

Revisión de consensos sobre naturaleza de la ciencia

Review of Consensuses About the Nature of Science

DOI: 10.4438/1988-592X-RE-2011-361-137

Nicolás Marín

Universidad de Almería. Facultad de Educación. Departamento de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales. Almería, España.

Alicia Benarroch

Universidad de Granada. Facultad de Educación y Humanidades de Melilla. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Mansoor Niaz

Universidad de Oriente. Departamento de Química. Venezuela.

Resumen

En este trabajo se realiza una revisión de los consensos alcanzados sobre la naturaleza de la ciencia (ndc) en una muestra de cinco publicaciones relevantes sobre el tema. Estas publicaciones han sido seleccionadas por cuatro motivos: en primer lugar, porque incluyen una lista explícita de aspectos o ideas clave consensuadas sobre la ndc; en segundo lugar, porque pertenecen a grupos de investigación que han mostrado tener una línea sólida y continuada de trabajos sobre el tema; en tercer lugar, porque son representativas de los diferentes enfoques sobre ndc; y, por último, porque incorporan muestras de una significativa envergadura. Para realizar el análisis se utiliza como referencia un sistema de categorías de búsqueda –llamado sistemática de contextos– generado principalmente a partir de la bibliografía más relevante relacionada con la ndc. En él, se insertan las categorías inductivas, que son frases o afirmaciones que recogen lo más fielmente posible los consensos de las cinco publicaciones. Los resultados indican que, junto a importantes acuerdos, hay también algunas lagunas y aspectos relevantes sobre los que no hay acuerdo. Se sugiere una mecánica de convergencia para lograr avanzar en dicho acuerdo.

Palabras clave: naturaleza de la ciencia, consenso, constructivismo.

Abstract

This paper examines a sample of five leading science publications and the consensus that each holds on the nature of science (NOS). The publications were selected for four reasons: a) They include an explicit list of issues or key ideas about the NOS, b) they belong to research groups that have displayed solid ongoing work on the subject, c) they represent different focuses on the NOS, and d) they include a significant sample size. A systematic context search generated primarily from the most relevant literature related with the NOS is used for the analysis. Inductive categories, which are phrases or statements that reflect the five publications' consensuses as closely as possible, are entered in the search. The results indicate that there are major points of agreement but also important gaps and issues on which there is no agreement. A mechanism of convergence is suggested as a means of attaining greater agreement.

Key words: Nature of science, consensus, constructivism.

Introducción

En la educación científica, la naturaleza de la ciencia (NDC) ha servido con frecuencia para transmitir una imagen adecuada de la propia ciencia (McComas, 2008), para definir los contenidos curriculares (Acevedo, 2008), para fundamentar los diferentes modelos de enseñanza (Yang, 1999), para formar a futuros profesores (Marín y Benarroch, 2009; Niaz, 2009), etc. Todo ello ha dado lugar a una cantidad ingente de literatura y a varias revisiones sobre esta línea de investigación (Clough y Olson, 2008; Lederman, 2006).

En estos trabajos sobre NDC se pueden identificar tres líneas o enfoques convergentes de investigación:

- El enfoque epistemológico propiamente dicho, basado en la forma en que el conocimiento científico se genera con sus valores, supuestos y creencias (Lederman, 1999; McComas, Clough y Almazroa, 1998). Sus defensores se refieren a esta perspectiva de investigación como «naturaleza de la ciencia» y, en menor medida, como «naturaleza del conocimiento científico» (Lederman, 2006).

- El enfoque basado en la dimensión cognitiva de la naturaleza de la ciencia, esto es, en las ideas y supuestos que los estudiantes adquieren sobre la ciencia. En él, se suelen utilizar las denominaciones «ideas sobre la ciencia», «ideas ingenuas sobre la ciencia» o «visiones sobre la actividad científica», para describir las concepciones de sentido común sobre los contenidos fácticos de la ciencia y sus leyes (Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia, 2002; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar y Duschl, 2003). Sus autores desmarcan su posición de la anterior al afirmar que «el término de “ideas sobre ciencia” es más comprehensivo e incluye un rango más amplio de ideas» (Bartholomew, Osborne y Ratcliffe, 2004).
- El tercer enfoque proviene de la tradición investigadora del movimiento ciencia, tecnología y sociedad (Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004; Vázquez, Acevedo, Manassero y Acevedo, 2001; Vázquez, Manassero, Acevedo y Acevedo, 2007) y en él se enfatizan las actitudes hacia la ciencia por encima de los elementos específicamente epistemológicos. Aunque utilizaron durante bastante tiempo la denominación de «actitudes hacia la ciencia» (Vázquez, Acevedo, Manassero y Acevedo, 2001), posteriormente adoptaron el marchamo ‘naturaleza de la ciencia’ (Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004).

