

UNA TAXONOMÍA PARA FACILITAR LA ENSEÑANZA EXPLÍCITA DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA Y SU INTEGRACIÓN EN EL DESARROLLO DEL CURRÍCULO DE CIENCIAS

Ángel Vázquez Alonso

Universidad de las Islas Baleares, Centro de Estudios de Posgrado
angel.vazquez@uib.es

María Antonia Manassero Mas

Universidad de las Islas Baleares, Facultad de Psicología
ma.manassero@uib.es

Resumo

O ponto de partida é a visão de consenso sobre o ensino da natureza da ciência e tecnologia (NdCeT), apresentando seus aspectos básicos e disputas pendentes. Presenta-se e revisa-se os principais conceitos de consenso selecionados da literatura, com atenção para as ideias corretas e os mitos ou ingênuas. A visão de consenso sobre NdCeT é global, relacional, complexa e dialética, características que o tornam inadequada e dissuasiva para muitos educadores, que fazem o desenvolvimento curricular do ensino explícito e eficaz a sala de aula um desafio. Para enfrentá-lo, este estudo propõe fornecer a os educadores com ferramentas taxonômicas úteis na sala de aula para planejar com segurança instrução explícita e de avaliação das questões NdCeT. Várias taxonomias são apresentadas e duas delas são comparadas, o que corresponde a ratificar sua funcionalidade e apoiar a sua utilização para organizar e sistematizar as complexas e diversificadas questões curriculares da NdCeT. A taxonomia chamada VOSTS-COCTS podem ser mais apropriada e acessível para os professores não-especialistas, porque as suas dimensões e categorias são mais detalhados e obedecem a uma lógica menos técnica e acadêmica, características que podem torná-lo mais funcional e compreensível para os professores não especializados. Dois aplicativos usam a apresentada taxonomia VOSTS-COCTS para organizar concepções adequadas e ingênuas da NdCeT: a classificação dos elementos da segunda taxonomia comparativa e outro aplicativo



sobre a classificação das concepções mais difundidas da visão do consenso.

Palavras-chave: Natureza da ciência e tecnologia; Ensino e avaliação; Visão de consenso; Concepções adequadas e ingênuas; Taxonomia de concepções.

Abstract

The consensus view on teaching the nature of science and technology (NoST), its basic aspects and its disputes still pending are introduced. The main consensual conceptions selected from the literature, with special attention to both the adequate and the naive myths or ideas are presented and reviewed. The consensus view on NoST is global, relational, complex and dialectical, traits that make it unsuitable and dissuasive for many educators, so that the curriculum development of explicit and effective classroom teaching is a challenge. To face it, this study raises the idea of providing educators with useful taxonomic tools to plan safely explicit instruction and assessment NoST issues in the classroom. Various taxonomies are presented and two of them are compared, whose matches ratify their functionality and support its use to organize and systematize the complex and diverse NoST curriculum issues. The taxonomy called VOSTS-COCTS may be more appropriate and accessible to non-specialists teachers because their dimensions and categories are more detailed and obey a less technical and academic logic, traits that may make it more functional and comprehensible to non-specialist teachers. Two applications illustrating the use of the VOSTS-COCTS taxonomy to organize adequate and naive NoST conceptions are developed: a classification of the elements of the second comparative taxonomy and the second on the classification of the most widespread conceptions of the consensus view.

Keywords: Nature of science and technology; Teaching and assessment; Consensus view; Adequate and naive conceptions; Taxonomy of conceptions.

Resumen

Se parte de la visión de consenso sobre la enseñanza de la naturaleza de la ciencia y la tecnología (NdCyT), presentando sus aspectos básicos y las controversias todavía pendientes. Se presentan y revisan las principales concepciones de consenso seleccionadas de la literatura, con atención tanto a las ideas adecuadas como a las



ingenuas o mitos. La visión de consenso sobre NdCyT es global, relacional, compleja y dialéctica, rasgos que la hacen poco apropiada y disuasoria para muchos educadores, de modo que el desarrollo curricular de la enseñanza en aula explícita y efectiva constituye un reto. Para afrontarlo, este estudio plantea proveer a los educadores de instrumentos taxonómicos útiles para planificar en el aula con seguridad la enseñanza explícita y la evaluación de temas de NdCyT. Se exponen diversas taxonomías y se comparan dos de ellas, cuyas coincidencias ratifican su funcionalidad y avalan su uso para organizar y sistematizar los complejos y diversos temas curriculares de NdCyT. La taxonomía denominada VOSTS-COCTS puede resultar más apropiada y asequible a los profesores no especialistas, porque sus dimensiones y categorías son más detalladas y obedecen una lógica menos técnica y académica, rasgos que pueden hacerla más funcional y comprensible para los profesores no especialistas. Se presentan dos aplicaciones del uso de la taxonomía VOSTS-COCTS para organizar las concepciones adecuadas e ingenuas sobre NdCyT: una clasificación de los elementos de la segunda taxonomía comparada y otro sobre la clasificación de las concepciones más extendidas de la visión de consenso.

Palabras clave: Naturaleza de la ciencia y la tecnología; Enseñanza y evaluación; Visión de consenso; Concepciones adecuadas e ingenuas; Taxonomía de concepciones.

Introducción

El marco teórico para el desarrollo curricular de los temas de naturaleza de la ciencia y la tecnología (NdCyT) parte de la existencia de un consenso mayoritario entre los especialistas, aunque no total, sobre los temas de NdCyT más apropiados para ser enseñados a los estudiantes. La existencia del consenso es patente cuando se examina la literatura especializada, y comprende dos aspectos esenciales para la selección curricular:

- Los temas de NdCyT son enseñables. Reconocer la posibilidad de enseñar temas de NdCyT, con éxito en su aprendizaje, es un supuesto básico, ampliamente compartido. Incluye la confianza de investigadores y profesores en que la enseñanza de estos temas puede producir aprendizajes relevantes y significativos para la educación científica. Por tanto, si se



enseñan adecuadamente, los estudiantes tienen capacidad para aprenderlos, no para convertirse en filósofos de la ciencia o similares, sino para lograr el nivel multidimensional de la alfabetización científica (Hodson, 2008; Roberts, 2007).

- La selección de los temas de NdCyT. El segundo aspecto se refiere a la selección, propia del desarrollo del currículo, de los temas y contenidos curriculares de NdCyT más adecuados para que los estudiantes aprendan. La literatura muestra que diversos autores proponen reiteradamente temas muy parecidos o similares, centrados en diversas ideas eje de NdCyT, ampliamente compartidas y aportadas por los actuales estudios sobre historia, filosofía, sociología, psicología, etc. de la ciencia y la tecnología (p.e. la metodología científica es multiforme y no existe un único método de etapas), aunque no exactamente iguales, pero donde las coincidencias también son más notables que las diferencias. La controversia se centra más bien en la filosofía de la selección (más amplia o más limitada), que se hace patente en el desarrollo de progresiones de aprendizaje sobre NdCyT más amplias o más reduccionistas (centradas en unos pocos temas).

Sin olvidar los matices expresados en el párrafo anterior, la posición de consenso expresada en el acuerdo básico del primer punto, deja de lado las controversias filosóficas sobre la enseñanza estos temas (ver por ejemplo, Alters, 1997a, 1997b; Smith, Lederman, Bell, Mccomas y Clough, 1997), no por falta de interés, sino porque es propia de especialistas y escuelas filosóficas y no de educadores, para lograr un consenso prácticamente mayoritario entre los educadores e investigadores sobre la enseñabilidad de la NdCyT. La razón fundamental que sostiene este supuesto es que el objetivo de enseñar NdCyT en el currículo escolar es modesto: no se trata de formar especialistas en filosofía, historia o sociología de CyT, pero sí de usar esos enfoques interdisciplinarios para ampliar y mejorar la comprensión de CyT por los estudiantes, esto es, alfabetizar científicamente a la ciudadanía a través de la aproximación innovadora al conocimiento científico, que supone enseñar los temas de NdCyT, para mejorar la comprensión general de la ciencia y la tecnología y su papel en el mundo actual; (Hipkins, Barker y Bolstad, 2005; Matthews, 1998).



La Controversia sobre la Selección de Temas de NdCyT en la Visión de Consenso

La selección de los temas de NdCyT, es decir, la decisión de los temas prioritarios para enseñar NdCyT, logra también importantes consensos sobre muchos temas entre investigadores y educadores. No obstante, la literatura también pone de manifiesto la existencia de distintos matices en las propuestas de contenidos curriculares para los temas de NdCyT, que revelan una cierta controversia. Esta controversia estaría centrada en el alcance de la selección de contenidos y, en consecuencia, en el planteamiento de fondo para su desarrollo en el currículo escolar. Una primera aproximación a este debate permite identificar dos posiciones en liza; en un lado, la posición de Lederman y sus colegas (Abd-El-Khalick, 2012; Lederman, 2007), que abogan por una lista reducida de temas de NdCyT para ser enseñados en el currículo escolar, y en el otro lado, los autores que proponen una visión más abierta e integral de los temas de NdCyT para el currículo (Erduran y Dagher, 2014; Matthews, 2012).

