobre CyT (Acevedo et al. 2007b; Fernández et al. 2003; McComas, 1996). El diagnóstico de estas concepciones ofrece un amplio inventario de las ideas previas (inadecuadas) de los estudiantes, que pueden servir como orientación al profesorado sobre las preconcepciones acerca de NdCyT, y en consecuencia, las potenciales dificultades de aprendizaje que afrontarán los estudiantes en su aprendizaje, como ayuda base para plantear mejor la enseñanza y el aprendizaje necesarios para superarlas desde un enfoque constructivista (Bennássar et al. 2010).

Algunos temas esbozados en la primera parte también tienen su incidencia práctica en la enseñanza de los contenidos de NdCyT implementados en los currículos reales que se discuten en esta segunda (Vázquez y Manassero, 2012). Una de estos temas es el tratamiento de la interacción e integración actual entre ciencia y tecnología (Niiniluoto, 1997). Si la realidad de la ciencia actual es de integración entre ciencia y tecnología, la educación científica debería ser sensible a esta realidad y aproximarse a una visión interactiva de ambas que implica el concepto de tecnociencia. Una educación acorde con esta visión de tecnociencia se caracterizaría por utilizar elementos de ambas, tanto de ciencia como de tecnología, que servirían para aumentar la coherencia y la unidad de la educación científica, porque se corresponde con una visión más ajustada y real de la ciencia actual. Además, el concepto de tecnociencia incluye de una manera natural la conexión entre "saber" y "hacer", si esta coherencia se extiende a los procesos de aprendizaje personal, conduce también de una manera natural al concepto de "competencia científica", como capacidad integrada de conocimientos, procesos y actitudes para producir (hacer) respuestas reales a necesidades personales y colectivas. En la educación científica, el punto de vista tecno-científico, que integra ciencia y tecnología, permite conservar aquellos aspectos de experimentación y diseño en educación, que los hacen útiles para el aprendizaje, y proporciona un punto de partida mejor para la construcción de los aprendizajes de los estudiantes (Tala, 2009).

En esta segunda parte se exponen algunos desarrollos curriculares del tema NdCyT que han sido abordados por distintos países en los últimos años. El objetivo es doble: ejemplificar como los hallazgos centrales de la investigación sobre los contenidos más apropiados (consensuados) para enseñar NdCyT (detallados y justificados en la primera parte) se han llevado al currículo de distintos países, con un análisis especial del currículo español de ciencias actual, y ofrecer al profesorado de ciencias pistas y elementos que le ayuden a la implementación de los contenidos de NdCyT para la enseñanza en el aula.

Curriculos ejemplares orientados por el movimiento Ciencia-Tecnología-Sociedad

Una referencia al movimiento denominado ciencia-tecnología-sociedad (CTS), que durante más de dos décadas plantó el germen de NdC, parece inevitable y obligada como tributo a los currículos reales cuya innovación se basó en enseñar ciencia con NdCyT.

El movimiento CTS nació guiado por la idea que la educación científica, para ser inclusiva y relevante para todos, debía ser una educación “en contexto”, y que este contexto lo proveen la tecnología y la sociedad. El movimiento CTS generó documentos curriculares donde estaban ya incluidos muchos de los temas que hoy se denominan NdCyT, aunque quizá faltaba el énfasis en la epistemología (Manassero, Vázquez y Acevedo, 2001; Solomon y Aikenhead, 1994; Yager, 1992).

En 1975 se publicó en Canadá el proyecto *Science: A way of knowing* por Glen Aikenhead y su colega Reg Fleming (Aikenhead, 1979), a quienes siguieron en 1976 los británicos de la ASE (Association for Science Education) iniciando la publicación del proyecto *Science in Society* (SiS <http://www.nuffieldfoundation.org/about-course>), y en 1983 vio la luz el proyecto SISCON in the Schools (*Science in a Social Context*) dirigido por Joan Solomon (1983). Paralelamente, en Holanda se ponían las bases del Proyecto de Desarrollo de un Currículo de Física - PLON - por Harrie Eijkelhof y colegas (Eijkelhof, 1990; Eijkelhof y Lijnse, 1988).

La revisión de SiS por la ASE en los 80s produjo SATIS (*Science and Technology in Society*), que desarrolló centenares de unidades didácticas CTS (Hunt, 1988) y generó un proyecto europeo, denominado SAE (*Science Across Europe*), orientado a la participación de redes de escuelas que comparten el mismo currículo residente gratuitamente en la web, y que más tarde se amplió y extendió a todo el mundo con el nombre de SAW (*Science Across the World*, <<http://www.scienceacross.org>>). Otros proyectos notables de materiales CTS son el proyecto SALTERS de la Universidad de York (UYSEG, 1991) y el proyecto SEPUP (1992), que ofrecen diversas ramas y especialidades de ciencia general, física, química o biología.

En los EE.UU. de América cabe reseñar el proyecto ChemCom (*Chemistry in the Community* <http://www.whfreeman.com/Catalog/static/wbf/chemcom/>), promovido por la American Chemical Society, el proyecto BSCS que desarrolla varias líneas como *Biological Science Curriculum Study* (<http://www.bscs.org/about/projects.html#aha>) e *Innovations: The social consequences of Science and Technology* (BSCS, 1989). Allí, la reforma de la enseñanza de las ciencias orientada hacia una alfabetización científica y tecnológica, promovida tempranamente por la Asociación para el Progreso Científico a través del proyecto *Science for All Americans* (AAAS, 1989) cambió el rumbo CTS para empezar a utilizar formalmente el término naturaleza de la ciencia y el concepto de alfabetización científica y tecnológica (AAAS, 1993; NRC, 1996).

En español, cabe reseñar el programa pionero APQUA (*Aprendizaje de los Productos Químicos, sus Usos y Aplicaciones*), promovido por la industria y centrado en la química (Medir, 1995). Los materiales para la educación CTS *Educar para participar*, editados OEI <http://www.oei.es/publicaciones/ColeccionCTS.htm> han tenido amplia aplicación en la

formación de profesores en Iberoamérica (Martín y Osorio, 2003). No cabe olvidar tampoco la asignatura *Ciencia, Tecnología y Sociedad* surgida desde la ley de educación de 1990 como materia optativa para el bachillerato, que ofreció un perfil genuinamente CTS por primera vez en un currículo oficial español.

Muchos conciben los contenidos CTS como resaltar los aspectos sociales de la ciencia (p. e. energía) o la relación de problemas sociales con la ciencia (p. e. contaminación). Sin embargo, los especialistas siempre lucharon contra esta visión reducida y algunos hablaron de temas sociales, externos a la ciencia (los ya citados), y aspectos sociales de la ciencia, internos a la ciencia, donde repetidamente se incluyen la epistemología, la historia y la sociología de la ciencia (Aikenhead, 1994; 2000). Aikenhead (2000, p. 57) define categóricamente que "...la ciencia CTS invariablemente debe hablar de sociología, epistemología e historia de la ciencia...". Obviando la discusión sobre la mayor o menor relación entre ambas etiquetas, CTS y NdCyT, parece razonable sostener que si no hubiera existido el primero (CTS), probablemente no estaríamos hoy en el segundo (NdCyT).

Propuestas de consensos provenientes de diseños curriculares

El análisis de los currículos de ciencias que incorporan contenidos acerca de NdCyT constituyen una manifestación del consenso acerca de NdCyT (Felske, Chiappetta y Kemper, 2001), pues incorporan concepciones de consenso sobre NdCyT procedentes de las investigación didáctica, de las consideradas en la primera parte (Lederman, 2006; Bartholomew, Osborne y Ratcliffe, 2004; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar y Duschl, 2003; Acevedo, Vázquez, Manassero y Acevedo, 2007a, 2007b).