En este trabajo se trata de analizar qué grado de acuerdo hay entre los consensos sobre ndc, ya no asociados a un grupo de investigación, sino a una diversidad de grupos relevantes en el ámbito, para analizar los acuerdos sobre ndc que predominan entre los expertos del ámbito de la educación científica.

Selección de publicaciones de investigación

Para revisar los consensos sobre ndc alcanzados entre distintos grupos de investigación, se ha seleccionado una muestra de publicaciones recientes y relevantes sobre el tema. La selección de la muestra no ha sido fácil, dada la abundante bibliografía sobre el asunto; por ello, se han utilizado los siguientes criterios de inclusión:

- El *criterio de relevancia*, de acuerdo con el cual los autores de los trabajos deben ser investigadores de alto impacto y con una continuidad de publicaciones sobre el tema.
- El *criterio de diversidad de perspectivas*, por el que la muestra de trabajos debe ser representativa de las diversas tendencias o líneas de investigación sobre Ndc. Así, se puede considerar que (Acevedo, 2008):
 - En el enfoque de la Ndc propiamente dicho, quedan incluidos los grupos de McComas y Lederman.
 - En el enfoque de las visiones de ciencia o de ideas deformadas de la ciencia, destacan los grupos liderados por Osborne y Gil.
 - En el enfoque de las actitudes sobre ciencia, se incluye el grupo formado por Vázquez et ál.
- El *criterio de explicitación*, por el cual las publicaciones seleccionadas deben contener listados explícitos de principios o ideas consensuadas sobre Ndc.
- El *criterio metodológico*, según el cual los listados de afirmaciones sobre la Ndc deben haberse alcanzado con una metodología rigurosa y con muestras significativas, ya sean documentales o de expertos.

Así, por ejemplo, es notoria la continuidad en el tiempo del grupo de McComas. En una de las primeras publicaciones de este grupo (McComas y Olson, 1998), sus autores revisaron ocho documentos curriculares internacionales e identificaron las 16 proposiciones consensuadas que se detallan en la primera fila de la Tabla 1 (las partes subrayadas están presentes en seis o más documentos internacionales).

TABLA I. Muestra seleccionada de trabajos sobre consensos en Ndc

		M	McComas y Olson (1998)
M1	Aunque es duradero, el conocimiento científico <i>tiene carácter provisional.</i>		4.1
M2	El conocimiento científico se basa fundamentalmente, pero no por completo, en la observación, <i>las pruebas empíricas</i> , los argumentos racionales y el escepticismo.		4.3
M3	No existe una sola manera de hacer ciencia; por consiguiente, no hay ningún método científico universal en etapas sucesivas.		4.4

