

## **Análisis de materiales para la enseñanza de la naturaleza del conocimiento científico y tecnológico**

**Ángel Vázquez Alonso<sup>1</sup>, María Antonia Manassero Mas y Silvia Ortiz Bonnin**

<sup>1</sup>Universidad de las Islas Baleares, España. E-mail: [angel.vazquez@uib.es](mailto:angel.vazquez@uib.es).

**Resumen:** La naturaleza del conocimiento científico y tecnológico constituye un componente esencial de la alfabetización en ciencias o de la competencia científica, y por eso sus contenidos innovadores se están incorporando en los currículos de ciencias actuales. La enseñanza de esos contenidos afronta importantes dificultades, siendo el más notorio la carencia de materiales apropiados para el aprendizaje de los estudiantes. Este artículo investiga la existencia de materiales didácticos actuales diseñados para la enseñanza de la naturaleza del conocimiento científico en las aulas y presenta como resultados de la búsqueda un abundante inventario de materiales hallados. Los materiales son sistematizados en grupos, con sus directrices generales, la lista de materiales, las orientaciones acerca de los temas abordados y un resumen de un material ejemplar. Además, se ofrece un modelo de clasificación de estos materiales para ayudar a los profesores a seleccionar y ordenar los potenciales materiales que puedan construir o encontrar. Finalmente, se reflexiona sobre la eficacia de los materiales para la enseñanza de la naturaleza del conocimiento científico, a partir de las recomendaciones de la investigación didáctica y los tradicionales factores que se oponen a las innovaciones.

**Palabras clave:** naturaleza de la ciencia, naturaleza de la tecnología, materiales de enseñanza, enseñanza de la ciencia, enseñanza de la tecnología.

**Title:** Analysis of materials for teaching the nature of scientific and technological knowledge.

**Abstract:** The nature of scientific and technological knowledge is an essential component of scientific literacy or science competence, and consequently, the current science curricula incorporate it as an innovative content. Its teaching within the classroom cope with major difficulties, being the lack of appropriate curricular materials for student learning. This paper searches for materials that are currently being designed and applied for teaching the nature of scientific knowledge within the classroom, and presents as results of the search a long inventory of materials. Further, the general guidelines, the list and orientation of issues and a summary of some exemplary materials are systematically presented for each set. Moreover, a classification model is provided, in order to better help teachers to select and order the potential materials they could find or develop. Finally, some reflections on the effectiveness of the materials for teaching the nature of scientific knowledge from the proposals of science education research and the traditional factors opposing innovations are put forward.

**Keywords:** nature of science, nature of technology, science teaching, technology teaching, teaching materials.

### **Introducción**

Debido a la ubicua, notoria y significativa presencia de la ciencia y la tecnología (CyT) en las sociedades actuales, la alfabetización en CyT se ha convertido hoy en el lema básico y prioritario empleado para describir una educación científica que vaya más allá de "la ciencia para científicos". La nueva frontera de la alfabetización es lograr una comprensión básica sobre CyT, más holística y funcional, que sea útil y relevante a todos los ciudadanos para tomar y participar en decisiones cotidianas, tanto personales como sociales, y donde se incluyen los valores éticos y democráticos que CyT ponen en juego cuando sus productos, cognitivos y técnicos, interaccionan con la sociedad (DeBoer, 2000; Holbrook, 2000; Millar, 2006; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2005).

La alfabetización en CyT es delimitada por la investigación didáctica en dos componentes fundamentales: los conocimientos "de" CyT (los tradicionales conceptos, hechos, principios y procesos de CyT, que forman el cuerpo de leyes, teorías y procedimientos científicos), y los conocimientos "sobre" CyT, (acerca de como funcionan la CyT para validar sus conocimientos o intervenir en la sociedad).

Para denominar este segundo componente de la alfabetización se ha acuñado y extendido en la didáctica de la ciencia la denominación "naturaleza de la ciencia", que más exactamente debería denominarse como "naturaleza del conocimiento científico" (Lederman, 2007). Además, dada la profunda imbricación entre CyT hoy los aspectos científicos y tecnológicos forman un continuo originando el lema "naturaleza de ciencia y tecnología" (NdCyT).

La NdCyT es un conjunto de complejos meta-conocimientos, por polifacéticos e interdisciplinarios, además de ser evolutivos y cambiantes, (funcionamiento, métodos, valores, comunidad científica, relaciones entre CyT y con la sociedad, etc.), que han ido surgiendo de las reflexiones interdisciplinarias, realizadas por los especialistas en historia, filosofía y sociología de la CyT, así como científicos y expertos en didáctica de las ciencias acerca de qué son y cómo funcionan CyT (Acevedo, Vázquez, Manassero y Acevedo, 2007a,b; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004). La inclusión de la NdCyT como nuevo elemento curricular constituye el reto innovador más arduo de la educación científica, pues nunca antes se había planteado con la extensión y profundidad actuales en los currículos escolares de numerosos países (Vázquez y Manassero, 2007; Vázquez et al., 2005).

En general, las innovaciones educativas tienen dificultades para implantarse que son comunes a todas ellas (inercia del sistema, resistencia al cambio, escasa formación del profesorado, carencia de materiales de enseñanza apropiados, etc.). El objetivo de este artículo es presentar una panorámica de los materiales para enseñar NdCyT, la mayoría creados muy recientemente por especialistas en esta línea.

### **Fundamentación: materiales para la enseñanza**

El hallazgo más trascendental de la investigación sobre ideas consensuadas de NdCyT en los últimos lustros es que estudiantes y profesores de ciencias sostienen ideas previas desinformadas, ingenuas o deformadas, que niegan o contradicen las concepciones de consenso (McComas, 1998; Lederman 2007). El primer asunto a tener en cuenta en la enseñanza es la interdisciplinariedad, profundidad, complejidad y elusibilidad de los temas de NdCyT, que constituyen las dificultades principales para enseñarlos. Varias décadas de investigación sobre las concepciones de profesores sobre NdCyT (p. e. Bennássar, Vázquez, Manassero, García-Carmona, 2010; García-Carmona, Vázquez y Manassero, 2011; Lederman, 1992; 2007) permiten afirmar consistentemente que muchos profesores sostienen preconcepciones desinformadas y no tienen una formación apropiada sobre NdCyT.

La complejidad de los temas de NdCyT se proyecta sobre la investigación en la elaboración de currículos y materiales pertinentes para la enseñanza y la formación del profesorado, en torno a la selección de los contenidos más apropiados para la enseñanza. Diversos estudios recientes sugieren la existencia de ciertos contenidos que alcanzan un cierto consenso entre los especialistas que salven la complejidad y sirvan de base para diseñar currículos y materiales de enseñanza de NdCyT a estudiantes de distintas edades desde una visión alfabetizadora básica (Lederman, 1992, 2007; Bartholomew, Osborne y Ratcliffe, 2004; McComas, 2005; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar y Duschl, 2003; Vázquez, Acevedo, Manassero y Acevedo, 2005; Vázquez et al., 2007a, b). Una síntesis de estos contenidos consensuados ha sido presentada con más detalle en otro lugar (Vázquez y Manassero, 2012). Aquí se ofrece un resumen con el objetivo que sirva de modelo para la presentación posterior de los nuevos materiales objeto de este estudio (Anexo 1). El modelo sigue las dimensiones sugeridas por Aikenhead y Ryan (1992), que enlaza con la tradición del movimiento ciencia-tecnología-sociedad (CTS), y distingue entre la sociología interna del sistema de CyT, interacciones y valores internos de la comunidad científica, epistémicos y ontológicos, y la sociología externa, interacciones de CyT con el contexto social y cultural (Aikenhead, 1994).

Es amplia la tradición didáctica que viene defendiendo los beneficios de la presencia de la filosofía, historia y sociología de la ciencia, o los temas de ciencia-tecnología-sociedad, en los currículos y programas de la educación científica, que han sido los precursores de la actual NdCyT. Los esfuerzos pioneros para enseñar NdCyT están asociados a la utilización de la historia de la ciencia en las clases en los últimos años 1950s, y especialmente desde la eclosión del movimiento (CTS) en los últimos 1970s, creando numerosos materiales con una orientación CTS, algunos de los cuales continúan su desarrollo actualmente. Estos materiales (resumidos en la tabla 1) pueden encontrarse fácilmente en la red.