Además, el análisis de los currículos muestra también coincidencias mutuas en sus contenidos de NdCyT, como sería de esperar, ya que reflejan muchas ideas de consenso. El estudio transversal de McComas y Olson (1998), basado en el análisis de ocho documentos curriculares de diferentes países sobre NdCyT, ofrece el amplio conjunto de conceptos sobre NdCyT propuestos para la educación científica (ver listado en el [Apéndice](#)). En ellos se pueden reconocer la mayoría de las cuestiones identificadas como consensos por la investigación didáctica especializada en NdCyT, junto con otras aportaciones y formulaciones singulares, propias de cada documento.

La influyente Asociación Nacional de Profesores de Ciencias de los Estados Unidos de Norteamérica ha adoptado una posición institucional sobre la cuestión de la enseñanza de la NdCyT (<http://www.nsta.org/about/positions/natureofscience.aspx>) que pretende servir como orientación general del profesorado para la enseñanza. El análisis de esta posición ilustra también los elementos de consenso sobre NdCyT, en la forma de los siguientes principios básicos para su enseñanza:

1. El conocimiento científico es simultáneamente fiable y provisional.
2. El conocimiento científico busca explicaciones apoyadas por la evidencia empírica a través de observaciones, argumentos racionales, inferencias, escepticismo, revisión por pares y replicabilidad. No existe un único método científico universal por pasos.
3. La creatividad es un ingrediente vital, aunque personal, en el conocimiento científico.
4. La ciencia se limita a usar métodos y explicaciones naturalistas y evita recurrir a otros elementos.
5. La primera meta de la ciencia es la formación de teorías y leyes.
6. Las contribuciones a la ciencia pueden ser hechas por personas de todo el mundo.

7. El conocimiento científico es influido por el estado actual del mismo, el contexto social y cultural y las experiencias y expectativas del científico.
8. La historia de la ciencia revela cambios evolutivos y revolucionarios.
9. Aunque la ciencia y la tecnología interaccionan entre sí, existe investigación científica básica que no tiene directamente relación con resultados prácticos, sino con lograr por sí misma una comprensión del mundo natural.

El proyecto “Ciencia para todos”

La Asociación Americana para el Progreso de la Ciencia (AAAS, 1989) lanzó el proyecto nacional “Science for All Americans”, que incluye ya diversos elementos acerca de como funciona la ciencia en el mundo actual (NdCyT) en la educación científica. Desde la propuesta inicial, este proyecto ha evolucionado hacia el actual “proyecto 2061”, con unas recomendaciones más elaboradas donde los contenidos de NdCyT son explícitos y se presentan estructurados en tres temas principales (<http://www.project2061.org/esp/publications/sfaa/online/chap1.htm>).

- LA VISIÓN CIENTÍFICA DEL MUNDO
 - El mundo es comprensible
 - Las ideas científicas están sujetas a cambio
 - El conocimiento científico es duradero
 - La ciencia no puede dar respuestas completas a todas las preguntas
- LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
 - La ciencia exige evidencia
 - La ciencia es una mezcla de lógica e imaginación
 - La ciencia explica y predice
 - Los científicos tratan de identificar y evitar prejuicios y sesgos
 - La ciencia no es autoritaria
- EL PROYECTO CIENTÍFICO
 - La ciencia se organiza en un conjunto de disciplinas y la dirigen diversas instituciones
 - Hay principios éticos generalmente aceptados en la práctica científica
 - Los científicos intervienen en asuntos públicos como especialistas y como ciudadanos

Estos contenidos curriculares podrían interpretarse como indicadores firmes de la necesidad y posibilidad de enseñar NdCyT en la ciencia escolar, y además, muestran el grado de consenso respecto a la NdCyT. Sin embargo, como acertadamente observan Osborne et al. (2003), la metodología de los comités de currículos no ofrecen garantías de haber alcanzado un consenso basado en pruebas que validen sus decisiones. De hecho, algunos aspectos de ellos han suscitado críticas y provocado diferentes redacciones en las ediciones sucesivas – por ejemplo, el Project 2061 de la AAAS (1989), los Benchmarks de la AAAS (1993) y los Standards del National Research Council (NRC, 1996) en EE.UU - lo cual confirma que las decisiones curriculares de los comités puedan obedecer más a compromisos políticos de los

propios comités, para cumplir su tarea, que a una atención clara a la investigación. Por tanto, aunque los currículos de ciencias publicados suponen una referencia insustituible, quedaría aún pendiente la tarea de fundamentar mejor los potenciales acuerdos respecto a la NdCyT.

El proyecto “Ciencia del siglo XXI”

El estudio empírico de Osborne et al. (2003) ha dado origen a un proyecto denominado “Ciencia del siglo XXI” (Twenty First Century Science), que incluye una propuesta para enseñar NdCyT a través de los contenidos que denominan ideas-sobre-la-ciencia (Bartholomew et al. 2004; Millar, 2006). Este proyecto para estudiantes de secundaria propone una enseñanza de la ciencia en contexto centrada en el concepto de alfabetización científica y organizada en módulos de contenidos, cada uno de los cuales siempre presenta dos elementos fundamentales: las explicaciones científicas y las ideas-sobre-la-ciencia (o NdCyT). El pilotaje, desarrollo curricular e implantación de este proyecto desde la Universidad de York pueden considerarse procesos fecundos y ejemplares para la enseñanza de la ciencia, en general, y para la NdCyT, en particular (Millar, 2005; Millar, Holman, Hunt, Lazonby y Milner, 2002).

Los contenidos para la NdCyT (ideas-sobre-la-ciencia) se agrupan en seis grandes ámbitos:

1. *Los datos y sus limitaciones.*
2. *Correlación y causa.*
3. *Teorías.*
4. *La comunidad científica.*
5. *Riesgo.*
6. *Toma de decisiones sobre ciencia y tecnología.*

Cada uno de estos ámbitos se desdobra, sucesivamente, en otros objetivos de aprendizaje más concretos que muestran con más claridad las concepciones consensuadas sobre NdCyT. Por ejemplo, uno de los objetivos del último de ellos es:

Los estudiantes deben comprender que en la evaluación de cualquier aplicación de la ciencia, los beneficios deben sopesarse frente a los costes. Una serie de factores a considerar incluyen: viabilidad técnica, coste económico, posibles repercusiones sociales y ambientales de la actualidad y en el futuro.

Para demostrar la comprensión de los estudiantes sobre cada uno de los aprendizajes anteriores se fijan conjuntos de indicadores más concretos. Por ejemplo, el anterior (costes/beneficios) tiene asignado los siguientes indicadores de logro:

En situaciones cotidianas familiares, o en el contexto de un tema científico de actualidad (el estudiante debe...):

- *Ser capaz de explicar la idea del desarrollo sostenible, y aplicarlo a situaciones específicas.*
- *Ser capaz de identificar y distinguir las cuestiones de viabilidad técnica (qué se puede hacer) y de los valores (lo que se debe hacer).*
- *Ser capaz de enumerar los principales beneficios de un curso de acción y los grupos que se beneficien.*
- *Ser capaz de explicar por qué se pueden decidir diferentes cursos de acción en diferentes contextos sociales y económicos;*
- *Ser capaces de discutir los principales costes de un curso de acción y quién los paga.*

Este proyecto curricular enfatiza especialmente el desarrollo profesional del profesorado, la formación necesaria para enseñar adecuadamente ideas-sobre-la-ciencia (NdCyT), con acento especial en la evaluación de los logros de los estudiantes.