M4	<i>La ciencia es un esfuerzo por explicar los fenómenos naturales.</i>	4.1
M5	<i>Las leyes y teorías desempeñan papeles diferentes en la ciencia; las teorías no se convierten en leyes acumulando más pruebas adicionales.</i>	4.3
M6	<i>Las personas de todas las culturas contribuyen a la ciencia.</i>	2.1
M7	<i>El conocimiento nuevo debe comunicarse clara y abiertamente.</i>	3.2
M8	<i>Los científicos exigen disponer de registros exactos, someterse a la revisión por iguales, manejar información veraz y poder replicar los resultados.</i>	3.2
M9	<i>Las observaciones científicas están cargadas de teoría.</i>	4.2
M10	<i>Los científicos son creativos.</i>	2.2
M11	<i>La historia de la ciencia revela a la vez un carácter evolutivo y revolucionario.</i>	4.4
M12	<i>La ciencia es parte de las tradiciones sociales y culturales.</i>	1.2
M13	<i>La ciencia y la tecnología interactúan.</i>	1.3
M14	<i>Las ideas científicas están influidas por su entorno histórico y social.</i>	1.2
M15	<i>La ciencia tiene implicaciones globales.</i>	1.1 1.2
M16	<i>Los científicos toman decisiones éticas.</i>	2.1
	L	Lederman, Abd-El-Khalick, Bell y Schwartz (2002)
L1	<i>El conocimiento científico, aunque fiable y duradero, nunca es absolutamente cierto. Este conocimiento, que incluye hechos, teorías y leyes, está sujeto a cambios.</i>	4.1
L2	<i>La ciencia está basada al menos parcialmente, en observaciones del mundo natural.</i>	4.2
L3	<i>La ciencia se basa en observaciones y en las respectivas inferencias o deducciones.</i>	4.3
L4	<i>El conocimiento científico proviene de la imaginación y la creatividad humanas, al menos parcialmente.</i>	2.2
L5	<i>Como empresa humana, la ciencia se practica en un amplio contexto cultural y los científicos son un producto de esa cultura.</i>	1.2 2.2 3.2
L6	<i>Asimismo, la ciencia influye en la sociedad y en la cultura en la que está inserta</i>	1.2
L7	<i>El conocimiento científico es subjetivo en parte y nunca puede ser totalmente objetivo. La ciencia está influida y guiada por las teorías científicas y las leyes aceptadas. Los valores personales, las prioridades y experiencias anteriores dictan cómo y hacia dónde dirigen su trabajo los científicos.</i>	2.1 4.2 4.4

l8	Las teorías y las leyes son diferentes tipos de conocimiento científico. Las leyes describen las relaciones, observadas o percibidas, de los fenómenos de la naturaleza. Las teorías son explicaciones inferidas de los fenómenos naturales y sus regularidades. Las teorías y las leyes no se convierten unas en otras, porque ambas son tipos de conocimiento explícito y funcionalmente diferentes.	4.3
o Osborne et ál. (2003)		
o1	<i>Métodos científicos y comprobación crítica.</i> La ciencia usa un método experimental para probar las ideas y, en particular, ciertas técnicas básicas como el control de variables. Además, el resultado de un solo experimento pocas veces es suficiente para establecer un nuevo conocimiento.	4.3
o2	<i>Creatividad.</i> Como todas las actividades humanas, la ciencia implica creatividad e imaginación.	2.2
o3	<i>Desarrollo histórico del conocimiento científico.</i> Es necesario conocer un poco de historia sobre el desarrollo del conocimiento científico.	¿?
o4	<i>Ciencia y curiosidad.</i> Un aspecto importante del trabajo científico es el proceso cíclico de hacer preguntas y buscar respuestas que conducen a nuevas preguntas. Este proceso hace emerger nuevas teorías y técnicas científicas que se prueban empíricamente.	4.4
o5	<i>Diversidad de métodos científicos.</i> La ciencia utiliza una serie de métodos y enfoques; no existe un único método científico.	4.4
o6	<i>Análisis e interpretación de datos.</i> Los conocimientos científicos no surgen simplemente de los datos, sino después de un proceso de interpretaciones y construcción de teorías, lo que requiere sofisticadas habilidades. También es posible y legítimo que los científicos den diferentes interpretaciones de los mismos datos y, por tanto, discrepen.	4.2 4.3
o7	<i>Science and certainty.</i> Gran parte del conocimiento científico, especialmente de la ciencia escolar, está bien establecido y exento de toda duda razonable. Sin embargo, el conocimiento científico en general está expuesto a la duda y al cambio y a nuevas preguntas e interpretaciones.	4.1
o8	<i>Hipótesis y predicción.</i> Los científicos formulan hipótesis y hacen predicciones sobre los fenómenos naturales. Este proceso es esencial para el desarrollo de nuevos conocimientos.	4.3
o9	<i>Cooperación y colaboración en el desarrollo del conocimiento científico.</i> El trabajo científico es una actividad colectiva y, a la vez, competitiva. Aunque algunos individuos pueden hacer contribuciones significativas, con mucha más frecuencia el trabajo científico se lleva a cabo en grupo, a menudo de forma multidisciplinar e internacional. Generalmente, los nuevos conocimientos se comparten y, para ser aceptados por la comunidad, deben superar un proceso de revisión crítica por parte de los colegas.	3.2