En EE.UU., la reforma del currículo de ciencias orientada hacia una alfabetización científica y tecnológica promovida por la Asociación para el Progreso Científico a través del proyecto *Science for All Americans* (AAAS, 1989) empezó a usar explícitamente el término naturaleza de la ciencia. Pero ha sido solo en los últimos años cuando se ha generalizado esta

tradición en los currículos de ciencias de muchos países, especialmente anglosajones. Esta importante decisión curricular ha venido acompañada del desarrollo de materiales específicamente diseñados para ayudar al profesorado en la enseñanza de esos conceptos innovadores.

<b>Países</b>	<b>Precusores: Historia de la ciencia (1950-60)</b>	<b>Pioneros CTS (1970-80)</b>	<b>CTS (desde 1980)</b>
EE.UU.	Historias Harvard de Casos en Ciencias Experimentales (J. Conant)		The Science Education for Public Understanding Program (UCAB)
EE.UU.	Casos de Historia de la Ciencia (L. Klopfer)		Chemistry in the Community (ACS)
			Profiles in Science (BSCS, NSF)
Canadá		Science: A Way of Knowing (G. Aikenhead)	
Gran Bretaña		Science in Society (Association for Science Education y Nuffield)	Science and Technology in Society, (ASE, Nuffield)
Gran Bretaña		Science in a Social Context (J. Solomon)	SALTERS Project (Universidad de York)
Países Bajos		Proyecto de Desarrollo de un Currículo de Física (PLON)	
España			Ciencia, Tecnología y Sociedad (asignatura, Ley de educación 1990)
España			Educación para participar (OEI)
España			Aprendizaje de los Productos Químicos, Usos y Aplicaciones (APQUA)

Tabla 1.- Resumen de algunos materiales con una orientación ciencia-tecnología-sociedad (CTS).

En los últimos años, la investigación para mejorar el aprendizaje de NdCyT se ha centrado en la clarificación de la eficacia de diferentes métodos de enseñanza, contrastando dos enfoques básicos:

**Enseñanza implícita:** se basa en la idea que los meros contenidos de NdCyT presentes en cualquier actividad de aula permiten su aprendizaje automático, sin énfasis adicionales. Según esta metodología, cualquier actividad (p. e. una práctica de indagación) induce el aprendizaje de los conceptos de NdCyT implícitos en ella. Los resultados de la investigación actual no permiten sostener que la enseñanza implícita es eficaz para aprender conceptos de NdCyT (Acevedo, 2009).

Enseñanza explícita: el contenido de NdCyT debe hacerse explícito en la actividad de enseñanza, lo cual implica tratar los contenidos de NdCyT igual que los demás contenidos de enseñanza (planificación de objetivos, contenidos y evaluación y aplicación explícita en el aula). Además, los estudios realizados en esta línea (Akerson, Hanson, y Cullen, 2007; Matkins y Bell, 2007; Morrison, Raab e Ingram, 2009; entre otros) sugieren que para ser efectiva, la enseñanza explícita debe ir unida también a la reflexión sobre los conceptos de NdCyT, mediante instrumentos apropiados (por ejemplo, preguntas, diálogos, debates, actividades adicionales, etc.).

A la luz de los resultados, el enfoque explícito parece el método más eficaz para enseñar NdCyT, incluyendo el tratamiento intencional de la enseñanza de NdCyT (planificación curricular), junto con las actividades explícitas de reflexión meta-cognitiva sobre los contenidos de NdCyT en el aula.

El inventario de consensos de NdCyT constituyen referencias importantes para una adquirir una correcta imagen de CyT en el mundo actual, pero no deben entenderse como afirmaciones absolutas listas para ser memorizadas. Aunque gocen de consenso, no constituyen concepciones inmunes a la crítica, o libres de objeciones o válidas para siempre, como rasgos universales del sistema tecno-científico. Antes al contrario, todas ellas necesitan ser reflexionadas a fondo y precisadas en múltiples matices, a la vez que están sometidas al contraste con la propia evolución natural, histórica y contingente del sistema de CyT que pretenden describir. De aquí se deriva que una enseñanza de calidad de la NdCyT para la alfabetización científica exige explicación y reflexión, que inviten a los estudiantes y a los profesores a profundizarlas, elaborarlas, discutir las e investigarlas, y no simplemente a memorizarlas en mayor o menor grado (Matthews, 2012).

Para facilitar la enseñanza efectiva de estos contenidos innovadores, entre otras cosas, el profesorado necesita disponer de materiales didácticos efectivos que desarrollen adecuadamente estos temas. Sin embargo, la mayoría de estos contenidos de enseñanza de NdCyT no están en los libros de texto habitualmente usados en las aulas (salvo a nivel anecdótico e improductivo para lograr aprendizajes significativos), pues han sido producidos y publicados en contextos de investigación, y en lengua inglesa, por tanto, fuera del alcance de la mayoría del profesorado. El objetivo de este estudio es presentar una descripción organizada de estos recursos que pueda facilitar a los profesores las tareas de enseñanza de NdCyT a través de la apropiación, elaboración, investigación, discusión y reflexión en torno a ellos y a los estudiantes el aprendizaje los contenidos de NdCyT.

### **Metodología**

La metodología de esta investigación cualitativa ha consistido en la búsqueda de materiales apropiados para enseñar NdCyT. El criterio principal para incluir un material de enseñanza sobre NdCyT es que afronte explícitamente alguno de los temas incluidos como consensos de NdCyT (Anexo 1). Según este criterio no se han incluido en esta relación aquellos materiales cuyo objetivo de enseñanza son los contenidos tradicionales de la CyT, bien conceptos o teorías, o bien procesos de indagación científica. Debe matizarse que tampoco es suficiente que el material presente un

enfoque histórico, filosófico o sociológico, si el objetivo de aprendizaje sigue siendo un mero concepto o proceso, y no una cuestión de NdCyT.

La metodología aplicada para la búsqueda, análisis e inclusión de los materiales consistió en rastrear la obra de los autores especializados en NdCyT, cuya obra ofrece materiales propios o pistas que conducen a materiales de otros autores o instituciones. Tras la localización de los potenciales materiales para enseñar NdCyT, estos son analizados para identificar y seleccionar solo aquellos que cumplen el criterio de inclusión especificado en el párrafo anterior.

La relación de resultados que se presentan, procedentes de distintos autores y proyectos, ha supuesto la segregación de muchos materiales porque explícitamente no se referían a la enseñanza de temas propios de NdCyT, aunque son muy interesantes e innovadores desde la perspectiva en su planteamiento, originalidad o motivación para los estudiantes. En particular, cabe reseñar los materiales con un enfoque de indagación que han sido segregados de los resultados finales por no abordar contenidos de NdCyT, especialmente entre los proyectos institucionales de ministerios o autoridades educativas, pues la mayoría de ellos pretenden cubrir un currículo completo de CyT abarcando una gran cantidad de temas tradicionales. Tampoco se han tenido en cuenta en esta revisión las propuestas de materiales aislados, procedentes de investigaciones individuales, porque su simple reseña requeriría también un espacio mayor no disponible.

Aún así, las limitaciones de espacio disponible aquí no permiten dar una visión exhaustiva y completa de todos ellos, pues la lista de materiales encontrados es muy larga. Para superarlas, en los párrafos siguientes se presentan sucintamente las características de cada uno de los grupos de los materiales investigados para enseñar NdCyT en tres bloques:

**Proyectos de investigación:** materiales surgidos de proyectos de investigación, que se caracterizan por estar profundamente empapados e inspirados en la filosofía, historia y sociología de la ciencia.

**Proyectos institucionales:** materiales elaborados como instrumentos de desarrollo de currículos escolares en diversos lugares y países.

**Otros proyectos:** recoge diversas iniciativas que ofrecen una variedad de materiales de ayuda para el profesorado en la enseñanza de la NdCyT.

El modelo taxonómico de Aikenhead y Ryan (1992), desplegado para clasificar los consensos sobre la NdCyT (Anexo 1) y en otros trabajos, se aplica para clasificar y sistematizar todos estos materiales en función de los conceptos específicos de NdCyT que afrontan. Una clasificación exhaustiva de todos estos materiales reseñados ha sido realizada por los autores (Vázquez, 2011; Vázquez et al. 2006), pero su presentación total requeriría un espacio superior al disponible en este estudio, de modo que se ofrece una muestra de su aplicación a un solo grupo de materiales.