La competencia científica de PISA y naturaleza de la ciencia y tecnología

El excesivo academicismo de la educación general y la búsqueda de objetivos más pragmáticos para las personas (formar para el trabajo, para la vida diaria, para la participación social, para el desarrollo personal, etc.) ha iniciado una innovación orientada a conseguir que los egresados del sistema educativo sean personas dotadas de capacidades prácticas, y no solo abstractas. Desde hace unos años, la educación general en todo el mundo está imbuida de un nuevo concepto estrella denominado “competencia”, y como en otros conceptos educativos complejos y amplios, los expertos no se ponen de acuerdo en una definición única.

En esta línea, un aspecto importante de la NdCyT es su vinculación con la alfabetización en CyT y el sentido operativo que se le asigna a esta a través de la introducción del concepto de competencias. Por su trascendencia mundial, el programa de evaluación internacional PISA (Programme for International Student Assessment) quizá pueda considerarse el abanderado más conspicuo de la (evaluación de la) alfabetización científica basada en el concepto de competencia, como capacidad general que integra actitudes, valores, conocimientos y destrezas (OCDE, 2008).

PISA propone una definición operativa de la alfabetización en ciencia y tecnología como:

“la comprensión de las características de la naturaleza de la ciencia, como una forma de conocimiento e indagación humanas, la conciencia de cómo la ciencia y la tecnología conforman nuestro ambiente material, intelectual y cultural, y la voluntad para involucrarse en asuntos relacionados con la ciencia, como un ciudadano constructivo, comprometido y reflexivo”.

Esta definición presenta la competencia científica como competencia general que integra actitudes, valores, conocimientos y destrezas, y disposiciones para la acción, personal y social y es un indicador de la alfabetización en CyT. Ambos son rasgos novedosos para la educación científica, pues ponen de relieve claramente que la NdCyT está en el centro de los objetivos educativos para lograr competencia científica. Así lo expresa la cita siguiente de PISA:

“...la comprensión de los rasgos característicos de la ciencia, entendida como un método del conocimiento y la investigación humanas, la percepción del modo en que la ciencia y la tecnología conforman nuestro entorno material...”.

PISA explicita el reconocimiento de la NdCyT como componente de la competencia científica, de modo que sus aportaciones de PISA también son interesantes para reafirmar el consenso sobre contenidos relevantes de la NdCyT desde una perspectiva de competencia.

Operacionalmente, PISA separa la competencia científica en tres sub-competencias, cada una de las cuales, a su vez, se desglosa en los nueve indicadores siguientes:

1. La identificación de pruebas científicas se desglosa en las dimensiones:
 - 1.1 Reconocer cuestiones investigables desde la ciencia*;
 - 1.2 Utilizar estrategias de búsqueda de información científica, comprenderla y seleccionarla;
 - 1.3 Reconocer los rasgos clave de la investigación científica: relevancia, variables incidentes y control, diseño y realización de experiencias*.

2. La explicación científica de fenómenos incluye las dimensiones:
 - 2.1. Aplicar los conocimientos de la ciencia a una situación determinada;
 - 2.2 Describir o interpretar fenómenos científicamente y predecir cambios*;
 - 2.3 Reconocer descripciones, explicaciones y predicciones pertinentes.
3. La utilización de pruebas científicas distingue tres dimensiones:
 - 3.1 Interpretar pruebas científicas, elaborar y comunicar conclusiones;
 - 3.2 Argumentar en pro y en contra de conclusiones e identificar los supuestos, las pruebas y los razonamientos en la obtención de las mismas*;
 - 3.3 Reflexionar sobre las implicaciones sociales de los avances científicos y tecnológicos*.

Estos indicadores PISA van más allá de los contenidos tradicionales de la ciencia, y algunos de ellos constituyen diferentes aspectos de saberes “sobre” la CyT, esto es, de NdCyT (señalados con *). Aunque aún son indicadores generales, una inspección de los reactivos de evaluación que los operacionalizan en las sucesivas pruebas de PISA permite concretarlos mejor.

No hay aquí espacio suficiente para un análisis exhaustivo de esta operacionalización, pero se trae un ejemplo, extraído de la ingente muestra de reactivos empleados en la evaluación PISA 2000 de ciencias (primera oleada de PISA), y referido a reconocer cuestiones investigables desde la ciencia (OCDE, 2002). El reactivo incluye una lectura sobre el agujero de ozono y, entre otras, plantea la pregunta siguiente, relacionada con los límites de la investigación científica:

¿Cuál de estas dos preguntas puede ser respondida mediante la investigación científica?

1. *La incertidumbre científica acerca de la influencia de los CFCs sobre la capa de ozono ¿es razón para que los gobiernos no tomen medidas al respecto?*
2. *¿Cuál sería la concentración de CFCs en la atmósfera en el año 2002 si el ritmo de emisión de CFCs hacia la atmósfera sigue al mismo ritmo que el actual?*

En suma, los marcos PISA para evaluación de la competencia científica confirman la importancia de la NdCyT como componente relevante de esta competencia.

La naturaleza de la ciencia (y tecnología) en el currículo español: la competencia científica (y tecnológica)

El currículo español actual, emanado de la Ley Orgánica de Educación (2006), opta por la definición de ocho competencias básicas como ejes transversales de todos los currículos de la educación obligatoria. Una de estas ocho competencias es la competencia relacionada con la ciencia, que se denomina “conocimiento e interacción con el mundo físico” (CIMFI), definida así:

“la habilidad para interactuar con el mundo físico, tanto en los aspectos naturales como en los generados por la acción humana, de tal modo que se posibilita la comprensión de sucesos, la predicción de consecuencias y la actividad dirigida a la mejora y preservación de las condiciones de vida propia, de las demás personas y del resto de los seres vivos”.

La CIMFI está orientada a la comprensión, pero también a la predicción (una actividad genuinamente científica) y a las conductas que contribuyan a la mejora y preservación de las condiciones de vida para todos los seres. De esta definición se infiere que la competencia se

centra en los aspectos de intervención (interactuar, comprender, predecir, actuar), y además de la ciencia (los aspectos naturales), incluye también la tecnología (los generados por la acción humana). Ha sido desarrollada en un amplio texto legal (MEC, 2007b) cuyo análisis permite extractar las habilidades, como indicadores más específicos de la CIMFI, que se desarrollan en los párrafos siguientes (en cursiva, se resaltan aquellas dimensiones relacionadas con la NdCyT).

–Desarrollar y aplicar el pensamiento científico-técnico básico para interpretar el mundo

- Comprender y controlar conceptos, principios y fenómenos
- Percepción del entorno cercano y lejano,
- Control del cuerpo y salud,
- Movimientos
- Predecir, anticipar, explicar sucesos
- Interpretar información y los avances científicos y tecnológicos*

–Tomar decisiones con autonomía e iniciativa personal (salud, actividad productiva, consumo, ciencia, procesos tecnológicos, etc.)