o10	<i>Dimensiones morales y éticas del desarrollo del conocimiento científico.</i> Las decisiones en la aplicación del conocimiento científico y técnico no son neutrales; por tanto, podrían entrar en conflicto con valores morales y éticos de diversos grupos sociales.	1.4
g Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia (2002)		
	VD: Visión deformada que se suele mantener sobre el conocimiento de ciencias. VA: Visión adecuada.	
g1	VD: Descontextualizada. La ciencia es independiente de sus relaciones con la sociedad o con la tecnología. VA: Es importante considerar las complejas relaciones CTS.	1.1
g2	VD: Visión individualista y elitista. Las aportaciones más significativas que explican el crecimiento científico son realizadas por unos pocos expertos de mente privilegiada. VA: Es una empresa colectiva.	3.2
g3	VD: Visión empiroinductiva y ateorica. La ciencia crece desde los datos objetivos y neutrales que aporta la información empírica; por esa razón, no es una invención humana, sino que es dictada desde el medio. VA: Los datos toman sentido al ser interpretados por las teorías. No se razona en términos de certezas sino de hipótesis como 'tentativas de respuesta'.	4.3
g4	VD: Visión rígida y algorítmica de la actividad científica. VA: El uso riguroso y mecánico de una secuencia de procedimientos (método científico) no garantiza a los científicos buenos resultados. Importancia del papel del pensamiento divergente del científico.	2.2 4.4
g5	VD: Visión aporlemática y ahistórica (también acabada y dogmática). La ciencia es un saber acabado e independiente de los problemas sociales o tecnológicos del período histórico en que surge. VA: La ciencia está afectada por los problemas del momento histórico.	1.1
g6	VD: Visión exclusivamente analítica. Resalta la necesaria parcialización de los fenómenos estudiados, su carácter acotado y simplificador. VA: Se busca coherencia global.	4.1
g7	VD: Visión acumulativa, de crecimiento lineal. La ciencia crece linealmente acumulando datos empíricos como si se tratara de una gran base de datos. VA: Progreso complejo que no se puede simplificar.	4.4
v Vázquez et ál. (2004)		
v1	Se reconoce la interacción entre los tres elementos CTS y también que la influencia tiene lugar siempre en ambos sentidos.	1.1
v2	El momento histórico determina las relaciones CTS.	1.2
v3	Interacción profunda y una combinación circular entre ciencia y tecnología. La tecnología da a la ciencia tanto como la ciencia da a la tecnología.	1.3
v4	La sociedad influye en la ciencia. La sociedad cambia como resultado de aceptar una tecnología.	1.2

v5	Tecnologías nuevas se aplican sabiendo que las desventajas son mayores que sus ventajas.	1.4
v6	Resulta difícil llegar a un acuerdo sobre lo que es la ciencia y sobre lo que es la tecnología.	1.3
v7	Los científicos están afectados por la política de su país. Como personas, los medios les influyen.	2.1
v8	Los científicos se preocupan, pero posiblemente no saben todos los efectos de sus descubrimientos.	1.4
v9	Influencia limitada de las creencias religiosas de los científicos en su trabajo.	2.1
v10	Naturaleza poliédrica de las controversias entre científicos: confluyen factores internos y externos.	3.2
v11	En el trabajo de los científicos influyen las diferencias individuales.	2.1
v12	Los científicos trabajan para tener fama o fortuna y para hacer avanzar la ciencia.	2.1
v13	La originalidad y la creatividad es una característica de los científicos.	2.2
v14	El método científico es útil en muchos casos, pero no asegura los resultados.	4.4
v15	La observación científica está cargada de teoría. Las observaciones científicas hechas por científicos competentes serán distintas si estos creen en diferentes teorías.	4.2
v16	Pueden existir otras formas correctas de clasificar el medio natural, pues la ciencia es susceptible de cambiar. Nadie sabe cómo es realmente la naturaleza.	4.2
v17	Carácter provisional del conocimiento científico. Aunque las investigaciones científicas sean correctas, el conocimiento que los científicos descubren con esas investigaciones puede cambiar en el futuro.	4.1
v18	El progreso lineal y acumulativo del conocimiento científico es refutado por el consenso acerca de la naturaleza de las hipótesis científicas.	4.4
v19	Los errores forman parte del progreso de la ciencia.	4.4
v20	La ciencia es un invento para interpretar la naturaleza, pero no inventa lo que la naturaleza hace.	4.2

Aunque posteriormente, McComas (2005) presentó un nuevo listado de ideas apropiadas sobre ndc, como el propio autor señala, estos nuevos principios tienen una alta correlación con los ya generados a partir de los documentos curriculares. Dada la mayor relevancia y amplitud del listado

de McComas y Olson (1998), este es el que ha sido seleccionado como más representativo de este grupo de investigadores.