### **Proyectos de investigación**

Los materiales surgidos de proyectos de investigación, caracterizados por estar profundamente inspirados en la filosofía, historia y sociología de la ciencia, son los siguientes: Historia y Filosofía en Enseñanza de las Ciencias

(proyecto HIPST), Proyecto ICAN, Centro de Recursos Sociología, Historia y Filosofía de la Ciencia, Proyecto de Educación sobre Física y Ética y Materiales argentinos.

#### *Historia y Filosofía en Enseñanza de las Ciencias (HIPST)*

El proyecto History, Philosophy and Science Teaching (HIPST, <http://hipstwiki.wetpaint.com/page/hipst+developed+cases>) está centrado en la historia y filosofía de la ciencia. Sus materiales (Casos de Estudio) han sido desarrollados por grupos de investigadores de diferentes países europeos, que han creado un espacio virtual (Wiki) para trabajar y colaborar a distancia (Höttecke, Henke y Riess, 2012).

Los títulos de los casos permiten una primera aproximación a los contenidos usados para enseñar NdCyT, que son los siguientes: construcción de un microscopio simple, Otto Guericke, tecnología de refrigeración, la electricidad dinámica y las comunicaciones de larga distancia, vapor, trabajo y energía, un naturalista que se convirtió en un pionero (Carlos de Braganza, Rey de Portugal), espectáculos itinerantes (electricidad), el movimiento de los cuerpos de Aristóteles a Galileo, historia de la energía, la teoría de la evolución, geocéntrica a heliocéntrica, fórmulas químicas y ecuaciones, Charles du Fay (describir y explicar los fenómenos eléctricos), historia del concepto de peso (Aristóteles, Newton y Einstein), el experimento de las gotas de aceite de Millikan, William Gilbert, Stephen Gray (conducción eléctrica), temperatura, la teoría cartesiana del movimiento, concepto de imagen y visión, movimiento (de Motu), acidez, módulo de naturaleza de la ciencia e historia de la fuerza de inercia.

De todos ellos, destacamos los casos que desarrollan la historia de la electricidad (Introducción histórico-genética a la electricidad) sobre la base de cuatro figuras históricas (Otto Guericke, Charles du Fay, William Gilbert, Stephen Gray) y un estudio de caso sobre los feriantes ambulantes del siglo XVIII que utilizaban espectaculares (y peligrosas) exhibiciones públicas con electricidad. Este caso ilustra a los alumnos la organización social de las ciencias (las comunidades científicas, las revistas, la revisión por pares) y las formas en que la ciencia se va diferenciando de otros campos.

En resumen, el proyecto HIPST muestra una orientación histórica dominante, cuyos casos son tratados con gran amplitud y avanzados, que los hacen apropiados para estudiantes de grado. La gran cantidad de información ofrecida puede permitir usos parciales de cada caso, adaptados para estudiantes más jóvenes.

#### *Proyecto ICAN*

El proyecto ICAN (Investigación, Contexto y Naturaleza de la Ciencia) se creó hace unos años (<http://msed.iit.edu/projectican/content2.html>), financiado por la National Science Foundation, para el desarrollo profesional de los profesores de ciencias en la mejora del conocimiento y la didáctica de la naturaleza de la ciencia (NdC) y la investigación científica (SI), dos conceptos claves de los nuevos currículos científicos de los EEUU. La unión de NdC y SI en este proyecto ya indica que muchos de los materiales y actividades de ICAN para enseñar NdC están planteados en un contexto de investigación.

Los contenidos del proyecto ICAN ofrecen tres bloques:

Método de enseñanza: el objetivo es mejorar la comprensión y las habilidades de los profesores para enseñar NdC y SI de forma explícita.

Evaluación de NdC: los profesores deben escribir los objetivos y diferenciar entre saber y saber hacer NdC y SI de forma explícita. El proyecto ICAN sugiere usar el cuestionario abierto VNOS para evaluar las concepciones (Lederman, 2007).

Materiales: ofrecen los títulos siguientes: movimiento cíclico (péndulo), cólera, ¿se lo pueden imaginar?, mitosis, caja misteriosa, repicadores hum, cambio de fósiles, rasgos heredados, mezcla de agua caliente y fría, tabla periódica, pistas engañosas, pájaros, bananas, leche, huellas, semillas de girasol, monedas, latas, tubos, bolitas de búho, esqueletos desarticulados y cubos.

#### Cajas misteriosas

En esta actividad los estudiantes manipulan unas "misteriosas" cajas selladas con el objetivo de descubrir la estructura interna de las cajas, las cuales contienen una pelota en movimiento y una o dos barreras fijas. Los alumnos experimentan la naturaleza y las fuentes de incertidumbre inherentes en el proceso de resolución de problemas y formulación de explicaciones y teorías por los científicos. Para reducir la incertidumbre es imprescindible el trabajo cooperativo entre los estudiantes, que emulan el trabajo en equipo de los científicos.

#### *Centro de Recursos Sociología, Historia y Filosofía de la Ciencia*

Sociology, History and Philosophy of Science (SHiPS) es una página web (<http://www1.umn.edu/ships/>) de la Universidad de Minnesota que ofrece recursos y ayuda a los profesores para la integración de la historia, la filosofía y la sociología en el aula de ciencias. La estructura de la página presenta un índice general por temas y niveles. Además, la página también integra referencias a otros recursos (Allchin, 2012).

Los títulos de los módulos correspondientes a biología son quizá los más extensos y ricos, porque incluyen también casos de medicina. Algunos títulos se listan como ejemplo de estos materiales en el anexo 2.

Las actividades que implican estos títulos son muy variadas dependiendo del contenido de cada caso, y van desde el análisis reflexivo del caso hasta los juegos de rol de los estudiantes para la dramatización de las historias. Como ejemplo, se expone un resumen del caso del dr. Christiaan Eijkman y la enfermedad del beri-beri.

#### Christiaan Eijkman y la causa del Beri-beri

En octubre de 1886, tres médicos de los Países Bajos se embarcaron en una misión de investigación médica que les llevaría a las Indias Orientales Holandesas (actual Indonesia). Uno de los médicos, Christiaan Eijkman, de 28 años, ya había visitado Java antes, pues había servido allí como oficial del ejército holandés. A los dos años contrajo la malaria y regresó a los Países Bajos. La malaria era una de las muchas enfermedades comunes en los trópicos, como el cólera, la gripe, la disentería y la peste. Así, también, lo era el beriberi, que de hecho era la razón por la cual la comisión de



médicos había sido enviada a Java. El contenido central de esta historia es el proceso a través del cual el dr. Eijkman descubrió la causa del beri-beri (iincluyendo sus errores!) en la década de 1890. Este episodio se relaciona también con el descubrimiento de las vitaminas, que le hizo merecedor del Premio Nobel.

### *Proyecto de Educación sobre Física y Ética*

Este proyecto de la Universidad de Bristol (UK) (Physics & Ethics Education Project (BEEP <http://www.peep.ac.uk/content/index.php>) está diseñado para el nivel de secundaria (GCSE) y centrado en la ciencia y la ética. En realidad afronta múltiples y diferentes perspectivas sobre el trabajo de los científicos y también ofrece también un área sobre biología y ética. Para los estudiantes ofrece información y actividades interesantes sobre una amplia gama de cuestiones éticas, y discusión en línea para ayudar a practicar la argumentación. Para los profesores ofrece una lectura introductoria, información y especificaciones adaptadas para secundaria, ideas sobre cómo llevar la ética a la enseñanza de la ciencia y diversas lecciones e ideas.

La lista de recursos que presentan es la siguiente: ¿Qué es la ética?, ¿Cómo funciona la ciencia?, el cambio climático, los recursos energéticos, transporte, salud pública, física médica, armas, espacio, comunicaciones, personas y robótica.

Las cuestiones de ética pueden surgir en torno a la naturaleza de la ciencia y la manera en que los científicos hacen su trabajo. Por ejemplo, ¿cómo producen pruebas los científicos para justificar una teoría? ¿bajo qué presiones trabajan? En este marco, se ofrece el tratamiento que hacen del efecto que tiene el experimentador en la interpretación de resultados de observación y en la experimentación.