- Cuidar el medio ambiente:*

- uso responsable de los recursos naturales,*
- consumo racional y responsable,*
- Planificación y manejo de soluciones técnicas, siguiendo criterios de economía y eficacia (sostenibilidad),*
- Protección de la salud individual y colectiva
- Satisfacer las necesidades de la vida cotidiana y del mundo,
- Destrezas laborales para la vida

–Practicar los procesos y actitudes propios de indagación científica (el meta-conocimiento inter-disciplinar relacionado con estos procesos y actitudes, aunque sea elemental, sería NdCyT):

- Identificar y plantear preguntas y problemas relevantes;*
- Identificar el conocimiento necesario para responder preguntas científicas
- Realizar y registrar observaciones con conciencia del marco teórico*
- Localizar, obtener, analizar y representar información cualitativa y cuantitativa
- Plantear, planificar y contrastar soluciones tentativas o hipótesis*
- Realizar predicciones e inferencias de distinto nivel de complejidad*
- Obtener, interpretar, evaluar y comunicar conclusiones basadas en pruebas*

–*Valorar el conocimiento científico y otras formas de conocimiento*

- Usar valores y criterios éticos asociados a la ciencia y tecnología*
- Reconocer las fortalezas y límites de la actividad científico-tecnológica*
- Mantener la solidaridad global e intergeneracional (sostenibilidad)*
- Construcción social del conocimiento a lo largo de la historia.*

En suma, los planteamientos educativos sobre los temas de NdCyT son diversos y utilizan diferentes recursos y términos retóricos propios de cada contexto cultural. Esta retórica no siempre es coincidente con los términos técnicos más depurados de la investigación en NdCyT, lo cual es una dificultad añadida para la enseñanza de la NdCyT pues la hace más compleja, y seguramente, contribuye a confundir al profesorado innovador o disuadir a los menos dispuestos a innovar.

La naturaleza de la ciencia (y tecnología) en el currículo español: los contenidos comunes

La competencia científica CIMFI se desarrolla en los distintos cursos de la educación básica a través de los currículos de las asignaturas de ciencias (LOE, 2006; MEC, 2007a, 2007b), que muestran los contenidos más explícitos de NdCyT en la educación secundaria obligatoria y en las materias de bachillerato (Ciencias para el Mundo Contemporáneo, Física, Química, Biología, etc.). El diseño elegido es insertar un bloque denominado *contenidos comunes* en la mayoría de las asignaturas (aunque no en todas). Además, de manera menos sistemática, se incluyen también menciones a distintos aspectos de NdCyT en otros elementos del currículo mínimo (contenidos, objetivos, criterios de evaluación). En este aspecto, se subraya el análisis minucioso del currículo frente a su estructuración en base a un sistema clasificatorio previo (p. e. basado en consensos), tal vez de mayor interés académico, pero de menor interés para la práctica educativa. Explícitamente, pues, se evita imponer ningún esquema previo, que pueda enmascarar los contenidos directos, para analizar estos tal como aparecen redactados en el currículo que reciben los profesores.

La naturaleza de la ciencia y tecnología en la educación secundaria obligatoria (ESO)

Los contenidos comunes constituyen el primer bloque de contenidos para cada asignatura de la educación secundaria obligatoria (ESO), y aunque su redacción en los cursos sucesivos es diferente (MEC, 2007a), las diferencias no son fáciles de advertir. Las diferencias de redacción parecen más bien aleatorias y, por ello, se juzgan más como producto de descoordinación entre los redactores, que como deseo de graduarlos y adaptarlos a cada curso o asignatura. Este propósito no se puede confirmar, pues no se aprecia una gradación clara de conceptos, y por ello, resulta didácticamente equívoca y quizás inductora de confusión, y un inconveniente adicional para su adecuada enseñanza.

Los contenidos comunes proponen una miscelánea de cuestiones, que se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- búsqueda de información con tecnologías de la información y comunicación (TICs),
- acatamiento de normas de uso y seguridad en el laboratorio,
- autonomía y creatividad,
- procesos de indagación científica, y
- ciencia, tecnología y sociedad.

El contenido real de NdCyT en las dos primeras cuestiones es escaso, por lo que el análisis se centrará en las siguientes. Los contenidos comunes referidos a los procesos de indagación científica en los cursos sucesivos de la ESO se esquematizan en la lista siguiente:

1. Primero y segundo cursos: Familiarización con las características básicas del trabajo científico, por medio de planteamiento de problemas, discusión de su interés,

formulación de conjeturas, diseños experimentales, etc., para comprender mejor los fenómenos naturales y resolver los problemas que su estudio plantea.

2. Tercer curso: Utilización de estrategias propias del trabajo científico como el planteamiento de problemas y discusión de su interés, la formulación y puesta a prueba de hipótesis y la interpretación de los resultados.
3. Cuarto curso: Actuación de acuerdo con el proceso de trabajo científico, planteamiento de problemas y discusión de su interés, formulación de hipótesis, estrategias y diseños experimentales, análisis e interpretación y comunicación de resultados.

La lista de contenidos anterior permite observar la repetida coincidencia de temas, pero desgraciadamente, la redacción elegida no clarifica cual es el énfasis evolutivo a lo largo de los cuatro años. La raíz de esta imprecisión reside en la misma definición del contenido. Por ejemplo, el diseño de los procesos científicos en los cursos y asignaturas de la ESO muestra diferentes expresiones poco precisas. En los cursos 1, 2 y 4 (Física y Química) se propone “Familiarización con las características básicas del trabajo científico...”, mientras en el curso 3 el contenido es “Utilización de estrategias propias del trabajo científico...” y en el curso 4 (Biología) el contenido plantea “Actuación de acuerdo con el proceso de trabajo científico...”. Se podría pensar que estas diferencias ofrecen un cierto diseño evolutivo. El formato más sencillo (familiarizarse) podría ser más adecuado para los cursos inferiores, como parece que apoyan en el caso de los cursos 1 y 2, pero esta razón deja de ser válida porque también está formulado así en el último curso (4), pero no en el curso anterior (3), lo cual quiebra la gradación de la evolución. Análogamente, “utilizar” o “actuar” parecen categorías cognitivas superiores a familiarizarse, con lo cual serían más aptas para los cursos superiores, pero no se lleva así al texto, porque solo una de las dos materias del curso superior tiene esta formulación más avanzada.

Además, en los tres primeros cursos se propone una “familiarización” pero no se resuelve cual debe ser la metodología para adaptarla evolutivamente en los cursos sucesivos (distribución de unas características por cursos, o bien graduar la profundidad de los conceptos en cada curso, o bien, una mezcla de las dos anteriores... u otras alternativas). Si acaso, la coletilla incluida en los textos de “para comprender mejor los fenómenos naturales y resolver los problemas que su estudio plantea” parece asignar un sentido meramente funcional a los conocimientos de NdCyT en los primeros cursos.

Otras imprecisiones menores se observan en algunos detalles específicos de las definiciones. Por ejemplo, en el curso 1 y 2 se emplea “formulación de conjeturas”, mientras en el curso 4 se usa “formulación de hipótesis” y en el curso 3 se propone “formulación y puesta a prueba de hipótesis”, (adiciona la puesta a prueba de hipótesis), pero no se mantiene en el curso 4 ¿por qué? ¿por qué razón se usa la doble nomenclatura de “conjeturas” e “hipótesis”? Estas imprecisiones contribuyen a la confusión y a perjudicar innecesariamente la enseñanza de estos contenidos, ya de por sí complejos.

Los contenidos comunes propuestos para la dimensión de autonomía en los sucesivos cursos de ciencias de la ESO son los siguientes:

1. Interpretación de datos e informaciones sobre la naturaleza y utilización de dicha información para conocerla.
2. Interpretación de información de carácter científico y utilización de dicha información para formarse una opinión propia, expresarse con precisión y tomar

decisiones y argumentar sobre problemas relacionados con las ciencias de la naturaleza.