A lo largo de los últimos lustros, Lederman y sus colegas (Abd-El-Khalick, 2012; Lederman, 2007) han desarrollado una lista reducida de temas de NdC que invariablemente abordan en su ingente investigación sobre NdC con estudiantes y profesores. Esta lista se ha dado en denominar los “siete de Lederman”, porque según estos autores deben ser enseñados los siguientes siete rasgos básicos del conocimiento científico.

El conocimiento científico es...:

- provisional (sujeto a cambios);
- fundamentado empíricamente (basado en y/o derivado de las observaciones del mundo natural);
- parcialmente subjetivo (cargado de teoría);
- en parte, producto de la inferencia humana (razonamientos), donde es importante la distinción entre las observaciones e inferencias
- en parte también producto de la imaginación y la creatividad (involucra la invención de hipótesis y explicaciones);
- formado por un conjunto de teorías y leyes científicas (que son entes con diferente status y funciones, aunque relacionados)



- empapado social y culturalmente.

Los enunciados de los siete temas anteriores pertenecen predominantemente al área que podríamos denominar epistemología de la ciencia; sólo el último de ellos recoge, de una manera genérica, las muchas cuestiones e implicaciones sociales de la CyT.

El profesor McComas y sus colegas han elaborado también un listado más amplio de temas de consenso sobre la NdC, también compacto, sistemático y comprensible (McComas, 1996, 1998):

- La ciencia exige y se basa en evidencia empírica.
- La producción del conocimiento científico comparte muchos factores comunes en forma de hábitos mentales, normas, pensamiento lógico y métodos (tales como observación y registro de datos cuidadosos, veracidad de informes, etc.). Si bien conviene matizar que:
 - Los experimentos no son la única vía para el conocimiento científico
 - La ciencia utiliza tanto el razonamiento inductivo como pruebas hipotético-deductivas
 - No hay ningún método científico paso a paso mediante el cual se realiza toda la ciencia
 - La ciencia se desarrolla a través de la "ciencia normal" y "revolución" según Kuhn
 - El conocimiento científico es provisional, duradero y auto-correctible.
 - Las leyes, hipótesis y teorías son tipos especiales y generales de conocimientos científicos, relacionados entre sí.
 - La ciencia tiene un componente creativo: la imaginación es determinante en el progreso del conocimiento científico.
 - La ciencia tiene un elemento subjetivo. Las ideas y observaciones de la ciencia están "cargadas de teoría".
 - Hay influencias históricas, culturales y sociales en la práctica y dirección de la ciencia.
 - Ciencia y tecnología interaccionan entre sí, pero no son lo mismo.

- La ciencia y sus métodos no puede contestar todas las preguntas. En otras palabras, existen límites sobre los tipos de preguntas que se puede pedir que responda la ciencia.

Una comparación con la anterior permite comprobar la inclusión de nuevos temas, especialmente en la interacción entre la ciencia y la tecnología o los límites de la ciencia, aunque continúa manteniendo una gran cantidad de cuestiones epistemológicas.

Dentro de la posición de consenso, Matthews (2012) ha criticado la propuesta de listas limitadas de temas para enseñar NdCyT porque pervierten y encorsetan el amplio sentido relacional, reflexivo y argumental de las enseñanzas sobre NdCyT. En lugar de temas concretos, propone hablar de temas más amplio “rasgos” de la ciencia (features of science, FOS), para los cuales propone también una lista, pero a diferencia de la anterior, la lista de rasgos es orientativa, flexible y abierta (puede extenderse para incluir cualquier número de características importantes e interesantes de la ciencia) e incluye los siguientes temas:

- Los valores y las cuestiones socio-científicos
- Matemización
- Tecnología
- Explicación
- Cosmovisiones y Religión
- Teoría de la Elección y la racionalidad
- Feminismo
- Realismo y constructivismo

Otros autores se han unido a este debate para defender también visiones más amplias y relacionales y menos reduccionistas del campo NdCyT (Allchin, 2011, 2012; Erduran y Dagher, 2014; Vázquez, García-Carmona, Manassero y Bennassar, 2012 entre otros). En particular, Allchin propone un modelo de ciencia “total o global”; las propuestas de los otros dos estudios citados se consideran con más amplitud posteriormente.



Las aportaciones a la visión de consenso de las investigaciones empíricas

Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar y Duschl (2003) han obtenido empíricamente un consenso acerca de las “ideas sobre la ciencia” que deberían enseñarse a los estudiantes, mediante la aplicación de una metodología Delphi en tres etapas en la que participaron 23 profesores. Su análisis empírico permite decantar un conjunto de diez ideas clave, que deberían enseñarse a los estudiantes como currículo de NdCyT:

- Ciencia y curiosidad. El trabajo científico es un proceso continuo y cíclico de hacer preguntas y buscar respuestas que conducen a nuevas preguntas.
- Creatividad. La ciencia es una actividad que implica creatividad e imaginación, como sucede en tantas otras actividades humanas.
- Hipótesis y predicción. Los científicos formulan hipótesis y hacen predicciones de los fenómenos naturales, procesos esenciales para el desarrollo de nuevos conocimientos.
- Métodos científicos y comprobación crítica. Para probar las ideas, la ciencia usa métodos experimentales y, en particular, ciertas técnicas básicas como el control de variables.
- Análisis e interpretación de datos. La práctica científica implica destrezas cualificadas en el análisis e interpretación de los datos para la construcción de teorías.
- Diversidad del pensamiento científico. La ciencia no utiliza un único método, sino una diversidad de métodos y enfoques.
- Ciencia y certeza. Gran parte del conocimiento científico está bien establecido y fuera de toda duda razonable, pero otra parte puede cambiar en el futuro.
- Desarrollo histórico del conocimiento científico. Es necesario conocer algo de la historia del desarrollo del conocimiento científico.
- Dimensiones morales y éticas del desarrollo del conocimiento científico. Las decisiones en el conocimiento científico y técnico no son neutrales, y podrían entrar en conflicto con valores morales y éticos de grupos sociales.
- Cooperación y colaboración en el desarrollo del conocimiento científico.

El trabajo científico es una actividad colectiva y, a la vez, competitiva, pues para ser aceptado debe superar un proceso de revisión crítica por la comunidad científica.

Las ideas sobre la ciencia formulan categorías más amplias que las listas anteriores y sobre todo añaden el componente empírico al desarrollo curricular de los temas de NdCyT, es decir, los temas de enseñanza son decididos mediante un criterio empírico a partir de las opiniones de los profesores de ciencias.

En esta línea empírica fue creado el banco conocido como Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS), que está formado por un conjunto de 100 cuestiones con múltiples frases a modo de rúbricas de evaluación, adaptado al contexto cultural español a partir de los cuestionarios desarrollados empíricamente Views on Science, Technology and Society –VOSTS– (Aikenhead y Ryan, 1989) y Teacher's Belief about Science-Technology-Society –TBA-STS– (Rubba y Harkness, 1993; Rubba, Schoneweg y Harkness, 1996; Ryan y Aikenhead, 1992). Las 100 cuestiones del COCTS contienen un total de 637 frases sobre NdCyT agrupadas en las siguientes dimensiones: definiciones y relaciones de ciencia y tecnología, epistemología, influencia de la sociedad sobre ciencia y tecnología, influencia de ciencia y tecnología sobre la sociedad, educación en ciencia y tecnología, y sociología interna de ciencia y tecnología.

El escalamiento de las frases y la construcción de una métrica para el COCTS, a partir de los juicios de un panel de 16 expertos españoles sobre las frases del COCTS han permitido mejorar las prestaciones del COCTS como instrumento de evaluación y diagnóstico (Manassero y Vázquez, 1998; Manassero, Vázquez y Acevedo, 2001, 2003, 2004; Vázquez y Manassero, 1999; Vázquez, Manassero y Bennassar, 2014). El VOSTS es considerado un instrumento válido y fiable para la investigación de las posiciones de los estudiantes acerca de NdCyT que demuestra sus razones y justificaciones (Lederman, Wade y Bell, 1998).

Los juicios de los expertos constituyen una base empírica que ha permitido investigar los hipotéticos consensos sobre temas e ideas de NdCyT. El análisis empírico de las respuestas expertas ha permitido identificar numerosas ideas concretas de consenso que dilatan las fronteras de la posición de consenso más allá de la reducción a unos pocos temas. Aplicando el exigente criterio de tener una mayoría cualificada de dos tercios de los jueces expertos de acuerdo sobre los centenares de frases del COCTS se identificaron numerosas ideas de consenso: 93



frases de consenso que expresaban concepciones desinformadas, ingenuas o inadecuadas y 41 frases de consenso como concepciones informadas, apropiadas o adecuadas sobre NdCyT (Eagly y Chaiken, 1993; Vázquez, Manassero y Acevedo, 2005, 2006).