Respecto al grupo de Lederman, en una aportación inicial del autor (Lederman, 1992), se realizaba una revisión bibliográfica que lo llevaba a sostener la existencia de un consenso suficiente entre historiadores, filósofos y profesores de ciencias acerca de la imagen de la naturaleza de la ciencia que debe ser transmitida en la enseñanza de las ciencias. Son principios que, con escasas modificaciones, se mantienen en posteriores publicaciones (Abd-El-Khalick, Bell y Lederman, 1998) y que, concretamente, en otro trabajo posterior (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell y Schwartz, 2002) desarrollan de modo más explícito, para justificar su cuestionario Views on the Nature of Science (VNOS). Este consenso está representado por las ideas o principios de la segunda fila de la Tabla 1, que se ha elaborado para este artículo a modo de un resumen.

Osborne y sus colaboradores dedicaron su publicación principal a las «ideas sobre ciencia» (Osborne et ál., 2003) después de algún tiempo de haber estado trabajando sobre esta temática. En este estudio, los autores utilizan el método Delphi de tres etapas con 23 expertos y perfilan 10 ideas centrales sobre la naturaleza de la ciencia que son consideradas pertinentes para incluirlas en el currículo de ciencia escolar. Estas ideas se muestran en la tercera fila de la Tabla 1 (con comentarios nuestros tras los subrayados) y fueron las mismas que utilizaron en trabajos posteriores (por ejemplo, Bartholomew et ál., 2004). Por ser representativas de este grupo de investigación, constituyen el tercer listado de ideas clave sobre NDC de este trabajo.

El cuarto grupo está formado por Gil y sus colaboradores. Aunque sus trabajos sobre NDC fueron publicados a lo largo de la década de los noventa, el más centrado en el tema y profusamente documentado es el de Fernández et ál. (2002), en el que se realiza una extensa revisión de la literatura sobre los artículos y libros publicados entre 1990 y 2000. En él se listan siete visiones deformadas de ciencia, las cuales se han sintetizado, junto a sus correspondientes visiones adecuadas, en la cuarta fila de la Tabla 1. Posteriormente, estos autores han continuado utilizando esta referencia en sucesivas publicaciones (Fernández, Gil, Valdés y Vilches, 2005; Gil et ál., 2005).

El último grupo de expertos seleccionado es el de Vázquez et ál. En este caso, son herederos de las tradiciones que investigan la relación entre ciencia, tecnología y sociedad y las actitudes hacia la ciencia, cuyos

intereses respectivos llevaron a que el grupo construyese un cuestionario de opiniones sobre ciencia tecnología y sociedad (COCTS) (Vázquez et ál., 2001) que más tarde fue aplicado a un grupo de 16 expertos (Vázquez et ál., 2004). La lista que se muestra en la cuarta fila de la Tabla I resume el contenido de las frases sobre las que hay consenso, aunque su verdadero sentido se ubica en la publicación original y en la vasta y fructífera producción posterior del grupo (por ejemplo, Acevedo, 2008; Vázquez et ál., 2007).

Por tanto, la Tabla I recoge tanto la muestra de trabajos seleccionados como sus respectivos listados de afirmaciones consensuadas sobre NDC. Aunque constituyen las referencias principales de este estudio, en ocasiones, para clarificar y comprender el significado de una afirmación, se han realizado consultas a otros trabajos de los respectivos grupos.

Sistemática de contextos

El primer problema que es preciso solucionar para revisar los consensos en la muestra de trabajos es la diversidad de supuestos de partida, procedimientos, muestras y términos utilizados. Realizar exclusivamente agrupaciones inductivas en función de las semejanzas y diferencias halladas en las afirmaciones contenidas en la Tabla I, haría difícil relativizar el valor de los acuerdos encontrados, pues estos no estarían ubicados en categorías formuladas en un contexto más amplio. Lo contrario, esto es, partir de un sistema supraordenado de categorías deducidas de la bibliografía existente sobre la construcción del conocimiento científico llevaría a formular categorías que, por su carácter general, serían poco sensibles a los detalles encontrados en las listas.