3. Análisis de problemas científico-tecnológicos de incidencia e interés social, predicción de su evolución y aplicación del conocimiento en la búsqueda de soluciones a situaciones concretas.

El tercero es el más genuino de NdCyT, pues se refiere a problemas científico-tecnológicos de incidencia e interés social, es decir, la interfaz de la interacción de la CyT con la sociedad. Para la mayoría de las personas, este escenario de problemas científico-tecnológicos con incidencia e interés sociales puede ser el más habitual para percibir el impacto de CyT en sus vidas.

Los contenidos comunes referidos a la dimensión de ciencia, tecnología y sociedad en los cursos sucesivos se formulan de la siguiente manera:

1. Reconocimiento del papel del conocimiento científico en el desarrollo tecnológico y en la vida de las personas.
2. Reconocimiento de la importancia del conocimiento científico para tomar decisiones sobre los objetos y sobre uno mismo.
3. Valoración de las aportaciones de las ciencias de la naturaleza para dar respuesta a las necesidades de los seres humanos y mejorar las condiciones de su existencia, así como para apreciar y disfrutar de la diversidad natural y cultural, participando en su conservación, protección y mejora.
4. Reconocimiento de las relaciones de la física y la química (biología y la geología) con la tecnología, la sociedad y el medio ambiente, considerando las posibles aplicaciones del estudio realizado y sus repercusiones.

El diseño de estos temas de CTS muestra el perfil evolutivo más claro, con formulaciones diferenciadas para los distintos cursos, desde el más simple en el primer curso (contexto personal), a lo más complejo (relaciones, aplicaciones y repercusiones globales) en el último.

La naturaleza de la ciencia y tecnología en el Bachillerato

La asignatura Ciencias para el Mundo Contemporáneo (CCMC) es una nueva materia común para todos los estudiantes de primero de bachillerato, de cualquier modalidad, que aporta la lista más larga y sistemática de los contenidos de NdCyT. Repiten parte de los citados para ESO, y para no reiterarlos, solo se mencionan aquí los temas que son nuevos en esta asignatura respecto a los ya citados en los párrafos anteriores. Son los siguientes:

- Reconocimiento de la contribución del conocimiento científico-tecnológico a la comprensión del mundo, a la mejora de las condiciones de vida de las personas y de los seres vivos en general, a la superación de la obviedad, a la liberación de los prejuicios y a la formación del espíritu crítico.
- Disposición a reflexionar científicamente sobre cuestiones de carácter científico y tecnológico para tomar decisiones responsables en contextos personales y sociales.
- Reconocimiento de las limitaciones y errores de la ciencia y la tecnología, de algunas aplicaciones perversas y de su dependencia del contexto social y económico, a partir de hechos actuales y de casos relevantes en la historia de la ciencia y la tecnología.
- Distinción entre las cuestiones que pueden resolverse mediante respuestas basadas en observaciones y datos científicos de aquellas otras que no pueden solucionarse desde la ciencia.

La presentación de los temas comunes en CCMC ofrece la visión más completa y clara acerca de la incorporación innovadora de NdCyT y además, adopta y explica la recomendación metodológica más interesante para la enseñanza: la transversalidad. Esto implica que los contenidos de NdCyT no deben impartirse como tema aparte (el primer tema, como proponen los libros de texto), con autonomía separada, sino que deben impregnar todos los contenidos del currículo, y tenerlos siempre presentes, empapando el desarrollo de toda la asignatura, sacándolos a colación cuando sea oportuno (p. e. cuando un contenido tradicional permita exemplificar y desarrollar un tema de NdCyT).

Por el contrario, las demás asignaturas de bachillerato de la modalidad de ciencias y tecnología ofrecen el diseño más escueto de los contenidos comunes, a pesar que este nivel educativo podría considerarse el más adecuado para profundizar en la comprensión de los conceptos más complejos y epistemológicos de NdCyT. Para empezar, no todas las asignaturas siguen el diseño de contenidos comunes; solo Física y Química (1), Física (2) y Química (2) ofrecen la siguiente breve e idéntica redacción común a todas ellas:

- Utilización de estrategias básicas de la actividad científica tales como el planteamiento de problemas y la toma de decisiones acerca del interés y la conveniencia o no de su estudio; formulación de hipótesis, elaboración de estrategias de resolución y de diseños experimentales y análisis de los resultados y de su fiabilidad.
- Búsqueda, selección y comunicación de información y de resultados utilizando la terminología adecuada.

Las otras asignaturas de ciencias en bachillerato no presentan un bloque de contenidos comunes, rompiendo este diseño curricular. Los contenidos de NdCyT aparecen subrepticiamente en otras partes del currículo (objetivos o criterios de evaluación). Aunque esta ruptura del diseño curricular vuelve a contribuir a la confusión y, por ello, perjudica la enseñanza y aprendizaje de los contenidos de NdCyT, estos ofrecen cierta riqueza y mejor contextualización en los contenidos de cada asignatura.

Discusión y conclusiones

En este artículo (y su correlato necesario de la primera parte) se ha tratado de exponer el concepto de conocimiento “sobre” la ciencia o también denominado naturaleza de la ciencia (y tecnología) – NdCyT -, que constituye una innovación actual de la educación científica en todo el mundo, en el marco de una educación científica basada en la alfabetización científica o competencia científica para todos. Como base conceptual, se ha expandido el concepto clásico de naturaleza de la ciencia desde la epistemología de la ciencia hasta englobar las relaciones mutuas de la ciencia con la tecnología y la sociedad, y de ahí la denominación de naturaleza de la ciencia y la tecnología (NdCyT) empleada en este artículo. En realidad, esta conceptualización ampliada es propuesta por la mayoría de los especialistas, más o menos explícitamente, aunque conserven la denominación simple de naturaleza de la ciencia, y en la práctica, cultiven el reduccionismo hacia la mera epistemología (ver una justificación más fundamentada en la primera parte).

El análisis de los currículos actuales, expuesto en esta segunda parte, se ha centrado especialmente en el currículo español y el influyente proyecto PISA de la OCDE (2008), como expresión actualizada del enfoque por competencias adoptado para la alfabetización científica y tecnológica para todos. La línea argumental ha consistido en exponer los contenidos consensuados en la investigación didáctica (desarrollados en la primera parte) para analizar e identificar los elementos de NdCyT presentes en estos proyectos, especialmente en los currículos españoles de educación secundaria (con el propósito implícito de comprobar la

potencial concomitancia con las propuestas de contenidos de consenso emanadas de la investigación).

Las perspectivas resultantes del análisis de los currículos para la enseñanza de la NdCyT son múltiples y complejas, pues mientras las formulaciones y distribución de contenidos de NdCyT de los currículos extranjeros manifiestan una mayor concomitancia con la investigación, el diseño curricular español, aunque voluntarista y formalmente innovador, no ofrece un marco especialmente organizado, coherente y robusto. Por el contrario, los contenidos de NdCyT en las materias y asignaturas de ciencias parecen heterogéneos, carentes de un marco común (a pesar de su nombre) y mixtificados y descoordinados entre sí. La constatación de la ausencia de un marco común (que no igualitario) se deriva de las poco articuladas y diferentes redacciones de los mismos elementos de NdCyT en las asignaturas de ESO y bachillerato. La propuesta de contenidos comunes parece acertada (aunque con más propiedad deberían denominarse transversales), pero su redacción desigual y poco coherente entre cursos, se limita a repetir conceptos y planteamientos, y falla en asignar un mínimo orden evolutivo a estos contenidos, con escasa adaptación a lo largo de los cursos sucesivos, dificultando la pretendida transversalidad. Por otro lado, la mayoría de los contenidos de NdCyT aparecen en los bloques de contenidos comunes, pero también aparecen menciones aisladas y muy importantes, en otros elementos del currículo, como los objetivos o los criterios de evaluación, lo cual contribuye más a la falta de robustez del modelo.