El amplio conjunto de ideas de consenso (143 ideas), identificado empíricamente a partir del COCTS, presenta diversas novedades respecto a los anteriores. La primera y más evidente es su carácter más amplio y abierto con respecto a los conjuntos de ideas presentados por otros investigadores; de alguna manera, este aval empírico responde y, en parte, cierra el debate acerca de la necesidad de una mayor apertura y diversidad de los temas consensuados de NdCyT: resulta evidente que los temas consensuados son amplios y relacionados. Una segunda evidencia es que los consensos no están limitados a los tópicos epistemológicos, que han concitado siempre mayor atención en la literatura, en parte por la extensión e influencia de los estudios de Lederman y sus colegas reducidos a sus siete temas, sino que otras ideas relacionadas con los aspectos sociales e institucionales (la influencia de la sociedad sobre la CyT, la influencia de la CyT sobre la sociedad y la sociología interna de CyT) también son importantes en su contribución a concepciones de consenso. La tercera novedad empírica es la ampliación de la calidad de las ideas de consenso, pues estas abarcan tanto afirmaciones en positivo (creencias adecuadas) como afirmaciones en negativo (creencias inadecuadas o mitos) sobre NdCyT (Acevedo, Vázquez, Manassero y Acevedo, 2007). La cuarta novedad se refiere al carácter mucho más específico y concreto de estas creencias consensuadas identificadas por los jueces expertos, en comparación con las propuestas anteriores (más genéricas); sin embargo, el marco taxonómico que apoya los estudios empíricos derivados del COCTS contiene categorizaciones más amplias que ayudan a estructurar la gran multiplicidad de ideas de consenso. Aunque este aspecto se desarrolla posteriormente en este estudio, Vázquez y Manassero (2012) ya presentaron una aplicación del sistema taxonómico VOSTS-COCTS para estructurar las 143 concepciones adecuadas e ingenuas producidas empíricamente a partir del análisis de los jueces expertos sobre la cuestiones del COCTS.

La visión de consenso sobre pre-concepciones ingenuas o desinformadas

Además de los consensos sobre ideas adecuadas acerca de la NdCyT el estudio empírico realizado con el COCTS introduce un nuevo elemento en el consenso sobre

NdCyT: las concepciones ingenuas, desinformadas o inadecuadas, cuya importancia para la enseñanza han resaltado también otros estudios (Allchin, 2012). Las concepciones ingenuas concitan también otra forma de consensos sobre aquellas concepciones que no son aceptables actualmente como parte de una visión adecuada de CyT; educativamente también son muy interesantes, porque representan pre-concepciones erróneas de los estudiantes que constituyen una referencia básica para la enseñanza, sobre las cuales se debería lograr el cambio conceptual.

Hace años, Nadeau y Désautels (1984), mediante una gran encuesta canadiense, identificaron ya cinco creencias míticas muy extendidas:

- El “realismo ingenuo”, o creencia que el conocimiento científico describe la verdad de la naturaleza tal como es.
- El “empirismo maravilloso” que convierte a la ciencia en una tarea meticulosa, ordenada y exhaustiva de recoger datos empíricos.
- La “credulidad experimental” que cree en la fuerza absoluta de los experimentos para verificar hipótesis.
- El “racionalismo radical” que atribuye una racionalidad y lógica absolutas a los procesos de la ciencia.
- El “idealismo ciego” que considera a los científicos totalmente desinteresados y objetivos.

Posteriormente, otros autores han identificado también otras creencias míticas generales sobre la ciencia y la investigación científica:

- La fábula de las leyes-como-teorías-maduras, que confunde el papel de hipótesis, teorías y leyes en la investigación científica (Ryan y Aikenhead, 1992).
- Las creencias ingenuamente realistas sobre los modelos y las clasificaciones en ciencia, olvidando su función instrumental (Manassero, Vázquez y Acevedo, 2001; Ryan y Aikenhead, 1992).
- La creencia que la tecnología es una mera aplicación de la ciencia y la ausencia de reconocimiento de otras relaciones entre ciencia y tecnología o entre diferentes ramas de la ciencia (Manassero, Vázquez y Acevedo, 2001).
- La creencia idealista que niega la influencia de factores sociales



internos y externos sobre la ciencia (Ryan y Aikenhead, 1992).

- La negación del papel de la creatividad en la investigación científica (Ryan y Aikenhead, 1992).

McComas (1996, 1998) también denomina “mitos” a éstas creencias previas erróneas, cuya presencia es manifiesta y extendida en el imaginario personal y colectivo; este autor destaca las siguientes creencias míticas:

- Una hipótesis es una conjetura educada.
- Las hipótesis se convierten en teorías, las cuales a su vez llegan a ser leyes.
- Las leyes científicas y otras ideas similares son absolutas y objetivas.
- Existe un método científico general y universal.
- La evidencia acumulada cuidadosamente producirá conocimiento cierto.
- La ciencia y sus métodos ofrecen pruebas absolutas, definitivas.
- La ciencia es más procesual que creativa.
- La ciencia y sus métodos pueden resolver todos los problemas.
- Los científicos son especialmente objetivos.
- Los experimentos son el camino principal hacia el conocimiento.
- Las conclusiones científicas son revisadas para mejorar su precisión.
- La aceptación de nuevo conocimiento científico es inmediata.
- Los modelos de la ciencia representan la realidad.
- Ciencia y tecnología son lo mismo.
- La ciencia es un empeño individual.

Los sucintos resúmenes de las investigaciones presentadas en los párrafos precedentes son la prueba principal de la existencia de consenso entre investigadores y educadores acerca de la enseñanza de los temas de NdCyT, aunque subsista cierta controversia sobre el enfoque y la amplitud de estos. La mayor extensión y las novedades acerca de las ideas de consenso identificadas empíricamente a partir de los juicios de los expertos no debe enmascarar la abrumadora coincidencia de fondo entre todas las propuestas, y por tanto, el respaldo de estos resultados a la posición



de consenso general, que propugna que los temas de NdCyT pueden enseñados a los estudiantes y que una visión más amplia y abierta de esos temas representa mejor la NdCyT que debe enseñarse.

Un Caso Curricular Reciente: Next Generation Science Standards

Un ejemplo curricular reciente y representativo de la posición de consenso es la publicación en USA de “Next Generation Science Standards” (NGSS, 2013). El enfoque global de NGSS plantea el currículo científico como síntesis de amplias ideas en tres contenidos básicos para todos los cursos: las prácticas de la ciencia y la tecnología, las ideas básicas de la disciplina y los conceptos transversales.

La naturaleza de las explicaciones científicas es considerada una idea central en los programas de ciencias basados en estándares. La matriz de NdCyT propuesta por NGSS incluye los siguientes elementos básicos de comprensión sobre la naturaleza de la ciencia:

- Las investigaciones científicas utilizan una variedad de métodos
- El conocimiento científico se basa en la evidencia empírica
- El conocimiento científico es abierto a la revisión a la luz de nueva evidencia
- Modelos científicos, leyes, mecanismos, y teorías que explican los fenómenos naturales
- La ciencia es una forma de saber
- El conocimiento científico asume orden y consistencia en los sistemas naturales
- La ciencia es un esfuerzo humano
- La ciencia responde preguntas sobre el mundo natural y material

NGSS aporta una visión curricular reforzada, simplificada y renovada, agrupando los rasgos de NdCyT en dos conjuntos: por un lado, los rasgos asociados a las prácticas científicas, y por otro, los rasgos transversales. Los primeros cuatro de estos elementos están estrechamente asociados con las prácticas y los cuatro segundos con los conceptos transversales. La inclusión de la naturaleza de la ciencia en NGSS no constituye una dimensión nueva de las NGSS sino que los ocho elementos de



NdCyT se incorporan en los contenidos básicos de las prácticas y conceptos transversales.

El uso de estudios de caso de la historia de la ciencia ofrece contextos para desarrollar la comprensión de los estudiantes de la naturaleza de la ciencia. Para la escuela media y secundaria NGSS recomienda los siguientes estudios de caso para ampliar y profundizar la comprensión acerca de la naturaleza de la ciencia:

- La revolución de Copérnico
- Mecánica newtoniana
- Estudio de Lyell de los patrones de rocas y fósiles
- La progresión de la deriva continental y la tectónica de placas
- Lavoisier / Dalton y la estructura atómica
- Teoría de Darwin de la evolución biológica y la síntesis moderna
- Pasteur y la teoría de los gérmenes
- James Watson y Francis Crick y el modelo molecular de Genética

Un reciente estudio sobre el número de dimensiones más apropiadas para describir los ocho componentes de NdCyT en NGSS compara modelos de una o dos dimensiones con modelos multidimensionales, resultando que los modelos multidimensionales, con componentes relacionadas, ajustan mejor los contenidos de NdCyT en NGSS que el modelo unidimensional (Harrison, Seraphin, Philippoff, Vallin y Brandon, 2015). En primera instancia, este resultado empírico apoya el marco de NGSS para NdCyT, formado por temas de NdCyT amplios, y algunos de ellos transversales a todo el currículo; en un sentido más extenso, el mejor ajuste de los temas de NdCyT por modelos multidimensionales respecto a los modelos unidimensionales puede interpretarse también como un apoyo indirecto a las propuestas más amplias y abiertas sobre el desarrollo curricular de los temas de NdCyT.