#### El efecto del experimentador

Los científicos trabajan bajo una gran presión, con el fin de seguir siendo objetivos en sus actuaciones, ya que ellos mismos y sus procedimientos se están poniendo continuamente bajo el microscopio y el juicio de los demás. Esto significa poner sus emociones y sentimientos a un lado y llevar a cabo sus experimentos como si fueran indiferentes a los resultados de sus investigaciones. La objetividad no puede equipararse con el vacío mental, sino que la objetividad reside en reconocer sus preferencias y, a continuación, someterlas a escrutinios especialmente duros, y también aceptar la voluntad de revisar o abandonar sus teorías cuando fallan las pruebas (como suelen hacer).

La influencia social o presión sobre los científicos es externa e interna. Se conoce desde hace tiempo que las creencias y las actitudes de las personas en la realización de los experimentos afectan a los resultados alcanzados. Karl Popper señaló que la única forma que tiene un científico para asegurar que su ardor por probar una teoría no ha influido en sus resultados, es que trabaje con igual ardor para refutarla (probar que es equivocada).

Otra forma de evitar el efecto del experimentador es asegurarse de que en la realización de las pruebas empíricas, ni los científicos ni los participantes sepan que drogas o sustancias químicas se están probando,

por ejemplo. Esto se llama un diseño de doble ciego, pues ni experimentador ni participantes saben qué se espera de la experimentación.

### *Materiales argentinos*

El Ministerio de Educación de Argentina y la Universidad de Buenos Aires han publicado series de folletos y una revista (Nautilus) donde aparecen diversos materiales para la enseñanza de la NdCyT bajo la autoría de Eduardo Wolovelsky, Agustín Adúriz, Horacio Tignanelli o Diego Hurtado.

Algunos de los títulos aparecidos son los siguientes: Darwin y el origen de las especies, Sangre de reyes, Máquinas inteligentes, Proyecto Manhattan, El anteojo de Galileo, Aeróstatos, El legado árabe, El mensajero de los astros, El primer astrónomo criollo, Charles Darwin el naturalista del Beagle, Ignaz Semmelweis, Los nombres del cielo, La mirada del lince, El guiso fantasmagórico, El argonauta argentino, El secreto de su alfombra y ¿Vampiros en Valaquia?.

#### ¿Vampiros en Valaquia?

David Dolphin, un afamado bioquímico canadiense, postuló en 1985 que los vampiros podrían haber existido, no como seres tenebrosos, sino como personas reales que padecían una enfermedad rara. Tal enfermedad se conoce hoy como mal de Günther o porfiria eritropoyética congénita. Los síntomas más comunes de esa porfiria se parecen muchísimo a los rasgos adjudicados a los míticos vampiros.

Delgadez y palidez. La porfiria provoca anemia que produce personas demacradas y pálidas, tal como visualizan las imágenes de los vampiros clásicos.

Pánico a la luz solar (actinismo). No pueden tomar el sol, pues les provoca graves quemaduras y úlceras sangrantes en la piel. Para protegerse, los porfíricos suelen salir solo de noche o se visten con ropas largas y oscuras (como el conde Drácula!)

Pelos inusuales (hirsutismo). La porfiria provoca crecimiento de pelos en lugares donde comúnmente no hay, como entre las cejas, en las mejillas cerca de los ojos y en las palmas de las manos (así se caracterizan los roles de vampiros).

Grandes colmillos. La porfiria produce complicaciones en los dientes, las encías y los labios, con dientes anormalmente largos y puntiagudos (como los colmillos de los vampiros cinematográficos).

En suma, la ciencia produce explicaciones que permiten aclarar hechos y sucesos aparentemente imposibles o incluso míticos, como es el caso de la existencia o no de los vampiros.

### **Proyectos institucionales**

Los materiales correspondientes a este epígrafe son instrumentos de desarrollo de los currículos escolares de diversos lugares y países, entre los que se incluye una referencia a las menciones a la NdCyT en el currículo español. Los proyectos institucionales están formados por los siguientes materiales: Ciencia para el siglo XXI, Perspectivas sobre la Ciencia (POS), Ciencia en línea y Los currículos escolares españoles.

*Ciencia para el siglo XXI*

Ciencia para el siglo XXI (Twenty First Century Science) es un conjunto de cursos de ciencias que ofrece a todos los estudiantes de 14 a 16 años del Reino Unido una experiencia valiosa y estimulante de aprendizaje sobre la ciencia, a través de opciones flexibles, tanto para aquellos que serán científicos profesionales como para los que no seguirán este camino. Ciencia para el siglo XXI fue desarrollado en asociación entre Nuffield Foundation, University of York Science Education Group (UYSEG), Oxford University Press (OUP) y OCR (<http://www.nuffieldfoundation.org/>).

El desarrollo de las unidades sigue el esquema de las "ideas sobre la ciencia" (tabla 2) establecidas en los estudios de Bartholomew et al. (2004), consensuadas empíricamente y desarrolladas por Millar (2006).

Ideas sobre la ciencia	Títulos de Unidades			
1. Los datos y sus limitaciones	Lente de contacto	Sprint de velocidad	Datos presentados a los estudiantes	
2. Correlación y causa.	Dr. Mariella	Piratas	¿Qué color del coche hace más probable tener un accidente?	Datos de tabla de la liga de fútbol
3. Desarrollo de explicaciones	Neandertales	Titular de diario sobre una controversia deportiva	Escenario: Joven, anciana y hombre.	¿Por qué se extinguieron los dinosaurios al final del Cretácico?
4. La comunidad científica	El cráter Barringer	Calentamiento global: causas y factores		
5. Ideas sobre el riesgo	¿Nadarías en el mar justo después del almuerzo?			
6. Toma de decisiones sobre ciencia y sociedad	Tamiflu para tratar la gripe	¿Ha visto alguien robando una tienda?		

Tabla 2.- Títulos de algunas unidades didácticas ofrecidas en "Ciencia para el siglo XXI".

La unidad titulada "Escena" propone interpretar una imagen donde se ve a un hombre joven huyendo de una anciana, que yace en el suelo angustiada, mientras otro hombre está hurgando en el bolso de la anciana. Las actividades de los estudiantes consisten en producir múltiples explicaciones sobre la escena y la discusión sobre la aceptación de la más adecuada. Pretende emular la situación genérica y usual de los científicos, quienes tratan de producir creativamente la explicación más válida de una situación con unos datos de información, siempre limitados, a través de la lógica y de la discusión abierta de las distintas explicaciones.

### *Perspectivas sobre la ciencia*

Perspectivas sobre la ciencia (Perspectives on Science, POS) es una nueva materia curricular en el Reino Unido, que puede ser cursada por estudiantes de ciencias y de humanidades, cuyo objetivo principal es ayudar a los estudiantes a desarrollar habilidades de investigación, análisis, comunicación y argumentación en el contexto de la Historia, Filosofía y Ética de la ciencia

(<http://www.pearsonschoolsandfecolleges.co.uk/Secondary/Science/>).

Los estudiantes pasan la mitad del curso en el aprendizaje de habilidades relevantes y del vocabulario apropiado para el contexto de los estudios de caso seleccionados. En la segunda mitad, se realizan distintos proyectos de investigación, donde la indagación de la "historia" que hay detrás de una pregunta con una dimensión científica impulsa la exploración en profundidad de los aspectos éticos y filosóficos, y se deben presentar los resultados de la investigación.

<b>Parte 1 Investigar la historia de la ciencia</b>	
1 Introducción a la investigación de la historia de la ciencia	Investigación de la información
2 La fusión fría	La fusión fría y caliente
3 ADN	Marzo de 1953
4 Evolución	Darwin, Wallace y sus amigos
5 Oxígeno	Priestley, Lavoisier y el aire desfoglistizado
<b>Parte 2 Hablar de cuestiones éticas en la ciencia</b>	
1 Introducción a la discusión de cuestiones éticas en la ciencia	Tratamiento de la desigualdad
2 La vida humana	El fin de la vida humana
3 Animales	La experimentación con animales
4 Genética	Los cultivos modificados genéticamente
5 Ciencia y Científicos	Los valores éticos en la práctica de la ciencia
<b>Parte 3 El pensamiento filosófico de la ciencia</b>	
1 Introducción al pensamiento filosófico de la ciencia	La verdad acerca de la verdad
2 Habilidades del pensamiento	Las razones y objeciones
3 El universo, la ciencia y la religión	Los límites de la ciencia
4 En la mente	¿Crees en fantasmas?
5 Piensa de nuevo	Determinismo genético del profesor Spector

Tabla 3.- Esquema básico y ejemplos de contenidos de Perspectivas sobre la Ciencia.