En general, el diseño de los contenidos de NdCyT en los contenidos comunes está faltó de precisión, estructura y graduación evolutiva a través de los sucesivos niveles, especialmente en ESO, aunque éste nivel podría parecer el currículo más sencillo de diseñar. La raíz de la imprecisión reside en la definición de contenidos, pues emplean diferentes y confusas expresiones como “familiarizarse”, “utilizar” o “actuar”, no equivalentes. Los matices diferenciales entre las diferentes materias de cursos sucesivos no parecen obedecer a un criterio didáctico determinado y útil, como pueda ser la adaptación evolutiva o la calidad didáctica, con lo cual las diferencias se quedan en una mera imprecisión de redacción, que contribuye más a la confusión que a la clarificación, y en consecuencia, a perjudicar su aplicación en el aula.

El diseño curricular de la NdCyT en el bachillerato es aún más anárquico, pues aunque CCMC ofrece un diseño del bloque de contenidos comunes amplio y presenta una extensión y profundidad aceptable, y acorde con los contenidos de la asignatura, la mayoría de las asignaturas (excepto las Físicas y Químicas) no usan ya el bloque de contenidos comunes. En cambio, insertan menciones aisladas e incidentales en objetivos o criterios de evaluación aún más desestructuradas. Por ello, para mantener las prescripciones curriculares, se recomienda al profesorado tomar los contenidos de NdCyT de la asignatura CCMC como referencia global del desarrollo curricular de estos temas, tanto en los cursos anteriores como en las asignaturas de bachillerato, para generar una planificación adaptada evolutivamente a la edad y elecciones de los estudiantes. El método consistiría en tomar el esquema de categorías del marco de referencia general de concepciones consensuadas y completarlo con los contenidos comunes de CCMC, el más aproximado y coherente con el marco general de concepciones consensuadas (ver primera parte, Vázquez y Manassero, 2012), situar sobre esa matriz los contenidos curriculares de los diferentes cursos y asignaturas, a los que se pueden añadir concepciones consensuadas concretas (tabla 1).

Marco de referencia de NdCyT: Dimensiones	Contenidos comunes		Concepción específica de NdCyT a enseñar: ejemplos para 1r. curso de ESO
	Ciencias para el Mundo Contemporáneo	Ciencias de la Naturaleza 1r. curso de ESO	
1.Definiciones de ciencia y tecnología y sus relaciones mutuas	Dependencia de la ciencia y la tecnología, a partir de hechos actuales y de casos relevantes en la historia de la ciencia y la tecnología.	Reconocimiento del papel del conocimiento científico en el desarrollo tecnológico.	El invento del telescopio (Galileo) y su aplicación en la observación de la Luna y los planetas
2.Epistemología de la ciencia	Distinción entre las cuestiones que pueden resolverse mediante respuestas basadas en observaciones y datos científicos de aquellas otras que no pueden solucionarse desde la ciencia. Diferenciación entre opiniones y afirmaciones basadas en datos.	Familiarización con las características básicas del trabajo científico, por medio de: planteamiento de problemas, discusión de su interés, formulación de conjetas, experimentación, etc., para comprender mejor los fenómenos naturales y resolver los problemas que su estudio plantea. Interpretación de datos e informaciones sobre la naturaleza y utilización de dicha información para conocerla.	Epistemología de la observación: Distinción entre datos de observación y las interpretaciones de los datos (inferencias)
3.La sociología interna de la ciencia y tecnología	Reconocimiento de las limitaciones y errores de la ciencia y la tecnología, y de algunas aplicaciones perversas, a partir de hechos actuales y de casos relevantes en la historia de la ciencia y la tecnología.		Marie Curie: el descubrimiento de la radiactividad y la leucemia
4.La influencia de la sociedad sobre la ciencia y la tecnología	Dependencia de la ciencia y la tecnología del contexto social y económico, a partir de hechos actuales y de casos relevantes en la historia de la ciencia y la tecnología.		Aristóteles defendió el modelo geocéntrico y su autoridad cultural y académica de siglos fue un obstáculo para aceptar el modelo heliocéntrico
5.La influencia de la ciencia y la tecnología sobre la sociedad	Análisis de problemas científico-tecnológicos de incidencia e interés social, predicción de su evolución y aplicación del conocimiento en la búsqueda de soluciones a situaciones concretas. Disposición a reflexionar científicamente sobre cuestiones de carácter científico y tecnológico para tomar decisiones responsables en contextos personales y sociales. Reconocimiento de la contribución del conocimiento científico-tecnológico a la comprensión del mundo, a la mejora de las condiciones de vida de las personas y de los seres vivos en general, a la superación de la obviedad, a la liberación de los prejuicios y a la formación del espíritu crítico.	Reconocimiento del papel del conocimiento científico en la vida de las personas.	La separación de basuras y su impacto en el cuidado del medio ambiente

Tabla 1. Aplicaciones sencillas del marco de referencia de naturaleza de la ciencia y tecnología al desarrollo de los contenidos comunes de dos asignaturas del currículo español y ejemplos de ideas específicas sobre NdCyT en cada dimensión que puede proveer el desarrollo de concepciones consensuadas en cada dimensión.

Marco de referencia de NdCyT: Dimensiones	Contenidos comunes		Concepción específica de NdCyT a enseñar: ejemplos para 1r. curso de ESO
	Ciencias para el Mundo Contemporáneo	Ciencias de la Naturaleza 1r. curso de ESO	
6.La educación en ciencia y tecnología	Búsqueda, comprensión y selección de información científica relevante de diferentes fuentes para dar respuesta a los interrogantes.	Utilización de los medios de comunicación y las tecnologías de la información para seleccionar información sobre el medio natural. Utilización cuidadosa de los materiales e instrumentos básicos de un laboratorio y respeto por las normas de seguridad en el mismo.	Las posibilidades de información y comunicación de los teléfonos móviles: ventajas e inconvenientes de las tecnologías.

Tabla 1. (Continuación)

Esta defectuosa planificación curricular es un inconveniente general para la enseñanza de la NdCyT, pues la relega, cuando no induce a interpretaciones reduccionistas del profesorado que la deforman. Aunque existen contenidos curriculares genuinos de NdCyT, que solo es posible interpretarlos como contenidos de NdCyT (p. e. los límites de la ciencia), la imprecisa definición de otros puede contribuir también a su relegación. La potencial confusión entre los denominados “procesos de indagación científica” y NdCyT, que se ha mencionado en la primera parte (Vázquez y Manassero, 2012) es el ejemplo más destacado de este reduccionismo inducido y que requiere una mayor conciencia del profesorado sobre lo que está enseñando, en cada caso. En particular, el currículo no clarifica el aprendizaje de un contenido curricular, que puede ser entendido bien como proceso o bien como concepto de NdCyT. La confusión entre NdCyT y procesos conduce a la interpretación reduccionista de contenidos NdCyT, sólo como procesos, es decir, como “práctica de destrezas de saber hacer”, excluyendo su enseñanza explícita y reflexiva como auténticos conocimientos “sobre” la ciencia o NdCyT (Lederman, 2006). Los profesores que no distiernen ambos pueden creer, erróneamente, que cuando enseñan procesos (p. e. enseñan a crear hipótesis), están enseñando epistemología de la ciencia – NdCyT -, cuando no es así. Por ejemplo, la práctica del proceso de crear hipótesis no garantiza el aprendizaje del concepto, la trascendencia y el sentido epistemológico que cumplen las hipótesis en el trabajo de los científicos.