Consenso y Taxonomías en el Campo Naturaleza de la Ciencia

Las contribuciones resumidas en los párrafos anteriores muestran que la posición de consenso en NdCyT ofrece una gran cantidad de ideas generadas en la investigación y razonablemente compartidas por investigadores y educadores, que

constituyen los candidatos enseñables para desarrollar los contenidos curriculares sobre NdCyT. La cantidad, complejidad y diversidad de ideas sobre NdCyT que conforman la visión de ese flexible consenso difieren ampliamente en cuanto a su especificidad y profundidad; algunas son ideas muy concretas (el conocimiento científico es provisional) y otras son muy generales (ciencia y sociedad están mutuamente imbricadas); unas tienen un alcance limitado (ciencia y curiosidad), mientras otras tienen un alcance muy amplio (dimensiones morales y éticas del conocimiento científico).

Aunque la cantidad, complejidad y diversidad de ideas sobre NdCyT sea la materia prima del trabajo de los investigadores, esta cantidad, complejidad y diversidad puede causar confusión a los educadores de ciencias, que no tienen por qué ser especialistas en NdCyT y, por ello, contribuir a inhibir la enseñanza de NdCyT en las aulas como apuntan algunos estudios (Höttecke y Silva, 2011).

Para evitar esta inhibición de la enseñanza causada por la complejidad y las diferencias entre unas ideas y otras, se considera que la introducción de cierta racionalidad estructural ayudaría a los docentes a afrontar mejor este campo complejo, de modo que los múltiples temas de NdCyT se puedan presentar con cierta organización y estructura, mediante algún sistema de clasificación o taxonomía que los organice de una manera sistemática y clara, especialmente motivadora para los no especialistas. La necesidad de una taxonomía para las ideas sobre NdCyT podría también ser útil para visualizar, legitimar y consolidar la visión de consenso amplia y relacional, que propugnan la mayoría de los investigadores y educadores, y no limitada a una lista relativamente corta de ideas y temas sobre NdCyT.

Algunos estudios han propuesto sistemas taxonómicos del campo NdCyT que ayudan a orientar a los no especialistas a en ese campo tan complejo, y al mismo tiempo pueden servir de guía a los especialistas e investigadores hacia su mejora. En este apartado se analizan algunos sistemas taxonómicos propuestos para estructurar el campo de NdCyT.

Los campos teóricos estructurantes

El sistema de campos teóricos estructurantes propuesto por Adúriz (Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany, 2002) selecciona algunas ideas troncales de la epistemología de la ciencia, que tienen valor educativo para la enseñanza y la formación del profesorado, a los que denominan campos o criterios teóricos



estructurantes (y más tarde, campos de problemas). Los campos propuestos son:

- Correspondencia: contiene las ideas acerca de relación entre el conocimiento científico (teorías y modelos científicos) y la realidad representada.
- Racionalidad: se refiere a los criterios implicados en la evaluación del conocimiento científico (racionalismo moderado, adecuación, etc.).
- Representación y lenguajes: se refiere a las ideas acerca de la comunicación del conocimiento científico por medio de diferentes lenguajes (formales, simbólicos, computacionales e icónicos).
- Intervención y método: ideas y acciones profesionales relacionadas con la metodología de la empresa científica (visiones nómicas, pluralistas o abductivas).
- Contexto y valores: se relaciona con los distintos valores que sustentan la actividad científica.
- Evolución y juicio: se relaciona con el cambio de la ciencia (por contraposición a la idea de acumulación) y al juicio necesario para resolver las controversias entre teorías o modelos rivales.
- Normatividad y recursión: incluye las ideas de reflexión de la epistemología sobre ella misma (discurso de tercer orden relacionado los saberes metadisciplinarios acerca de la actividad científica).

Estos campos están centrados en la visión principalmente epistemológica, y sus categorías, formuladas desde esta perspectiva, pueden tener valor para los investigadores y especialistas, pero parecen poco funcionales para docentes que carezcan de una formación profunda o una dirección asistida importante.

La taxonomía VOSTS y la visión de consenso

Hace más de dos décadas, siguiendo la tradición de los estudios sociales de la ciencia, cristalizada en el movimiento ciencia, tecnología y sociedad para la educación científica Aikenhead y Ryan (1989, 1992) desarrollaron un banco de 114 ítems (Views on Science, Technology and Society, VOSTS) para evaluar concepciones sobre NdCyT y una taxonomía para clasificar y ordenar esos ítems. En esta taxonomía subyace la distinción entre los dos campos clásicos de los estudios sociales de la



ciencia: estudios sobre la ciencia (filosofía e historia de la ciencia y la tecnología) y estudios sociales de la ciencia (sociología e historia de la ciencia y la tecnología). La taxonomía se estructura en nueve dimensiones, cada una de las cuales, a su vez, se desarrolla en distintas categorías más específicas, que conforman un completo mapa global del campo, cuya aplicación a la clasificación de los temas de NdCyT resulta muy funcional. Las dimensiones y categorías de la taxonomía VOSTS usan un sistema de códigos numéricos que la hacen flexible y permiten su ampliación e innovación, sin perder su estructura básica.

El primer campo clásico, correspondiente a los estudios sobre la ciencia (filosofía e historia de la ciencia y la tecnología), se refiere a todas las meta-cogniciones sobre los aspectos cognitivos del conocimiento científico. Este campo se corresponde con dos dimensiones, una sobre las definiciones y relaciones entre ciencia y tecnología y otra sobre la naturaleza del conocimiento científico.

El segundo campo incluye los aspectos sociales e institucionales de la ciencia y la tecnología, que a su vez se desarrolla en dos grandes dimensiones: la sociología externa de la ciencia (las relaciones de CyT con otros elementos e instituciones sociales) y la sociología interna de la ciencia (que comprende las actividades y los valores desarrollados por científicos y tecnólogos dentro de sus comunidades profesionales de prácticas). La propuesta inicial de Aikenhead y Ryan (1889) ha sido ampliada con las contribuciones de Rubba y Harkness (1993) y Bennássar, Vázquez, Manassero y García Carmona (2010). Las tablas 1 y 2 presentan los detalles de los campos, dimensiones y categorías de la taxonomía VOSTS con estas elaboraciones.

Tabla 1 - Campo meta-cognitivo del conocimiento científico en la taxonomía VOSTS-COCTS (adaptada por los autores) con las categorías correspondientes a sus dos dimensiones (relaciones entre ciencia y tecnología y naturaleza del conocimiento científico).

Dimensiones	Categorías
Definiciones	
1. Ciencia y Tecnología	01.Ciencia 02.Tecnología 03.I+D 04.Interdependencia
Epistemología	
9. Naturaleza del conocimiento científico	01.Observaciones 02.Modelos científicos 03.Esquemas de clasificación 04.Provisionalidad 05.Hipótesis, teorías y leyes 06.Aproximación a las investigaciones 07.Precisión e incertidumbre 08.Razonamiento lógico 09.Supuestos de la ciencia 10.Estatus epistemológico 11.Paradigmas y



coherencia de conceptos



La tabla 1 presenta el campo meta-cognitivo del conocimiento científico con las categorías correspondientes a sus dos dimensiones (definiciones y relaciones entre ciencia y tecnología y naturaleza del conocimiento científico). Las relaciones entre ciencia y tecnología comprenden las definiciones y visiones de ciencia y tecnología junto con las relaciones entre ambas a través de su mutua interdependencia y los conceptos de innovación y desarrollo. La naturaleza del conocimiento científico comprende once categorías, algunas de ellas amplias, como por ejemplo, la aproximación a las investigaciones, que incluye aspectos relacionados con la metodología científica, o los elementos básicos del conocimiento científico, que incluye aspectos relacionados con las hipótesis, las teorías y las leyes científicas; otras categorías, como los supuestos de la ciencia y el estatus epistemológico del conocimiento científico, contienen diversos aspectos de valores y normas en la ciencia.

Tabla 2 - Campo social e institucional del conocimiento científico en la taxonomía VOSTS (adaptada por los autores) con las categorías correspondientes a sus dimensiones (sociología externa e interna de la ciencia y la tecnología).