Los materiales del curso (publicados por Heinemann) utilizan una variedad de ejemplos científicos (fusión fría, prueba genética e inteligencia artificial) para introducir a los estudiantes en la investigación histórica y los argumentos éticos y filosóficos. La evaluación está basada en el proyecto de investigación individual, donde los estudiantes desarrollan y demuestran sus habilidades de investigación, análisis y discusión.

### *Ciencia en línea*

La estructura del aprendizaje de la ciencia del currículum de Nueva Zelanda considera muy importante la naturaleza de la ciencia (qué es la ciencia y cómo trabajan los científicos). El sitio Science on Line (<http://scienceonline.tki.org.nz/>) ofrece una serie de materiales para el logro de los objetivos de enseñanza y aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia desarrollando los temas e ideas siguientes: todos los conocimientos de la ciencia están, en principio, sujetos a cambios, de modo que los tipos de conocimiento científico que se valoran cambian con el paso del tiempo; las explicaciones científicas pueden tener la forma de un modelo; los científicos diseñan investigaciones, recogiendo los datos adecuados, para probar sus predicciones utilizando muchos enfoques y métodos diferentes; el progreso científico surge de trabajar lógica y sistemáticamente, y también a través de ideas creativas; las observaciones científicas están influidas por sus ideas científicas y las predicciones de los científicos se basan en el conocimiento científico existente; los científicos piensan críticamente acerca de los resultados de sus investigaciones; las explicaciones científicas deben pasar la revisión por pares, antes de ser aceptadas como conocimientos de la ciencia; cuando una explicación predice correctamente un evento, la confianza en la explicación como conocimiento de la ciencia es mayor; la ciencia interactúa con las culturas.

Como ejemplo de estos contenidos se despliega el tema: *Los científicos convierten sus ideas en preguntas que pueden ser investigadas*

Esta actividad pretende transmitir las siguientes ideas clave:

Los científicos discuten sus ideas con otros investigadores, no trabajan de manera aislada.

Los científicos pueden explorar una idea de la ciencia sin un objetivo preciso.

La elaboración de una investigación puede basarse en el trabajo de otros científicos, por ejemplo, la investigación publicada anteriormente.

### *Los currículos escolares españoles*

La competencia científica (alfabetización) se desarrolla en los distintos cursos de la educación básica a través de los currículos de las asignaturas de ciencias, que muestran los contenidos más explícitos de NdCyT en la educación secundaria obligatoria y en bachillerato. El diseño elegido para insertar la NdCyT en el currículo es un bloque denominado contenidos comunes, al inicio de la mayoría de las asignaturas. Además, se incluyen también menciones a distintos aspectos de NdCyT en otros elementos del currículo (contenidos, objetivos, criterios de evaluación).

Una materia nueva de bachillerato, denominada Ciencias para el Mundo Contemporáneo, es el ejemplo más conspicuo de este diseño curricular.

### *Ciencias para el Mundo Contemporáneo*

Esta asignatura, común para todos los estudiantes, científicos y no científicos, del primer curso de bachillerato (17 años), aporta la lista más larga y sistemática de los contenidos de NdCyT, como los contenidos comunes siguientes:

Procesos del trabajo científico, planteamiento de problemas y discusión de su interés, formulación de hipótesis, estrategias y diseños experimentales, análisis e interpretación y comunicación de resultados.

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.

Reconocimiento del papel del conocimiento científico en el desarrollo tecnológico y en la vida de las personas.

Reconocimiento de la importancia del conocimiento científico para tomar decisiones sobre los objetos y sobre uno mismo.

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.

Reconocimiento de las relaciones de la ciencia con la tecnología, la sociedad y el medio ambiente.

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 obvedad, 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 recomendación metodológica más interesante para la enseñanza de la NdCyT es la transversalidad. Los contenidos de NdCyT deben impregnar todos los contenidos del currículo, y tenerlos siempre presentes en el desarrollo de toda la asignatura, y no deben impartirse como si fueran un tema aparte.

### *Otros proyectos*

Este grupo es una miscelánea de diversas iniciativas que ofrecen al profesorado una variedad de interesantes materiales para la enseñanza de la NdCyT.

### *La Sociedad Real*

Uno de los objetivos de la institución británica Sociedad Real (The Royal Society, <http://invigorate.royalsociety.org/>) es fortalecer la enseñanza de la ciencia y las matemáticas, restableciendo el interés de los jóvenes hacia la ciencia y las matemáticas, de modo que la "ciencia sea para todos". En esta página se pueden encontrar recursos interesantes acerca de lo que investigan los científicos, tanto en el pasado, como la investigación de vanguardia. Cada actividad contiene una sección llamada "notas para el profesor" que le indica cómo hacer la actividad, el currículo escolar vinculado y las respuestas a los cuestionarios. Veamos un ejemplo de actividad.

Supersticiones: Comprobaciones sobre los cuentos de las viejas

Actividad. ¿Qué harías para probar una teoría?

Piense en una superstición, un "cuento de la vieja" o una leyenda urbana que la podría poner a prueba. Por ejemplo, se sugiere intentar contrastar los siguientes cuentos: El agua caliente se congela más rápidamente que el agua fría, si cruzo los dedos me da suerte cuando se lanza una moneda, si miras una olla nunca hierve.

Antes de empezar, piensa qué resultados esperas y una lista de todos los materiales que se necesitan para llevarlo a cabo. ¿Crees en el cuento de la vieja?

### *Ciencia en enlaces de la red*

La asociación Thinkfinity con el apoyo de la AAAS ofrece de forma gratuita, contenidos de diversas disciplinas académicas a través de Internet en el sitio Science NetLinks (<http://www.sciencenetlinks.com/index.php>). Este sitio proporciona cantidad de recursos para profesores de ciencias, incluyendo planificación de lecciones, actividades interactivas y recursos de Internet revisados, y añaden contenidos nuevos de forma constante y regular. La tabla 4 presenta algunos títulos y objetivos.

<b>Títulos</b>	<b>Objetivos</b>
Tomar buenas decisiones	Practicar la habilidad de toma de decisiones razonadas, para animar a los estudiantes a anticipar las consecuencias de sus decisiones.
Las mujeres en la medicina: pasado y futuro	Analizar cómo se ha desarrollado el papel de la mujer en la actividad científica durante los últimos 150 años.
Inventos: Edison y la bombilla	Introducir al alumno en el reino y el poder de las invenciones, y ayudarles a reconocer mejor sus efectos sobre las personas y la sociedad.
Riesgos y beneficios	Aprender a valorar y sopesar los riesgos y beneficios asociados a la innovación en CyT.

Tabla 4.- Títulos y objetivos de algunas unidades didácticas para el grado 12.

### *Institutos de la evolución y naturaleza la ciencia*

El objetivo del proyecto Evolution and Nature of Science Institutes (EnSI/SENSI, <http://www.indiana.edu/~ensiweb/home.html>) es mejorar la

enseñanza de de la Biología en las escuelas, animando a los profesores a enseñar una comprensión más completa del pensamiento científico moderno e introducir los contenidos de la teoría de la evolución. Una parte central del programa ENSI es enseñar la naturaleza de la ciencia moderna (incluyendo su incertidumbre y otros límites). En el sitio web de este proyecto se encuentran una gran variedad de materiales de interés, libros, artículos y actividades sobre la naturaleza de la ciencia y la evolución humana (tabla 5).

Reino y límites	Procesos básicos	Contexto social
Tierra Plana	Buscar la arandela	Cajas Misteriosas
Varita Mágica	Botella de tres agujeros	Dibuja un científico
Puestas de sol, almas y sentidos	El intercambiador de Gran Volumen	Los controles de laboratorio
Gotas sobre una moneda	El gran descubrimiento fósil	Falsas suposiciones
¿Cómo es tu horóscopo?	Enseñando la Evolución y la Creación	Un escenario del crimen
Ciencia y no-ciencia	Ser Descubrimiento y Confirmación	Ballenas: Un crimen contra las plantas
La percepción no es siempre la realidad (T-ilusión)	Laboratorio de Semilla de Avena	El descubrimiento del gran fósil

Tabla 5.- Títulos de las unidades didácticas sobre la naturaleza de la ciencia desarrolladas en el proyecto ENSI agrupados en tres ámbitos.