Esta confusión contribuye a distorsionar la enseñanza de NdCyT, en lo que se podría denominar la creencia ingenua en la “enseñanza implícita de la NdCyT”, es decir, creer que los estudiantes comprenden NdCyT porque han practicado procesos de CyT. A pesar de la falta de efectividad de la enseñanza implícita, también debe reiterarse que la proximidad de ambos contenidos puede y debe explotarse didácticamente; de hecho, la indagación es un contexto apropiado para enseñar NdCyT con las necesarias adiciones explícitas. La investigación sugiere aprovechar la indagación (o procesos de la ciencia) como contexto para enseñar NdCyT, de modo que las actividades de indagación, además de enseñar destrezas de procesos, constituyan también un contexto adecuado para enseñar NdCyT, pero solo si se añaden actividades concretas, explícitas y reflexivas para ese fin (Akerson y Hanuscin, 2007; Schwartz, Lederman y Crawford, 2004).

En general, para lograr una enseñanza efectiva de NdCyT sus contenidos deben ser claramente discernidos de otros contenidos de la ciencia diferentes, aunque próximos. Este discernimiento es crucial, porque los resultados actuales de la investigación proponen que,

para ser eficaz, la enseñanza de NdCyT debe ser explícita y reflexiva. Ambas condiciones, explícita y reflexiva, constituyen un criterio de demarcación para discernir entre la enseñanza eficaz de NdCyT de la que no lo es (Acevedo, 2008; Akerson, Abd-el-Khalick y Lederman, 2000). Hacer explícita la enseñanza de la NdCyT, una vez fijados unos contenidos, requiere reconocer la NdCyT como objetivo de aprendizaje diferenciado y diseñar su correspondiente desarrollo curricular, es decir, planificar, diseñar unidades, secuencias y actividades didácticas (concretas y explícitas), metodologías de enseñanza (que deben incluir procesos de reflexión), junto con instrumentos y actividades de evaluación (Acevedo, 2008; Akerson, Morrison y Mcduffie, 2006; Duschl, 2000). Se recomienda, pues, a los profesores que sean conscientes de plantear la enseñanza de los conceptos de NdCyT como meta-conocimiento acerca de la CyT, y no solo como procesos o destrezas.

La enseñanza de NdCyT tiene también una función importante en la educación científica: debe dar sentido e imponer la coherencia de sus principios a todo el currículo científico escolar, de modo que todos sus elementos (objetivos, contenidos, metodología, evaluación, actividades) mantengan un nivel de concordancia exigente con los principios de NdCyT expresados en las concepciones consensuadas (Bennàssar et al. 2010). Por ejemplo, si el conocimiento científico es hipotético y provisional, la argumentación y la controversia para la comprensión deben ser instrumentos sustanciales de la actividad de enseñanza en el aula; por el contrario, el aprendizaje enciclopédico o memorístico son incompatibles con ellos.

Los libros de texto no ayudan a dar sentido e impregnar la enseñanza con NdCyT, pues se aferran al síndrome de “todo en el primer tema”, es decir, concentrar en un primer capítulo todo lo que no es ciencia canónica tradicional (método científico, imagen de los científicos, impacto de ciencia y tecnología, precisión e incertidumbre, etc.). Con ello, en el resto del libro (o del currículo) olvidan que la coherencia con ellos es obligada y continua. Lograr y mantener esta coherencia concierne al profesorado, que debe desarrollar la adecuación entre contenidos y objetivos generales de la educación con los principios de NdCyT; pero también concierne a todos los agentes educativos (editoriales, centros educativos, autoridades, profesores, etc.) implicados en el desarrollo del currículo. Desde esta perspectiva, la transversalidad de la NdCyT a través de todo el currículo es una buena estrategia para dar sentido a los contenidos tradicionales del currículo, y es acorde con las recomendaciones de la literatura especializada para la enseñanza de la NdCyT (Millar, 2006). Se recomienda al profesorado que, para dar sentido científico a la educación, impregne todos los contenidos canónicos del currículo científico con los principios de NdCyT, representados por las concepciones consensuadas de NdCyT.

Los defectos mencionados del diseño curricular español de los contenidos de NdCyT no facilitan su enseñanza en el aula y no son positivos para una educación científica de calidad. La enseñanza de la NdCyT debe superar estos conflictos específicos, pero también debe superar otras dificultades clásicas de la implantación de una innovación:

- Superación de las resistencias personales e institucionales a los cambios
- Formación del profesorado seria y explícita sobre los temas de NdCyT
- Diseño de materiales apropiados para desarrollar en el aula los temas sobre NdCyT
- Aplicación real y efectiva en el aula por el profesorado de la formación y los materiales adquiridos sobre NdCyT

Parte de la investigación citada demuestra que muchos profesores sostienen preconcepciones desinformadas y no tienen una formación apropiada sobre la NdCyT. Si el profesorado debe enseñar estas cuestiones innovadoras, debe priorizarse la formación que proporcione

competencia para enseñarlas correctamente, aunque no debe ocultarse que su genuina complejidad y su evolución dialéctica exigen una perspectiva crítica de la enseñanza y la formación del profesorado (Lederman, 1999; Vázquez y Manassero, 2012).

Los currículos españoles de la educación secundaria obligatoria (ESO) y bachillerato incluyen inequívocamente contenidos de NdCyT y tienen fuerza normativa. Por tanto, esos contenidos deben ser enseñados en las aulas de ciencias por el profesorado de ciencias, a pesar de (o contando con) los defectos e inconvenientes que pueden empañar su traslado al aula. No basta el voluntarismo del profesorado más emprendedor, sino la participación de todos para dar sentido a la educación en ciencias, para lo cual son necesarios materiales apropiados, una buena formación específica y la intención general del profesorado de enseñarlos. Se recomienda al profesorado que equípare los contenidos de NdCyT a enseñar con los demás contenidos, es decir, planificándolos equitativamente en sus programaciones de aula, e incluyéndolos también en la evaluación.

Las concepciones consensuadas sobre NdCyT constituyen la referencia concreta para el desarrollo natural del currículo de NdCyT y la formación del profesorado. Como ya se presentó al inicio de este artículo y en la tabla 1 el sencillo marco de referencia de seis dimensiones permite clasificar la multiplicidad de contenidos curriculares y concepciones (tabla 1), de modo que ayuda a plantear el desarrollo del currículo de NdCyT y la mejora de los factores determinantes de su calidad mencionados en los párrafos anteriores, tales como los defectos del diseño curricular, los factores opuestos a la innovación de enseñar NdCyT y, en definitiva, el logro de la competencia (alfabetización) científica y tecnológica de calidad para todos los estudiantes, adaptada a cada nivel educativo.