Dimensiones	Categorías
<i>Sociología Externa de la Ciencia</i>	
2. Influencia de la Sociedad sobre la Ciencia / Tecnología	01.Gobierno 02.Industria 03.Ejército 04.Ética 05.Instituciones educativas 06.Grupos de interés especial 07.Influencia sobre científicos 08.Influencia general
3. Influencia triádica	01.Interacción CTS
4. Influencia de Ciencia / Tecnología sobre la Sociedad	01.Responsabilidad social 02.Decisiones sociales 03.Problemas sociales 04.Resolución de problemas 05.Bienestar económico 06.Contribución al poderío militar 07.Contribución al pensamiento social 08.Influencia general
5. Influencia de la ciencia escolar sobre la Sociedad	01.Unión dos culturas 02.Fortalecimiento social 03.Caracterización escolar de la ciencia
<i>Sociología Interna de la Ciencia</i>	
6. Características de los científicos	01.Motivaciones 02.Valores y estándares 03.Creencias 04.Capacidades 05.Efectos de género 06.Infrarrepresentación de las mujeres
7. Construcción social del conocimiento científico	01.Colectivización 02.Decisiones científicas 03.Comunicación profesional 04.Competencia profesional 05.Interacciones sociales 06.Influencia de individuos 07.Influencia nacional 08.Ciencia pública y ciencia privada
8. Construcción social de la Tecnología	01.Decisiones tecnológicas 02.Autonomía de la tecnología



La tabla 2 presenta el campo relativo a los aspectos sociales e institucionales de la ciencia y la tecnología, junto con las categorías correspondientes a sus dos dimensiones: la sociología externa de la ciencia (las relaciones de la ciencia con otros elementos e instituciones sociales) y la sociología interna de la ciencia (que se refiere a las comunidades de prácticas de científicos y tecnólogos y los valores y normas que orientan su práctica profesional). La sociología externa de la ciencia y tecnología comprende las influencias mutuas entre la sociedad y el sistema de ciencia y tecnología (de aquella sobre este, y de este sobre aquella), la influencia simultánea entre los tres (ciencia, tecnología y sociedad) y la influencia de la educación científica sobre la sociedad. La sociología interna de la ciencia y tecnología comprende las características de los científicos, la construcción social de la ciencia y la construcción social de la tecnología. Las categorías que desarrollan estas dimensiones ponen de manifiesto los contenidos socio-cognitivos (contribución al pensamiento social), social (problemas y decisiones sociales), institucionales (gobierno e industria) o de valores (ética, responsabilidad, valores y estándares) comprendidos en cada una de las categorías.

Las claves numéricas de dimensiones y categorías respetan las asignaciones originales de Aikenhead y Ryan (1889), constituyendo un sistema abierto y flexible que permite codificar cualquier tema de NdCyT; por ejemplo, un tema de NdCyT codificado como 702 correspondería a la dimensión siete (construcción social del conocimiento científico) y a la categoría dos de esa dimensión (toma de decisiones científicas). Los autores añaden dos dígitos más para clasificar distintos temas específicos dentro de cada categoría.

La Perspectiva del Parecido Familiar entre Ciencias y el Consenso sobre NdCyT

La controversia entre la visión de consenso (reduccionista) y la visión más amplia y relacional sobre los temas de NdCyT que deben ser incluidos en los currículos escolares, es recogida por Erduran y Dagher (2014) para proponer una reconceptualización de la NdCyT en la educación científica. Esta reconceptualización se basa en la propuesta de Irzik y Nola (2014) acerca de la existencia de un "parecido familiar" (family resemblance approach, FRA) entre las ciencias, como base de la caracterización de la NdCyT en la educación científica, que preserva la unidad de la ciencia sin sacrificar su diversidad. Las características de la ciencia, tal como es practicada por los científicos de las múltiples especialidades, no muestran relaciones



de identidad total entre las diversas especialidades, sino más bien de parecido familiar, de manera análoga a como los distintos miembros de una familia tienen una serie de rasgos comunes compartidos, sin poder ser considerados idénticos. En el caso de la ciencia, esta visión global FRA basada en la semejanza de prácticas, es básica para la validación del conocimiento científico, aunque su praxis no sea exactamente idéntica en las distintas especialidades científicas, sino solo parecida.

Erduran y Dagher (2014) sintetizan el parecido familiar común de las ciencias en dos dimensiones básicas: una dimensión epistémica y cognitiva y otra dimensión social e institucional. A su vez, la dimensión de la ciencia como un sistema epistémico y cognitivo es desarrollada por las autoras en las siguientes categorías:

- Los conocimientos científicos
- Los procesos y prácticas de la investigación científica
- Las metas y los valores (epistémicos y cognitivos)
- Las reglas metodológicas de la práctica científica

A su vez, cada una de estas categorías incluye diversos temas concretos importantes, que coinciden con los que han sido citados de la literatura sobre NdCyT que sostiene la visión de consenso (tabla 3).

La dimensión FRA de la ciencia como un sistema institucional y social se desarrolla en las cuatro categorías siguientes:

- Las actividades profesionales de los científicos
- La crítica científica
- La certificación y diseminación social del conocimiento científico
- Los valores institucionales y sociales de la ciencia

Cada una de estas categorías es desarrollada con la inclusión de diversos temas concretos importantes, que coinciden con los citados anteriormente desde la literatura de la visión de consenso sobre NdCyT (tabla 4).



Tabla 3 - Taxonomía de los temas de la naturaleza de la ciencia y la tecnología a partir del enfoque de parecido familiar entre las ciencias para la dimensión de la ciencia como sistema epistémico y cognitivo.

La ciencia como sistema epistémico y cognitivo			
Procesos y prácticas de investigación	Metas y valores	Métodos y reglas metodológicas	Conocimiento científico
Observación	Plantea y responde cuestiones acerca del mundo natural y material	Amplio espectro de métodos	Explicaciones, modelos, teorías y leyes
Experimentación	Basadas en evidencias empíricas		Comprensión y distinción entre observación, hipótesis, modelo, teoría o proposición
Creatividad	Creatividad	Creatividad	Creatividad
Clasificación	Objetividad		
Tecnología	Novedad		
Matematización	Precisión		
Idealización	Adecuación empírica		
Explicación	Racionalidad y la elección de teorías		
Desarrollo de modelos y explicaciones	Tradiciones éticas, las violaciones de las normas por algunos científicos son censuradas		
La argumentación crítica	Análisis de las ventajas, inconvenientes y riesgos de algunos desarrollos científicos y tecnológicos Aplicaciones educativas de búsqueda de la neutralidad y evitación de sesgos, búsqueda de nuevas explicaciones, asegurar que las explicaciones sean exactas, basar las afirmaciones en datos suficientes, relevantes y plausibles, dar razones para justificar las afirmaciones, reconocer y responder a las objeciones y las ideas opuestas y auto-crítica de las ideas propias		
La evaluación y la reflexión sobre la práctica			

Tabla 4 - Taxonomía de los temas de la naturaleza de la ciencia y la tecnología a partir del enfoque de parecido familiar entre las ciencias (Erduran y Dagher, 2014) para la dimensión de la ciencia como sistema institucional y social.

La ciencia como sistema institucional y social			
Actividades profesionales	Crítica científica	Certificación y diseminación social del conocimiento	Valores institucionales y sociales
Empresa humana	Examen crítico	La publicación de los resultados de los trabajos científicos	La ciencia no está separada de la sociedad, sino que es parte de ella
Red de instituciones y participantes	Afrontamiento de anomalías y contra ejemplos	Las incertidumbres y las ideas científicas también cambian a lo largo del tiempo	Los compromisos teóricos, el bagaje de los científicos y el campo de trabajo influyen sobre la naturaleza de los descubrimientos
	Aceptación seria de los retos y desafíos	La información fidedigna y verdadera	Los científicos están influidas por las creencias personales, culturales y sociales
Honradez	Honradez	Evaluación por pares	La ciencia avanza con las contribuciones de individuos de diferentes países y culturas
		Honradez	Honradez
			Satisfacer las necesidades humanas
			Igualdad de la autoridad intelectual
			Descentralizar el poder
			La ciencia y los científicos trabajan en el seno de la sociedad
			Aplicaciones educativas de respetar las necesidades humanas, evitar el control de las ideas por algunos para favorecer sesgos de grupos particulares, ser y actuar honradamente en todas las actividades y respetar todas las ideas basadas en pruebas, con independencia de su contenido.



Esta taxonomía ofrece un fundamento teórico y cierto desarrollo funcional en favor de una visión de ampliada para la NdCyT frente a las propuestas de consenso más reduccionistas. En particular, el supuesto del parecido familiar entre las diversas ciencias permite desarrollar una taxonomía común (consenso) y mostrar como múltiples elementos de la NdCyT encajan en las diversas categorías taxonómicas propuestas (tablas 3 y 4).