La solución adoptada para la construcción de las categorías contiene, de forma interrelacionada, tanto procedimientos deductivos como inductivos, a través de una red de categorías denominada sistemática de contextos (SC), que se muestra en la Tabla II. Como se observa en dicha tabla, la sistemática de contextos se estructura a partir de cuatro grandes categorías y de sus correspondientes subcategorías. Funcionalmente, estas subcategorías son orientaciones generales para buscar los consensos y por ello se han formulado como preguntas. También debido a ello, serán identificadas como categorías de búsqueda.

TABLA II. Sistemática de contextos (categorías y subcategorías de búsqueda)

I. Contexto donde surge y se aplica la ciencia (interacciones CTS)	
1.1	¿Qué relaciones existen entre ciencia, tecnología y sociedad (CTS)?
1.2	¿Qué relaciones existen entre ciencia (C) y contexto histórico y social en que surge (S)?
1.3	¿Qué relaciones existen entre tecnología (T) y ciencia (C)?
1.4	¿Quién gestiona, aplica y controla los efectos de este conocimiento?
2. Fase privada (actividad en la fase de descubrimiento)	
2.1	¿Afectan al científico sus intereses personales, cultura, religión, política, etc.?
2.2	¿Siguen los científicos pautas metodológicas o ideales propios de la ciencia?
3. Interacción entre fase privada y pública (formación y difusión)	
3.1	¿Qué relación hay entre el trabajo realizado por el científico y su trabajo publicado?
3.2	¿Qué papel desempeña la comunidad en las incorporaciones del trabajo privado a la ciencia pública?
4. Fase de justificación. Naturaleza cognitiva de ciencias como producto	
4.1	¿Qué y cómo es la ciencia? ¿A qué sector de la realidad se refiere? ¿Es verdad o es solo útil?
4.2	¿Tiene carácter empírico la ciencia? ¿Surge de los datos o de la razón? ¿Descubre o inventa?
4.3	¿Cuál es el papel de datos, leyes, hipótesis y teorías en la construcción de la ciencia?
4.4	¿Cómo progresa la ciencia? ¿Usa procedimientos especiales para progresar?

La sc se genera fundamentalmente por procesos deductivos, ya que surge de la revisión de los materiales bibliográficos existentes sobre epistemología de las ciencias y, en general, sobre construcción del conocimiento de ciencias (Marín, 2003a, 2003b). Contempla cuatro aspectos o contextos en los que se construye el conocimiento científico:

- Contexto o escenario en que se construye el conocimiento (factores externos influyentes, gestión y uso del conocimiento, etc.).
- Fase privada o fase de descubrimiento, en la que se da la actividad individual o grupal de los científicos (actividad del científico, dinámica de grupos de investigación, etc.).
- Fase de interacción entre la ciencia privada y la ciencia pública, asociada al espacio donde se regulan las aportaciones individuales para convertirse, una vez filtradas y asimiladas, en conocimiento socialmente compartido (formación de expertos, revisión por pares de las publicaciones, relaciones entre el trabajo realizado y el publicado, cualidades del experto que hace aportaciones públicas, etc.).
- Características del conocimiento construido (naturaleza del conocimiento, grado de verdad, papel de los datos empíricos y de las hipótesis, mecánica de confrontación entre datos y teorías, dinámica de progreso de las teorías, etc.).

Estos cuatro aspectos retoman la distinción tradicional entre fase de descubrimiento (segundo y tercer contextos) y fase de justificación (cuarto contexto), pero consideran, además, el escenario donde surge, se aplica y se gestiona el conocimiento de la ciencia, que es donde se dan fuertes relaciones con la tecnología y la sociedad (primer contexto), objeto de atención más reciente (Acevedo, 2008).

El sistema de categorías así construido fue revisado mediante procesos inductivos (criterios de semejanza y diferencia de las frases de la Tabla I), que modificaron algunas de las subcategorías previstas dentro de cada categoría principal (esto es, las identificadas con dos dígitos en la Tabla II), con la finalidad de recoger todas las ideas clave de los listados de consensos y abarcar su significado.

Por tanto, el proceso de construcción de la SC no es lineal, sino que es consecuencia de un proceso interactivo entre lo que se busca –derivado de los materiales bibliográficos sobre NDC– y lo que se encuentra en las listas de consensos de la Tabla I. La SC, como veremos más adelante, facilita ubicar los consensos, relativizar sus alcances comparando su extensión con la de la categoría en la que se ubica y detectar la ausencia de consenso en alguno de sus contextos de búsqueda.