Referencias

- AAAS American Association for the Advancement of Science (1989). *Project 2061: Science for all Americans*. Washington DC: AAAS.
- AAAS American Association for the Advancement of Science (1993). *Project 2061. Benchmarks for science literacy*. New York, NY: Oxford University Press.
- 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., 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>.
- Aikenhead, G. S. (1979). Science: A Way of Knowing. *Science Teacher*, 46, 6, 23-25.
- Aikenhead, G. S. (2000). STS Science in Canada: From Policy to Student Evaluation. En D. Kumar y D. Chubin (Eds.) *Science, Technology, & Society: A Source Book on Research and Practice* (pp. 49-89). New York: Kluwer Academic Press.
- 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., 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., 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.
- Bartholomew, H., Osborne, J. y Ratcliffe, M. (2004). Teaching students ideas-about-science: five dimensions of effective practice. *Science Education*, 88(5), 655-682.
- Bennássar, A., Vázquez, A., Manassero M. A., García-Carmona, A. (Coor.). (2010). *Ciencia, tecnología y sociedad en Iberoamérica: Una evaluación de la comprensión de la naturaleza de ciencia y tecnología*. Madrid: Centro de Altos Estudios Universitarios de la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI). Consultado 28/3/2011 en www.oei.es/salactsi/DOCUMENTO5vf.pdf
- BSCS (1989). *Innovations: The social consequences of science and technology*. Dubuque, IA: Kendall/Hunt.
- 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.
- Eijkelhof, H.M.C. (1990). *Radiation and risk in physics education*. Utrecht, The Netherlands: Centre for Science and Mathematics Education, Utrecht University.
- Eijkelhof, H.M.C., y Lijnse, P. (1988). The role of research and development to improve STS education: Experiences from the PLON project. *International Journal of Science Education*, 10, 464-474.
- Felske, D. D., Chiappetta, E. y Kemper, J. (2001). *A historical examination of the nature of science and its consensus in Benchmarks and Standards*. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, St. Louis, MO.
- Fernández, I., Gil, D., Vilches, A., Valdés, P., Cachapuz, A., Praia, J. y Salinas J. (2003). El olvido de la tecnología como refuerzo de las visiones deformadas de la ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3). Consultado 12/12/2010 en <<http://www.saum.uvigo.es/reec/>>
- Hunt, J.A. (1988). SATIS approaches to STS. *International Journal of Science Education*, 10, 409-420.
- 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. (2006). Syntax of Nature of Science within Inquiry and Science Instruction. In L. B. Flick and N. G. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science* (pp. 301-317). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Manassero, M.A., Vázquez, A. y Acevedo, J.A. (2001). *Avaluació de temes de ciència, tecnologia i societat*. Palma de Mallorca: Conselleria d' Educació i Cultura.
- Martín Gordillo, M. y Osorio, C. (2003). Educar para participar en ciencia y tecnología. Un proyecto para la difusión de la cultura científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 32, 165-210. Consultado 7/7/2011 en <http://www.rieoci.org/rie32.htm>

- McComas, W.F. (1996). Ten Myths of Science: reexamining what we think we know about the nature of science. *School Science and Mathematics*, 96(1), 10-16.
- McComas, W. F. y Olson, J. K. (1998). The nature of science in international science education standards documents. En W. F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education: rationales and strategies* (pp. 41-52). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- MEC (2007a). Real Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas. *BOE*, 266, 45381-45477.
- MEC (2007b). Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria. *BOE*, 5, 677-773.
- Medir, M. (1995). El proyecto APQUA. *Alambique*, 3, 53-60.
- Millar, R. (2005). Contextualised science courses: Where next? En P. Nentwig y D. Waddington (Eds.), *Making it relevant. Context based learning of science*, pp. 323-346, New York, Waxmann Münster.
- 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.
- Millar, R., Holman, J.S., Hunt, A., Lazonby, J. y Milner, B. (2002). *21st Century. Science GCSE pilot development: Final report to QCA*. York: University of York.
- Niiniluoto, I. (1997). Ciencia frente a Tecnología: ¿Diferencia o identidad? *Arbor*, 620, 285-299.
- NRC National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. National Washington, DC: Academic Press.
- OCDE (ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS) (2002). *Muestra de reactivos empleados en la evaluación PISA 2000*. Madrid: Santillana. Consultado 2/07/2011 en http://www.oecd.org/document/51/0,3746,en_32252351_32235731_39732595_1_1_1,1,00.html
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) (2008), *Informe PISA 2006. Competencias científicas para el mundo del mañana*. Madrid: Santillana Educación.
- 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.
- 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.
- SEPUP Annual Report (1992). *Science education for public understanding program*. Lawrence Hall of Science, Berkeley: University of California at Berkeley.
- Solomon, J. (1983). *Science in a social context (SISCON)-in-schools*. Oxford: Basil Blackwell.
- Solomon, J. y Aikenhead, G.S. (1994). *STS Education: International Perspectives on Reform*. New York: Teachers College Press.
- Tala, S. (2009). Unified View of Science and Technology for Education: Technoscience and Technoscience Education. *Science & Education*, 18, 275–298

- Vázquez, A. y Manassero, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica. Manuscrito aceptado para publicación *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 2-33. En línea en: <http://reuredc.uca.es>
- UYSEG University of York Science Education Group (1991). *Salters' science*. York, U.K.: (UYSEG).
- Yager, R.E. (1992). *The science, technology, society movement*. Washington, DC: National Science Teachers Association.

Apéndice

Contenidos de naturaleza de la ciencia (y tecnología) que aparecen en Proyectos Curriculares nacionales de EE.UU. (Benchmarks), EE.UU. (California), EE.UU. (Nat. Ciencia), Australia, EE.UU. (Grados), Inglaterra / Gales, Nueva Zelanda y Canadá.

- El conocimiento científico es estable
- El conocimiento científico es provisional
- La ciencia nunca será acabada
- La ciencia confía en la evidencia empírica
- La ciencia confía en los argumentos lógicos
- La ciencia confía en el escepticismo
- La ciencia busca ser objetiva
- La ciencia busca ser verificable
- La ciencia busca ser consistente
- La ciencia busca ser precisa
- El conocimiento científico está basado en la observación
- El conocimiento científico está basado en la evidencia experimental
- El conocimiento científico está basado en el análisis cuidadoso
- El cambio en la ciencia es el resultado de la información sobre las mejores teorías
- Hay muchas maneras de hacer las investigaciones científicas
- La ciencia tiene limitaciones inherentes
- La ciencia es un esfuerzo por explicar los fenómenos
- Para aprender sobre como opera la ciencia, es vital...
 - La observación
 - La hipótesis
 - La ley
 - La teoría
 - La inferencia
 - Los Modelos
- Todas las culturas pueden contribuir a la ciencia
- La ciencia es un esfuerzo humano
- El nuevo conocimiento debe informarse claramente y abiertamente
- Científicos toman las decisiones éticas
- La ciencia exige exactitud en los registros
- La ciencia exige la revisión de los pares
- La ciencia exige la replicabilidad
- La ciencia exige publicar informes verdaderos
- Los científicos trabajan en equipo
- Las observaciones están cargadas de teoría
- Los científicos deben estar abiertos a nuevas ideas
- Los científicos deben ser intelectualmente honrados
- Los científicos son creativos
- Frecuentemente se han rechazado las nuevas ideas científicas
- El pasado ilumina la práctica científica actual
- El cambio en la ciencia ocurre gradualmente
- El cambio en la ciencia ocurre a través de revoluciones
- La investigación científica se dicta por los paradigmas dominantes
- La investigación científica se dicta por los intereses nacionales y / o corporativos
- La ciencia tiene implicaciones globales
- La tecnología ha impactado a la ciencia
- La ciencia es parte de la tradición intelectual
- La ciencia es parte de la tradición social
- La ciencia es parte de la tradición cultural
- La ciencia ha jugado un papel importante en la tecnología
- La ciencia ha estado en el centro de muchas controversias
- Las ideas científicas son influidas por su entorno social e histórico
- La ciencia se construye sobre lo que antes ha sucedido