Sin embargo, el papel del conocimiento científico en esta propuesta está aparentemente muy delimitado y encerrado en la dimensión cognitiva. En efecto, una categoría (conocimiento científico, teorías, leyes y modelos) aparece así denominada explícitamente sólo en la primera dimensión (epistémica y cognitiva) pero no en la segunda (social e institucional), reduciendo su transversalidad y centralidad. En realidad, el conocimiento científico, producido por los científicos como consecuencia de sus actividades profesionales, es el núcleo y germen de todo lo que se denomina NdCyT, es decir, la materia prima de todas las meta-reflexiones que diversas ciencias (filosofía, sociología e historia, principalmente, pero también psicología, economía, política, etc.) desarrollan sobre él y los procesos que lo construyen y validan. El conocimiento científico es, pues, el objeto de estudio transversal a toda la meta-reflexión englobada en la denominación NdCyT y este hecho básico debería conducir a elegir otra etiqueta diferente a la citada para evitar interpretaciones desviadas. Por ejemplo, la denominación productos de la ciencia podría ser más adecuada, e incluso encajar mejor con el propósito de las autoras de plantear la naturaleza epistémica de todos los productos de la ciencia, y no solo del conocimiento (fundamentalmente, los modelos, las leyes y las teorías, pero también las hipótesis, los procesos, las redes sociales, etc.) y también evitar su aparente ausencia en la segunda dimensión.

Otro aspecto débil de esta taxonomía es la diferente denominación empleada para designar las cuestiones de valores y normas relativas al conocimiento científico. En la dimensión epistémica y cognitiva el nombre elegido es metas y valores, mientras que en la dimensión social el nombre elegido es valores sociales e institucionales. En nuestra opinión, ambos deberían usar la misma denominación, por ejemplo, simplemente valores, ya que usando la misma etiqueta (valores) se puede sobreentender implícitamente, que en la primera dimensión (epistémica y cognitiva) los valores de referencia en la ciencia son de orden epistémico y cognitivo, mientras que en la segunda dimensión (social e institucional), los valores de referencia son de orden social e institucional.

En conjunto, el planteamiento FRA para re-conceptualizar la NdCyT es positivo porque recupera la distinción clásica, desde el inicio de los estudios sociales y el movimiento CTS, entre los campos de estudios sobre la ciencia y los estudios sociales de la ciencia, y porque llega a proponer una visión de consenso ampliada y en sintonía con la complejidad de NdCyT.

Además, esta coincidencia de planteamiento básico sugiere un parecido familiar de entre el sistema taxonómico VOSTS-COCTS y el sistema taxonómico FRA que se desarrolla más ampliamente en el siguiente epígrafe.

La Complementariedad entre los Sistemas Taxonómicos VOSTS y FRA

Este apartado compara los dos sistemas taxonómicos del campo NdCyT, el VOSTS-COCTS propuesto originalmente por Aikenhead (Aikenhead y Ryan, 1989), a partir de una visión de ciencia tecnología y sociedad emergente de los estudios sociales de la ciencia y tecnología, y el sistema taxonómico FRA propuesto por Erduran y Dagher (2014), a partir de un enfoque de parecido familiar entre las diversas ciencias. El análisis pone de manifiesto las muchas coincidencias y algunas divergencias entre ambos, y valora el grado de funcionalidad taxonómica que puede aportar cada uno de ellos a la enseñanza de la NdCyT.

La tabla 5 presenta un análisis comparativo entre ambos sistemas mediante la tabulación cruzada entre sus dimensiones y categorías resaltando las muchas correspondencias entre ambos. Las casillas ocupadas por una cruz indican los puntos de coincidencia entre las categorías de ambos sistemas.

Como parece razonable, la dimensión de ciencia como un sistema epistemológico y cognitivo del sistema FRA se proyecta principalmente sobre las dimensiones de epistemología y definiciones de ciencia y tecnología del sistema VOSTS. Esto se visualiza en la tabla 5 observando que la mayoría de las cruces de las cuatro primeras columnas (sistema epistemológico y cognitivo) están contenidas en las filas correspondientes a las dos dimensiones citadas del sistema VOSTS.

Análogamente, la dimensión de la ciencia como un sistema institucional y social del sistema FRA se proyecta principalmente en las dimensiones de sociología externa (impactos mutuos entre el sistema de ciencia y tecnología y la sociedad) y sociología interna (rasgos de la comunidad científica y tecnológica).

Otra evidencia que surge de la observación de la distribución de las cruces de



coincidencias entre ambos sistemas taxonómicos sobre la tabla 5 revela que algunas categorías del sistema VOSTS corresponden a dos dimensiones del sistema FRA. Por ejemplo, las observaciones científicas constituyen, a la vez, un proceso y práctica científica (categoría que pertenece a la dimensión FRA epistémica y cognitiva) y una actividad profesional (categoría que pertenece a la dimensión FRA institucional y social). Esta atribución de varias categorías del sistema FRA a algunas categorías del sistema VOSTS también es verificable en otros procesos científicos (experimentación, argumentación, uso de tecnologías, etc.). Una situación análoga sucede también en el caso de los supuestos o los paradigmas de la ciencia que constituyen, a la vez, un valor, porque inspiran la actividad (institucional y social) de los científicos, y una regla, porque los científicos intentan aplicarlos en su práctica profesional (epistémica y cognitiva).

El caso de los procesos de toma de decisiones científicas es uno de los temas de NdCyT más amplios y transversales, porque las decisiones pueden abarcar desde simples detalles de la práctica científica diaria, que pueden resultar trascendentales para el progreso del conocimiento científico (realizar una actividad de una forma u otra que conduce o no al éxito), hasta decisiones muy complejas (alineación con un bando u otro en una controversia sobre una teoría científica). Esta transversalidad hace que la toma de decisiones puedan implicar tanto aspectos epistémicos y cognitivos (en las categorías de procesos y métodos) y aspectos institucionales y sociales (en las categorías de actividades profesionales y de crítica científica).

Finalmente, otro resultado reseñable a partir de la tabla 5 lo constituye la incidencia de la elevada transversalidad de la categoría “actividades profesionales” del sistema FRA respecto a todas dimensiones del sistema VOSTS-COCTS. En efecto, los contenidos de esta categoría, asignada a la dimensión institucional y social en el sistema FRA, exhiben cruces en todas las dimensiones del sistema VOSTS-COCTS. Este resultado indica que la investigación, como actividad principal de los científicos, es un concepto altamente interrelacionado con muchos aspectos de la NdCyT. Este resultado tiene consecuencias importantes en relación con la enseñanza de la ciencia basada en la investigación, que recoge amplios consensos como una didáctica general de la ciencia recomendable para todos los niveles educativos (p. e. Rocard, Csermely, Jorde, Lenzen, Walberg-Henriksson y Hemmo, 2007), incluso aunque no se enseñe NdCyT. Por un lado, pone de manifiesto que es muy difícil distinguir entre ambos (investigación y NdCyT) y, por tanto, educativamente no tiene sentido separar artificialmente lo que está relacionado de forma natural. Por otro lado, y en



consecuencia, ambos aspectos relacionados deben aprovecharse conjuntamente en la enseñanza de la NdCyT, de modo que la enseñanza de la ciencia basada en la investigación constituye un contexto muy apropiado para enseñar NdCyT, pues la investigación comparte una relación directa con todas las dimensiones de la NdCyT.

Tabla 5 - Análisis comparativo entre los dos sistemas taxonómicos (VOSTS-COCTS y FRA) para el campo naturaleza de la ciencia y tecnología (las dimensiones y categorías de ambos se presentan sombreados con distinta intensidad).

Sistema taxonómico VOSTS_COCTS	Sistema taxonómico desde el enfoque de parecido familiar (FRA) (LA CIENCIA COMO ...)							
	... SISTEMA EPISTÉMICO Y COGNITIVO				... SISTEMA INSTITUCIONAL Y SOCIAL			
	Procesos y prácticas	Metas y valores	Métodos y reglas	Conocimiento científico	Actividades profesionales	Crítica científica	Certificación y diseminación social	Valores sociales
EPISTEMOLOGÍA								
<i>1. Ciencia y Tecnología (definiciones)</i>								
01. Ciencia	X			X				
02. Tecnología	X			X				
03. I+D	X				X			
04. Interdependencia	X				X			
9. Naturaleza del conocimiento científico								
01. Observaciones	X				X			
02. Modelos científicos				X				
03. Esquemas de clasificación				X				
04. Provisionalidad		X	X					
05. Hipótesis, teorías y leyes				X				
06. Aproximación a las investigaciones	X		X		X			
07. Precisión e incertidumbre		X						
08. Razonamiento lógico	X		X		X			
09. Supuestos de la ciencia		X	X					
10. Estatus epistemológico		X	X					
11. Paradigmas y coherencia de conceptos		X	X					
SOCIOLOGÍA EXTERNA DE								