#### ¿Cómo es tu horóscopo?

¿La astrología es una ciencia, pseudociencia o no-ciencia? La mayor premisa de la astrología es que la fecha de nacimiento de una persona correlaciona con un conjunto de rasgos de la personalidad e intereses. Con el objetivo de comprobar esta hipótesis, los estudiantes comparan sus rasgos personales con descripciones astrológicas estándar, entonces analizan si su fecha de nacimiento encaja con las fechas astrológicas correspondientes. Simples cálculos estadísticos revelan que los resultados probablemente se deben al azar. A continuación se discute y se explora cuales pueden ser las explicaciones para los resultados y porqué no coinciden. También se examinan las razones por las que la astrología es una pseudociencia.

#### *Dominio de los profesores*

El dominio de los profesores es un servicio educativo digital de uso gratuito y de difusión pública, que tiene una parte para socios (Teachers' Domain, <http://www.teachersdomain.org/>). Ofrece cientos de recursos multimedia, materiales de apoyo y otras herramientas útiles para las clases, programas de aprendizaje individualizados y comunidades de aprendizaje para el profesorado. Algunos ejemplos de unidades didácticas dedicadas a la enseñanza de la NdCyT que ofrecen son: "Los procesos científicos" y la "Deriva continental: de la idea a la teoría".

#### Los procesos científicos

Muchos científicos estudian objetos y acontecimientos que no se pueden observar directamente. Por ejemplo, los paleontólogos trabajan para



desentrañar las historias de nuestro pasado a través de la recopilación y el análisis de los fósiles.

En esta lección los estudiantes exploran como pueden aprender sobre los acontecimientos que han sucedido en el pasado, usando el proceso científico. Realizan observaciones, desarrollan hipótesis y utilizan la evidencia para comprobar sus hipótesis.

Algunos ejemplos de procesos científicos abordados (con sus correspondientes materiales) son los siguientes:

Tectónica de Placas: el científico detrás de la teoría

Tectónica de placas: una prueba más

¿Qué mató a los dinosaurios?

¿Cuándo llegaron los primeros norteamericanos?

Terremotos: Los Ángeles

#### *La ciencia como narración*

Esta web prepara a los profesores que enseñan ciencias de la tierra en niveles anteriores a la universidad. Propone la enseñanza de la naturaleza de la ciencia como narración de cuentos e historias de ciencia (Science as Storytelling <http://serc.carleton.edu/teacherprep/index.html>). Los alumnos deben leer un ensayo "Science As Storytelling", comentarlo en clase y completar pequeños ejercicios.

Un ensayo trata la idea errónea de que la ciencia es un conjunto de hechos científicos que los científicos descubren y los estudiantes deben memorizar. La ciencia se presenta como una forma literaria que proporciona explicaciones útiles sobre la naturaleza. Estas explicaciones (historias) deben estar basadas en la observación, aunque siempre implican una gran creatividad. Ciertas "reglas" pueden concebirse como una historia científica, y es lo que hace que unas historias científicas sean mejores que otras. En algunos casos, la historia de la ciencia nos ofrece ejemplos contrapuestos que demuestran que estas "reglas" son invenciones humanas que los científicos han adoptado por razones prácticas, aunque la realidad natural no tiene por qué ser así.

#### *Popularidad y relevancia de la educación científica para la alfabetización científica*

Este programa europeo (PARSEL <http://www.parsel.uni-kiel.de/cms/>) se plantea como objetivos promover la alfabetización científica e incrementar la popularidad y relevancia de la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia. Se expone un ejemplo de los módulos relativos a la naturaleza de la ciencia.

#### *¿Habrá lanzado la bomba atómica (sobre Japón)?*

En esta actividad los estudiantes llevan a cabo un juego de rol sobre el proyecto Manhattan. Los alumnos forman grupos en los que cada uno de ellos juega el rol de una determinada persona histórica real que estuvo involucrada de alguna manera con el desarrollo de la primera bomba atómica. La tarea del grupo es discutir diversos asuntos relacionados con la

guerra entre Japón y EE.UU. en la década de 1940, y el uso de la bomba. Estas discusiones deben conducir al grupo a dar argumentos y consejos al presidente Truman sobre la conveniencia o no de lanzar la bomba atómica.

### **Modelo de clasificación**

El modelo usado para clasificar los consensos sobre NdCyT (Anexo 1) provee una estructura que permite sistematizar los temas de NdCyT (CTS), de modo que puede ser usado como modelo taxonómico para clasificar materiales didácticos para enseñar NdCyT en función de los conceptos específicos básicos cuya enseñanza afrontan. El producto de la aplicación de este modelo taxonómico a los materiales didácticos del programa ENSI/SENSI se refleja en la tabla 6 como un ejemplo de desarrollo del modelo.

<b>Interacciones ciencia – tecnología – sociedad</b>	<b>EnSI/SENSI</b>
Relación entre ciencia y tecnología	Ciencia y no-ciencia
Influencia de la Sociedad sobre Ciencia/ y Tecnología	¿Qué idea es mejor?
	Laboratorio de cheques
Influencia de Ciencia y Tecnología sobre la Sociedad	¿Cómo es tu horóscopo?
La comunidad tecno-científica	Dibuja un científico
	Palpación de paquidermos
	Cerebro femenino
	Cajas Misteriosas
	Teoría, Teoría
	Un crimen contra las plantas
Epistemología	
01. Observaciones	La percepción no es siempre la realidad (ilusiones)
02. Modelos científicos	Buscar la arandela
03. Esquemas de clasificación	Varita Mágica
04. Provisionalidad	Tierra Plana
05. Hipótesis, teorías y leyes	El intercambiador de Gran Volumen
06. Aproximación a las investigaciones	Botella de tres agujeros
07. Precisión e incertidumbre	Un escenario de crimen
08. Razonamiento lógico	Enseñando la Evolución y la Creación
09. Supuestos de la ciencia	Puestas de sol, almas y sentidos
10. Estatus epistemológico	Convertirse en Ballenas: Descubrimiento y Confirmación
11. Paradigmas y coherencia de conceptos	Falsos supuestos

Tabla 6.- Clasificación de materiales didácticos del proyecto ENSI/SENSI en función de los contenidos de naturaleza de la ciencia que afrontan según el modelo taxonómico adoptado. La dimensión de Epistemología se presenta desglosada, a su vez, en otras sub-dimensiones más específicas del modelo.

Ciertamente, los materiales didácticos no suelen ser unidimensionales, sino que suelen perseguir o afrontar diversos objetivos y contenidos a la

vez, de modo que su asignación a una u otra sub-dimensión es con frecuencia problemática. A pesar de ello, el modelo puede orientar al profesorado la búsqueda hacia las áreas de interés, así como ofrecer un esquema que facilita la planificación y el desarrollo curricular.

Este ejercicio taxonómico puede ser realizado para todos los materiales, y de hecho, una clasificación exhaustiva de los materiales reseñados ha sido realizada por los autores. Su presentación completa aquí requeriría un espacio muy superior al disponible, por lo que solo se muestra este ejemplo de aplicación del modelo taxonómico a los materiales ENSI/SENSI.

### **Discusión y conclusiones**

La originalidad de este estudio es presentar sistematizadamente diferentes materiales que ofrecen una larga lista de temas y módulos que pueden satisfacer múltiples aspiraciones para enseñar NdCyT en diversos niveles educativos y áreas de la ciencia. Con todo, el inventario presentado no es, ni pretende ser, exhaustivo. Entre otras razones, porque el carácter innovador y dinámico de la enseñanza de la NdCyT hace de ella un área en permanente desarrollo. Puesto que los materiales presentados tienen como objetivo específico ayudar a los profesores a diseñar la enseñanza y el aprendizaje sobre NdCyT, parece adecuado, como epílogo, recordar algunas pautas básicas que dan sentido y justifican el mejor uso de los materiales presentados.