Sistema taxonómico desde el enfoque de parecido familiar (FRA)								
(LA CIENCIA COMO ...)								
Sistema taxonómico VOSTS_COCTS	... SISTEMA EPISTÉMICO Y COGNITIVO				... SISTEMA INSTITUCIONAL Y SOCIAL			
	Procesos y prácticas	Metas y valores	Métodos y reglas	Conocimiento científico	Actividades profesionales	Crítica científica	Certificación y diseminación social	Valores sociales
LA CIENCIA								
<i>2. Influencia de la Sociedad sobre la Ciencia/ Tecnología</i>								
01. Gobierno					X			
02. Industria					X			
03. Ejército					X			
04. Ética								X
05. Instituciones educativas							X	
06. Grupos de interés especial							X	
07. Influencia sobre científicos					X			
08. Influencia general					X			
<i>3. Influencia triádica</i>								
01. Interacción CTS					X			
<i>4. Influencia de Ciencia/ Tecnología sobre la Sociedad</i>								
01. Responsabilidad social								X
02. Decisiones sociales								X
03. Problemas sociales								X
04. Resolución de problemas								X
05. Bienestar económico					X			
06. Contribución al poderío militar							X	
07. Contribución al pensamiento social							X	
08. Influencia general					X			
<i>5. Influencia de la ciencia</i>								



Sistema taxonómico desde el enfoque de parecido familiar (FRA) (LA CIENCIA COMO ...)								
Sistema taxonómico VOSTS_COCTS	... SISTEMA EPISTÉMICO Y COGNITIVO				... SISTEMA INSTITUCIONAL Y SOCIAL			
	Procesos y prácticas	Metas y valores	Métodos y reglas	Conocimiento científico	Actividades profesionales	Crítica científica	Certificación y diseminación social	Valores sociales
escolar sobre la Sociedad								
01. Unión dos culturas							X	
02. Fortalecimiento social							X	
03. Caracterización de la ciencia escolar							X	
SOCIOLOGÍA INTERNA DE LA CIENCIA								
6. Características de los científicos								
01. Motivaciones					X			
02. Valores y estándares								X
03. Creencias					X			
04. Capacidades					X			
05. Efectos de género								X
06. Infrarrepresentación de las mujeres								X
7. Construcción social del conocimiento científico								
01. Colectivización	X				X			
02. Decisiones científicas	X		X		X	X		
03. Comunicación profesional	X						X	
04. Competencia profesional	X					X		
05. Interacciones sociales	X							X
06. Influencia de individuos	X							X
07. Influencia nacional	X							X
08. Ciencia pública y ciencia privada	X						X	
8. Construcción social de la								



Sistema taxonómico VOSTS_COCTS	Sistema taxonómico desde el enfoque de parecido familiar (FRA) (LA CIENCIA COMO ...)							
	... SISTEMA EPISTÉMICO Y COGNITIVO				... SISTEMA INSTITUCIONAL Y SOCIAL			
	<i>Procesos y prácticas</i>	<i>Metas y valores</i>	<i>Métodos y reglas</i>	<i>Conocimiento científico</i>	<i>Actividades profesionales</i>	<i>Crítica científica</i>	<i>Certificación y diseminación social</i>	<i>Valores sociales</i>
<i>Tecnología</i>								
01. Decisiones tecnológicas								X
02. Autonomía de la tecnología								X

Las casillas con una cruz indican los puntos de coincidencia entre las categorías de VOSTS-COCTS y los elementos asignados a las categorías del sistema FRA (tablas 3 y 4).

Discusión y Conclusiones

Este artículo parte del supuesto que existe una visión de consenso sobre la enseñanza de la naturaleza de la ciencia y la tecnología, y define y revisa los aspectos básicos de ese consenso, así como las controversias todavía pendientes. Con todo, la visión de la naturaleza de la ciencia y la tecnología que emerge del consenso es aún global, relacional, compleja y dialéctica, apropiada para especialistas e investigadores, pero su complejidad disuade a muchos educadores, quienes no se consideran suficientemente preparados para abordar un campo tan complejo. Este artículo propone el uso de taxonomías que ayuden a organizar y sistematizar los diversos temas curriculares de NdCyT para proveer a los educadores y a la enseñanza de la NdCyT de instrumentos útiles para planificar con más funcionalidad, facilidad y seguridad la enseñanza y la evaluación en el aula de los temas de NdCyT. Esta condición facilita enseñar y evaluar, explícita y reflexivamente, los temas de NdCyT, creando las condiciones favorables para lograr una comprensión eficaz, a lo largo de un continuo de adecuación para un constructo multidimensional (Deng, Chen, Tsai y Chai, 2011).

La investigación educativa sobre NdCyT muestra que la ciencia, o más bien el conocimiento científico como forma de saber, no puede ser simplistamente reducido a un conjunto de conocimientos declarativos acerca de la ciencia (por ejemplo, la ciencia es tentativa) sino que tiene una perspectiva global y relacional, contextualizada en las prácticas científicas y tecnológicas, tal como han sido y son practicadas por los científicos y tecnólogos de todos los tiempos (perspectiva histórica). Los aprendizajes que se derivan de esta visión holística, aunque centrada en aspectos de consenso, no son sencillos, pues se trata de aprender una visión interrelacionada de la ciencia: las relaciones entre los aspectos cognitivos, prácticos, epistémicos, sociales, institucionales, históricos, económicos, políticos, etc. constituyen el núcleo complejo de la enseñanza de la NdCyT. Los contenidos de NdCyT son complejos, multifacéticos, dinámicos y con componentes del ámbito afectivo y de valores (ver revisión en Blalock et al. 2008; Vázquez y Manassero, 2012) que no pueden ser enseñados como contenidos acabados y memorizables del tipo declarativo (“la ciencia es...”); al contrario, deben enseñarse como contenidos interrelacionados, cuyo aprendizaje debe estar enfocado a la comprensión y a la convicción argumentada (“la ciencia es..., pero también es... etc.”) y en algunos casos enfocado al conocimiento probabilístico, condicional o incierto (“...en determinadas situaciones podría ser que...”), desde una

perspectiva global, auténtica, abierta y crítica (Allchin, 2011; Matthews, 2012).

Pues bien, aceptada la existencia de una visión de consenso ampliada entre los investigadores, que supone la aceptación de que los temas de NdCyT son enseñables y de que existen una serie de temas esenciales para formar el currículum escolar, este estudio afronta una cuestión estructural básica de la visión de consenso ampliado presentando una taxonomía para organizar la complejidad de los temas de este campo. El objetivo es facilitar su enseñanza, disminuyendo la confusión de los no especialistas, especialmente los profesores, mediante un instrumento que les permita la organización de las cuestiones de NdCyT para su enseñanza.

Esta cuestión no es menor pues el estudio de Höttecke y Silva (2011) – entre otros - muestra algo muy profundo relacionado con la enseñanza efectiva de la NdCyT: el profesorado no percibe la necesidad de innovar su práctica de aula para enseñar contenidos de NdCyT y, en consecuencia, o no se enseñan o si se hace, la enseñanza es inadecuada o superficial. La taxonomía propuesta en este estudio permite a los profesores no especialistas una visión global del campo y situar los temas que planean enseñar dentro de un marco teórico sencillo y comprensible, de modo que puede coadyuvar a facilitar la enseñanza explícita (planificada) y reflexiva.

En particular, este estudio compara dos taxonomías, cuyas muchas coincidencias no sólo avalan su complementariedad, y con ello la visión de consenso, sino que ratifican la necesidad de su uso práctico para el aula. La coincidencia y complementariedad entre ambas propuestas taxonómicas permite añadir un argumento más a la existencia de un consenso apreciable y valioso sobre los temas de NdCyT para la educación científica. Este consenso está enmarcado en el contexto de una visión compleja y relacional de la NdCyT, en lugar de una visión reduccionista, lo cual le confieren mayor mérito respecto a las visiones más reducidas y simplificadas. En efecto, progresar en una descripción taxonómica completa e integral, es el primer paso para plasmar el modelo teórico de la visión de consenso ampliado en una herramienta taxonómica sencilla, pero suficientemente amplia para dar cabida a una diversidad de propuestas, que puedan ser útiles también a los investigadores en este campo. Por otro lado, la herramienta también debe servir para hacer más accesibles los complejos temas de NdCyT a los no especialistas (los docentes en general), y en consecuencia, facilitar su enseñanza en las aulas.

Como resultado de la comparación, se considera que la taxonomía VOSTS-COCTS puede resultar más apropiada y asequible a los profesores no especialistas,



por varias razones. En primer lugar, porque utiliza unas dimensiones y categorías que siguen una lógica menos técnica y académica que la taxonomía FRA, rasgos que pueden hacerla más comprensible y asequible para los profesores. En segundo lugar, la tabla 5 demuestra que la taxonomía VOSTS-COCTS es más detallada y amplía, pues permite clasificar todos los elementos de la taxonomía FRA y aún posee otras categorías adicionales vacías, que le otorgan una capacidad organizativa mayor. Además, por su origen en el banco de cuestiones para evaluar concepciones sobre NdCyT, desarrollado por Aikenhead y Ryan (1889) para clasificar las cuestiones de evaluación de ese banco, el instrumento taxonómico VOSTS-COCTS facilita también a los profesores la adecuada planificación de la evaluación de los aprendizajes sobre estos temas, permitiendo la sincronización entre temas a evaluar y las cuestiones más apropiadas y necesarias para realizar esa evaluación, pues la evaluación es otro de los grandes escollos de los profesores en la enseñanza de la NdCyT, detectado por el estudio de Höttecke y Silva (2011). Al mismo tiempo, el sistema taxonómico VOSTS-COCTS se aplica a las distintas propuestas de las concepciones adecuadas e ingenuas de la visión de consenso sobre NdCyT expuestas en este estudio, como ejemplo de desarrollo curricular. Vázquez y Manassero (2012) ya presentaron una aplicación del sistema taxonómico VOSTS-COCTS para organizar las 143 concepciones adecuadas e ingenuas de consenso identificadas empíricamente a partir del análisis de los jueces expertos sobre las frases y cuestiones del COCTS, que ilustra la potencia organizativa de la taxonomía.