En la planificación de la NdCyT, las concepciones consensuadas sobre NdCyT constituyen la referencia natural para el desarrollo de los contenidos concretos de NdCyT y la formación del profesorado, pues están informados por conocimientos de historia, filosofía y sociología de la CyT y su reconstrucción para la enseñanza. Los materiales presentados ayudan a concretar y desarrollar los contenidos de NdCyT, mejorar de los factores determinantes de su calidad (enseñanza explícita y reflexiva), superar los factores opuestos a la innovación de enseñar NdCyT y, en definitiva, lograr la competencia (alfabetización) científica y tecnológica para todos los estudiantes, adaptada a cada nivel educativo. Los profesores deben transformarlos, planificarlos y adaptarlos a su propio currículo de aula. Un aspecto importante de la enseñanza de NdCyT es que esta no debe limitarse a la memorización de conocimientos, sino todo lo contrario, el carácter reflexivo significa que el aprendizaje debe problematizarse, de modo que una parte importante de este aprendizaje consiste en plantear preguntas centradas en el estudiante, que obliguen a este a buscar, tomar decisiones, compartir, argumentar, discutir y comunicar sus propias respuestas.

Los aspectos evolutivos de la enseñanza de la NdCyT (adaptación a la edad de los estudiantes) todavía no han sido desarrollados por la investigación sobre NdCyT, y por eso tampoco ha sido una variable relevante en este muestrario de secuencias de enseñanza (Abd-El-Khalick, 2011). Hay dos razones principales por las cuales esta cuestión no ha sido relevante para la investigación: por un lado, el planteamiento general de proponer objetivos modestos para la enseñanza de la NdCyT, que induce un nivel relativamente amplio y asequible para los estudiantes, con varios niveles para los materiales; por otro, la mayoría de los contenidos específicos de NdCyT se insertan en un contexto de contenidos curriculares

(conceptos, indagación etc.), los cuales garantizan ya la adaptación al nivel evolutivo de los estudiantes, y en muchas ocasiones, se conforman como el primer criterio para su aplicación (el profesorado tiende a dar preferencia a aquellos contenidos de NdCyT que coordinan bien con su currículo de aula).

Los materiales tratan de presentar CyT como empresas humanas enraizadas en las diversas culturas, historias y sociedades. En todos los casos debe evitarse reducirlos a visiones anecdóticas o simplistas, y por el contrario, resaltar el carácter de experiencias humanas reales, pasadas o actuales, que deben ser planteadas a los estudiantes como actividades auténticas, no ficticias; en suma, la enseñanza debe mantener la fidelidad a la auténtica CyT a través de la integración de los distintos contenidos o actividades (Allchin, 2012).

La enseñanza innovadora con estos materiales está limitada por múltiples factores que el profesorado debe conocer para superarlos. Los más generales son la resistencia personal a apartarse de los contenidos habituales y la tendencia a enseñar para los exámenes. El factor externo más importante en contra de la innovación es la falta de formación del profesorado en estas cuestiones, que deberá ser promovida con amplitud y decisión para favorecer la intención de enseñar NdCyT.

Finalmente, debe comentarse que otros nuevos materiales en lengua española y portuguesa están siendo desarrollados para ser aplicados en un proyecto de investigación (actualmente en desarrollo) cuyo objetivo no se limita a su diseño sino también a verificar su eficacia para la enseñanza de la NdCyT, a través de su aplicación práctica en aulas de diversos países y niveles educativos (Vázquez, 2011).

Proyecto de Investigación EDU2010-16553 financiado por una ayuda del Plan Nacional de I+D del Ministerio de Ciencia e Innovación (España).

### **Referencias bibliográficas**

AAAS American Association for the Advancement of Science (1989). *Project 2061: Science for all Americans*. Washington DC: AAAS.

Abd-El-Khalick, F. (2011). Examining the Sources for our Understandings about Science: Enduring confluences and critical issues in research on nature of science in science education. *International Journal of Science Education*, 34, 353-374

Acevedo, J.A. (2009). Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6, 3, 355-386. En: <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>.

Acevedo, J.A. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5, 2, 134-169. En: <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>.

Acevedo, J.A., Vázquez, A., Manassero, M.A. y P. Acevedo (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. En: <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>.

Acevedo, J.A., Vázquez, A., Manassero, M.A. y P. Acevedo (2007b). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: aspectos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4, 2, 202-225. En: <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>.

Aikenhead, G.S. y A.G. Ryan (1992). The development of a new instrument: "Views on science-technology-society" (VOSTS). *Science Education*, 76, 5, 477-491.

Akerson, V.L., Hanson, D.L. y T.A. Cullen (2007). The influence of guided inquiry and explicit instruction on K-6 teachers' views of nature of science. *Journal of Science Teacher Education*, 18, 5, 751-772.

Allchin, D. (2012). The Minnesota Case Study Collection: New Historical Inquiry Case Studies for Nature of Science Education. *Science & Education*, 21, 1263-1281.

Bartholomew, H., Osborne, J. y M. Ratcliffe (2004). Teaching students ideas-about-science: five dimensions of effective practice. *Science Education*, 88, 5, 655-682.

Bennássar, A., Vázquez, A., Manassero M.A., A. García-Carmona (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). En: [www.oei.es/salactsi/DOCUMENTO5vf.pdf](http://www.oei.es/salactsi/DOCUMENTO5vf.pdf)

DeBoer, G.E. (2000). Scientific literacy: another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 6, 582-601.

García-Carmona, A., Vázquez, A., y M.A. Manassero (2011). Estado actual y perspectivas de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia: una revisión de las creencias y obstáculos del profesorado. *Enseñanza de las Ciencias*, 28, 403-412.

Holbrook, J. (2000). *School Science Education for the 21st Century - Promoting Scientific and Technological Literacy (STL)*. Wirescript Magazine - Education.

Höttecke D., Henke, A. y F. Riess (2012). Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. *Science & Education*, 21, 1233-1261.

Lederman, N.G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 4, 331-359.

Lederman, N.G. (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. (2007). Nature of science: past, present, and future. En Abell, S. K. y Lederman, N. G. (Eds.), *Handbook of research on science education*. (pp. 831-879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Manassero, M.A., Vázquez, A. y J.A. Acevedo (2003). *Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS)*. Princeton, NJ: Educational Testing Service. En: <http://www.ets.org/testcoll/>.

Matthews, M.R. (1998). The Nature of Science and Science Teaching. En B.J. Fraser y K.G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education*. (pp. 981-999). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Matthews, M.R. (2012). Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). En M. S. Khine (Ed.), *Advances in Nature of Science Research. Concepts and Methodologies*. (pp. 3-26). Heidelberg: Springer Dordrecht.

McComas, W.F. (2005). Teaching the Nature of Science: What Illustrations and Examples Exist in Popular Books on the Subject? Paper presented at the Eighth International History, Philosophy & Science Teaching (IHPST) Conference, Leeds, UK (July 15-18).

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.

Morrison, J.A., Raab, F. y D. Ingram (2009). Factors influencing elementary and secondary teachers' views on the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 4, 384-403.

Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. y R. Duschl (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.

Ryan, A.G., y G.S. Aikenhead (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. *Science Education*, 76, 6, 559-580.

Vázquez, A. (2011). Enseñanza y aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia y tecnología (EANCYT): una investigación experimental y longitudinal. Memoria de investigación. Autor. En <https://eancyt.mawida.com.ar/>.

Vázquez, A., Acevedo, J.A. y M.A. Manassero (2004). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: evidencias e implicaciones para su enseñanza. *Revista Iberoamericana de Educación*, edición electrónica. En: <http://www.campus-oei.org/revista/deloslectores/702Vazquez.PDF>.

Vázquez, A., Acevedo, J.A. y M.A. Manassero (2005). Más allá de una enseñanza de las ciencias para científicos: hacia una educación científica humanística. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4, 2. En: <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.

Vázquez, A., Acevedo, J.A., Manassero, M.A. y P. Acevedo (2004). Hacia un consenso sobre la naturaleza de la ciencia en la enseñanza de las ciencias. En I. P. Martins, F. Paixão y R. Vieira (Org.): *Perspectivas*

*Ciência-Tecnologia-Sociedade na Inovação da Educação em Ciência*. (pp. 129-132). Aveiro (Portugal): Universidade de Aveiro.

Vázquez, A., Acevedo, J.A., Manassero, M.A. y P. Acevedo (2005). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia para la enseñanza de las ciencias. Comunicación presentada en el VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias: *Educación científica para la ciudadanía* (Granada, 7-10 de septiembre de 2005). *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra (VII Congreso), edición en CD. En: <http://blues.uab.es/rev-ens-ciencias/>.

Vázquez, A. y M.A. Manassero (2007). *La relevancia de la educación científica*. Palma de Mallorca: Universitat de les Illes Balears.

Vázquez, Á. y M.A. Manassero (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 9(1), 2-31. En: <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira>.

Vázquez, A., Manassero, M.A. y J.A. Acevedo (2005). Análisis cuantitativo de ítems complejos de opción múltiple en ciencia, tecnología y sociedad: Escalamiento de ítems. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 7, 1. En: <http://redie.uabc.mx/vol7no1/contenido-vazquez.html>.

Vázquez, A., Manassero, M.A. y J.A. Acevedo (2006). An analysis of complex multiple-choice Science-Technology-Society items: Methodological development and preliminary results. *Science Education*, 90, 4, 681-706.

Vázquez, A., Manassero, M.A., Acevedo, J.A. y P. Acevedo (2007a). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la ciencia y la tecnología en la sociedad. *Educación Química*, 18, 1, 38-55.

Vázquez, A., Manassero, M.A., Acevedo, J.A. y P. Acevedo (2007b). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la comunidad tecnocientífica. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6, 2, 331-363. En: <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.

## **Anexo 1**

Síntesis de los consensos identificados por diversos estudios sobre la naturaleza del conocimiento científico según una estructura de varias dimensiones: relaciones entre CyT, relaciones de la sociedad con el sistema de CyT (subdividido entre la influencia de la sociedad sobre el sistema de CyT y la influencia inversa, del sistema de CyT sobre la sociedad), comunidad científica y epistemología.

### *Relación entre ciencia y tecnología*

CyT interaccionan entre sí, pero no son lo mismo.

La ciencia y la tecnología están estrechamente relacionadas entre sí.

CyT son muy importantes para la investigación y el desarrollo de un país.

Para mejorar la calidad de vida debe gastarse dinero tanto en investigación tecnológica como en investigación científica.

### *Interacciones ciencia – tecnología – sociedad*

Ciencia, tecnología y sociedad interaccionan mutuamente entre sí

### *Influencia de la sociedad sobre ciencia y tecnología*

El conocimiento científico es el producto de un desarrollo histórico.

Hay influencias históricas, culturales y sociales en la práctica y dirección de la ciencia.

La política afecta a CyT (subvencionando los proyectos científicos).

El éxito de CyT depende de tener buenos científicos, ingenieros y técnicos: se necesita que los alumnos estudien ciencias de calidad en la escuela.

El apoyo los ciudadanos a los científicos, ingenieros y técnicos depende de informarles sobre la ciencia y la tecnología.

La sociedad influye en la ciencia a través de las subvenciones económicas de las investigaciones.

### *Influencia de ciencia y tecnología en la sociedad*

Las aplicaciones del conocimiento científico y técnico no son neutrales; podrían entrar en conflicto con valores morales y éticos de la sociedad.

Los científicos deben preocuparse de los efectos, provechosos o perjudiciales, de sus descubrimientos.

Los científicos deben ser responsables de informar sobre sus descubrimientos al público.

La industria contaminante no debe trasladarse a países no desarrollados.

Las toma de decisiones sobre temas socio-científicos deberían ser compartidas por los especialistas (científicos e ingenieros) y los ciudadanos.

La ciencia y la tecnología pueden ayudar a tomar algunas decisiones morales y legales.

La ciencia y la tecnología, por sí solas, no pueden arreglar los problemas de contaminación (es responsabilidad de todos los ciudadanos).

La tecnología influye sobre la sociedad.

La tecnología no siempre mejora el nivel de vida (contaminación, desempleo y otros problemas).

### *La comunidad tecno-científica*

El trabajo científico es una actividad humana colectiva, multidisciplinar e internacional, que comparte el conocimiento, aunque algunos científicos individuales pueden hacer contribuciones excepcionales.

La veracidad es un valor básico de la presentación de informes científicos y técnicos.

El trabajo científico es competitivo; la revisión crítica por la comunidad científica determina los nuevos conocimientos y la elección de teorías.



La ciencia se desarrolla a través de períodos de "ciencia normal" y períodos "revolucionarios".

El trabajo de los científicos se basa en capacidades humanas generales, aunque valora más algunas (hábitos mentales, registro cuidadoso de datos, observación, normas, método y pensamiento lógico y crítico).

Un aspecto del trabajo científico es el continuo proceso cíclico de hacer preguntas y buscar respuestas que conducen a nuevas preguntas (curiosidad).

Los científicos tienen destrezas muy cualificadas en el análisis e interpretación de los datos (inferencias).

Las creencias personales de los científicos (éticas, religiosas, etc.) producen diferencias en sus descubrimientos.

No hay diferencias en la manera que hacen ciencia entre hombres y mujeres científicos.

La principal razón de que haya más científicos que científicas es el estereotipo masculino dominante en la sociedad (creer que la ciencia es una vocación de hombres) aunque esto está cambiando hoy día.

Los científicos publican descubrimientos en revistas para sus carreras personales y también para hacer avanzar la ciencia y la tecnología.

Las controversias entre científicos suceden por diversas razones (desinformación, ausencia de hechos, presiones de empresas o gobiernos, reconocimiento público o sostener diferentes teorías, opiniones personales o valores morales).

La decisión de usar una nueva tecnología no solo depende de las ventajas para la sociedad.

### *Epistemología*

El conocimiento de CyT...

...es provisional (sujeto a cambios) y auto-correctible, aunque gran parte es duradero (bien establecido).

...exige y se fundamenta en evidencia empírica, aunque observaciones y experimentos (control de variables) no son la única vía para producir conocimiento.

...es producto de la inferencia humana (razonamientos), tanto razonamientos inductivos como pruebas hipotético-deductivas.

...no se genera mediante un universal "método científico" de etapas que se aplica a toda la investigación.

...está formado por elementos (leyes, teorías e hipótesis) que desempeñan diferentes funciones, aunque relacionados entre sí.

...elabora teorías, modelos y clasificaciones que son idealizaciones de la naturaleza (frecuentemente matematizadas), que pueden no reflejar exactamente la realidad, pero se relacionan con ella.

...progresa gracias a la creatividad e imaginación (invención de hipótesis y explicaciones).

...está influido por el conocimiento previo (cargado de teoría), lo cual tiene rasgos positivos y negativos.

...tiene límites sobre las preguntas que plantea responde (no puede contestar todas las preguntas).

...se desarrolla mediante invención de hipótesis y propuesta de predicciones.

...pocas veces se valida por el resultado de un solo experimento.

...progresa también la corrección de errores (refutar una teoría o aprender de suposiciones falsas).

## **Anexo 2**

Muestra de algunos títulos de los recursos de biología del centro de Sociología, Historia y Filosofía de la Ciencia (SHiPS).

De arroz y hombres.

H.B.D. Kettlewell y las polillas del abedul.

Nettie Stevens y el problema de la determinación del sexo.

Robert Whittaker y la clasificación de los reinos.

El cultivo del maíz en los pueblos indígenas.

Lynn Margulis y la cuestión de cómo evolucionan las células.

(Re)descubrimiento de la circulación (William Harvey, a principios de 1600).

Hans Krebs y el problema de la respiración celular.

Richard Lower y la "fuerza vital" (función de los pulmones para airear la sangre).

Peter Mitchell y cómo las células producen ATP.

Thomas Willis y el cerebro en 1600.

Hans Seyle, las hormonas y el estrés.

La viruela (Turquía en el 1700).

Christiaan Eijkman y la causa de Beriberi.

La teoría de Alfred Russel Wallace sobre el origen de las especies.

Maria Merian y los insectos (las mujeres en la revolución científica).

Charles Darwin, la Medalla Copley y el surgimiento del naturalismo.

Frank M. Burnet y cómo los animales producen anticuerpos.

La interpretación del fósil *Archaeopteryx*.

Rachel Carson y la Primavera silenciosa.

Robert Koch y la tuberculosis.

Henry David Thoreau y la sucesión forestal.

La anemia de las células falciformes y los niveles de la biología (1910-1966).

George Gaylord Simpson y la deriva continental.

La psicología de la conducta de B.F. Skinner.

El debate sobre la Primavera Silenciosa de Rachel Carson.

Los primeros microscopios (1600).

Herbolario de los nativos americanos.