Las reflexiones de este estudio ponen de manifiesto la dificultad implicada en clasificar la multiplicidad y diversidad de elementos involucrados en la construcción y validación del conocimiento científico, que forman los temas del currículo de NdCyT, por lo que cualquier sistema taxonómico tendrá limitaciones e insuficiencias. A pesar de ello, la necesidad de un sistema taxonómico que ordene la complejidad del campo de NdCyT es igualmente justificada, pues la organización y la estructura son un primer paso para la comprensión de lo complejo, no sólo por los especialistas, sino también y muy principalmente por los no especialistas, en este caso, los profesores que deben enseñar temas de NdCyT, quienes se encuentran frecuentemente abrumados por la complejidad de la empresa. Primordialmente, los investigadores no especializados o los educadores pueden ser los más beneficiados del uso de un sistema taxonómico para NdCyT, pues responde a sus necesidades de desarrollo del currículo: acceso fácil y rápido, sin necesidad de dominar las sutilidades y detalles del campo. El sistema taxonómico puede ayudar a los no especialistas a comprender mejor aquellos

aspectos que necesitan usar en su práctica profesional, sin tener que perderse o profundizar en los vericuetos de un conocimiento amplio y detallado sobre NdCyT que no es útil para sus necesidades. En suma, el sistema taxonómico presenta la ventaja de ser un instrumento útil y funcional para la investigación y, sobre todo, la enseñanza en el campo de NdCyT.

Referencias Bibliográficas

- Abd-El-Khalick, F. (2012). 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(3), 353-374.
- Acevedo, J. A., Vázquez, A., Manassero, M. A. y Acevedo, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), 42-66. Retrieved from <http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>.
- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M. y Estany, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 465-476.
- Aikenhead, G. S. y Ryan, A. G. (1989). *The development of a multiple choice instrument for monitoring views on Science-Technology-Society topics*. Final Report of SSHRCC Grant. University of Saskatchewan: Autor.
- Aikenhead, G. S., y Ryan, A. G. (1992). The development of a new instrument: "Views on science-technology-society" (VOSTS). *Science Education*, 76(5), 477-491.
- Allchin, D. (2011). Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. *Science Education*, 95, 518 – 542. DOI 10.1002/sce.20432
- Allchin, D. (2012). Toward Clarity on Whole Science and KNOWS. *Science Education*, 96, 693–700.
- Alters, B. J. (1997a). Whose nature of science? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(1), 39-55.
- Alters, B. J. (1997b). Nature of Science: A Diversity or Uniformity of Ideas? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(10), 1105-1108.
- Bennássar, A., Vázquez, A., Manassero, M. A., y García-Carmona, A. (Coord.) (2010). *Science, technology and society in Latin America: An assessment of the understanding of the nature of science and technology*. Madrid: OEI. Recuperado de www.oei.es/salactsi/DOCUMENTO5vf.pdf
- Blalock, C. L., Lichtenstein, M. J., Owen, S., Pruski, L., Marshall, C. & Toepperwein, M.



- (2008). In Pursuit of Validity: A comprehensive review of science attitude instruments 1935–2005. *International Journal of Science Education*, 30(7), 961–977.
- Deng, F., Chen, D.-T., Tsai, C.-C., y Chai, C.-S. (2011). Students' Views of the Nature of Science: A Critical Review of Research. *Science Education*, 95, 961–999.
- Eagly, A. H., y Chaiken, S. (1993). *The psychology of attitudes*. Forth Worth: Harcourt Brace College Publishers.
- Erduran, S. y Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education. Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories*. Dordrecht: Springer.
- Harrison G. M., Seraphin K. D., Philippoff J., Vallin L. M. & Brandon, P. R. (2015). Comparing Models of Nature of Science Dimensionality Based on the Next Generation Science Standards. *International Journal of Science Education*, 37(8), 1321-1342.
- Hodson, D. (2008). *Towards scientific literacy: A teachers' guide to the history, philosophy and sociology of science*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Hipkins, R., Barker, M. y Bolstad, R. (2005). Teaching the 'nature of science': modest adaptations or radical reconceptions? *International Journal of Science Education*, 27(1), 243-254.
- Höttecke, D. y Silva, C.C. (2011). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge - An Analysis of Obstacles. *Science y Education*, 20, 3-4.
- Irzik, G. y Nola, R. (2014). New Directions for NOS Research. In M. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 999-1022). Dordrecht: Springer.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present, and future. En Abell, S. K. y Lederman, N. G. (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lederman, N. G., Wade, P. D., y Bell, R. L. (1998). Assessing understanding of the nature of science: a historical perspective. *Science y Education*, 7(6), 595-615.
- Manassero, M.A. y Vázquez, A. (1998). *Opinions sobre ciència, tecnologia i societat*. Palma de Mallorca: Govern Balear, Conselleria d'Educació, Cultura i Esports.
- Manassero, M. A., Vázquez, A., y Acevedo, J. A. (2001). *Avaluació dels temes de ciència, tecnologia i societat*. Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació i Cultura del Govern de les Illes Balears.



- Manassero, M. A., Vázquez, A., y Acevedo, J. A. (2003). Cuestionario de opiniones sobre ciencia, tecnología y sociedad (COCTS). Princeton, NJ: Educational Testing Service. http://store.ets.org/store/ets/en_US/pd/ThemeID.12805600/productID.39407800
- Manassero, M. A., Vázquez, A., y Acevedo, J. A. (2004). Evaluación de las actitudes del profesorado respecto a los temas CTS: nuevos avances metodológicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 299-312.
- Matthews, M. (1998). In defense of modest goals when teaching about the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 161–174.
- 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). Dordrecht: Springer.
- 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. (1998). The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths. En W. F. McComas. (Ed.), *The Nature of Science in Science Education* (pp. 53-72). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- McComas, W. F. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science y Education*, 17, 249–263.
- Nadeau, R. y Désautels, J. (1984). *Epistemology and the teaching of science*. Ottawa: Science Council of Canada.
- NGSS Next Generation Science Standards (2013). *The Next Generation Science Standards*. Washington: National Academy of Sciences. Recuperado de <http://www.nextgenscience.org/next-generation-science-standards>
- 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.
- Roberts, D. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S.K. Abell y N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 729-780). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., y Hemmo, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. European Commission, Community Research.
- Rubba, P. A. y Harkness, W. L. (1993). Examination of preservice and in-service secondary science teachers' beliefs about Science-Technology-Society



- interactions. *Science Education*, 77(4), 407-431.
- Rubba, P. A., Schoneweg, C. S., y Harkness, W. L. (1996). A new scoring procedure for the Views on Science-Technology-Society instrument. *International Journal of Science Education*, 18, 4, 387-400.
- Smith, M. U., Lederman, N. G., Bell, R. L., McComas, W. F. y Clough, M. P. (1997). How great is the disagreement about the nature of science? A response to Alters. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(10), 1101-1104.
- Vázquez, Á., García-Carmona, A. Manassero, M.A. y Bennàssar, A. (2012). Spanish Secondary-School Science Teachers' Beliefs About Science-Technology-Society (STS) Issues. *Science y Education*, 22(5), 1191-1218.
- Vázquez, A. y Manassero, M.A. (1999). Response and scoring models for the 'Views on Science-Technology-Society' Instrument. *International Journal of Science Education*, 21(3), 231-247.
- Vázquez, Á., 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. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 9(1), 2-31.
- Vázquez, A., Manassero, M. A., y Acevedo, J. A. (2005). Análisis cuantitativo de ítems complejos de opción múltiple en ciencia, tecnología y sociedad: Escalamiento de ítems. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 7(1). Recuperado de <http://redie.uabc.mx/vol7no1/contenido-vazquez.html>.
- Vázquez, A., Manassero, M. A., y Acevedo, J. A. (2006). An Analysis of Complex Multiple-Choice Science-Technology-Society Items: Methodological Development and Preliminary Results. *Science Education*, 90, 4, 681-706.
- Vázquez-Alonso, Á., Manassero-Mas, M. A. y Bennàssar-Roig, A. (Comp.) (2014). *Secuencias de Enseñanza Aprendizaje sobre la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología. Unidades Didácticas del proyecto EANCYT*. Palma de Mallorca: Autor (CD).