Resultados de la categorización. Categorías inductivas y análisis de consensos

Las categorías de búsqueda contenidas en la sc (Tabla II) tienen un carácter más amplio que los elementos de las listas de consensos de los trabajos seleccionados (Tabla I). Por tanto, para ubicar estos elementos, surge la necesidad de introducir nuevas categorías, más fieles a las afirmaciones de las listas de consensos, y que identificaremos con el nombre de categorías inductivas: son frases o enunciados que recogen, lo mejor posible, el significado de los elementos de los listados de consensos. La categorización acaba cuando las *categorías inductivas* se encajan en la estructura de la sc, en un proceso flexible en el que las categorías de búsqueda también se pueden modificar, si es necesario, como se ha explicado en el apartado anterior.

En primer lugar, cada uno de los autores de este trabajo realizó este proceso de categorización; a continuación, se estableció un consenso entre los tres autores. Se procuró incluir todos los elementos de la Tabla I y, si alguno de ellos contenía información perteneciente a varias categorías (véanse por ejemplo las largas afirmaciones del grupo de Lederman), se optó por ubicarlo en todas ellas.

El resultado de este proceso se muestra en la Tabla III, en la que, además de la ubicación de las categorías inductivas, se sitúan, a la derecha de cada una de ellas, las afirmaciones que las generan. Por problemas de espacio, cada afirmación se representa mediante un código de lista que contiene una letra representativa del grupo de investigación que la ha formulado (M, L, G, O, V) y un número de orden (Tabla I).

TABLA III. Sistemática de contextos implementada con las categorías inductivas obtenidas a partir de la muestra de trabajos sobre Ndc

FRASE REPRESENTATIVA DEL CONSENSO		CÓDIGOS DE LISTA
I. Contexto donde surge y se aplica la ciencia (interacciones CTS)		
I.1	¿Qué relaciones existen entre ciencia, tecnología y sociedad (CTS)?	
	Existen fuertes interacciones entre CTS.	M15-G1-G5-V1 (3)
I.2	¿Qué relaciones existen entre ciencia (c) y contexto histórico y social en que surge (s)?	
	La ciencia surge del contexto histórico y social del momento.	M12-M14-L5-G5-V2-V4 (4)

La ciencia tiene fuertes implicaciones sociales y culturales.		M15-L6-O10-v5 (4)
1.3	¿Qué relaciones existen entre tecnología (T) y ciencia (C)?	
Interacción profunda entre C y T.		M13-v3-v6 (2)
1.4	¿Quién gestiona y aplica este conocimiento?	
La ciencia puede entrar en conflicto con valores morales y éticos.		O10 (1)
Los científicos no conocen todos los efectos o desventajas de sus descubrimientos.		v5-v8 (1)
2. Fase privada (actividad en la fase de descubrimiento)		
2.1	¿Afectan al científico sus intereses personales, cultura, religión, política, etc.?	
El científico está afectado por sus intereses personales, cultura, religión, política, etc.		M16-L5-L7-v7-v9-v11-v12 (3)
Las personas de todas las culturas contribuyen a la ciencia.		M6 (1)
2.2	¿Siguen los científicos pautas metodológicas o ideales propios de la ciencia?	
La importancia de la creatividad en el descubrimiento.		M10-L4-G4-O2-v13 (4)
3. Interacción entre fase privada y pública (formación y difusión)		
3.1	¿Qué relación hay entre el trabajo realizado por el científico y su trabajo publicado?	
Lo nuevo debe comunicarse en lenguaje claro y abierto.		M7 (1)
3.2	¿Qué papel desempeña la comunidad en las incorporaciones del trabajo privado a la ciencia pública?	
Las aportaciones individuales son reguladas socialmente por la comunidad de expertos.		M8-L5-G2-O9-v10 (5)
Los científicos exigen someterse a la revisión por iguales y replicar los resultados.		M8-O9 (2)
4. Fase de justificación. Naturaleza cognitiva de las ciencias como producto		
4.1	¿Qué y cómo es la ciencia? ¿A qué sector de la realidad se refiere? ¿Es verdad o es solo útil?	
La ciencia es a la vez duradera y provisional.		M1-L1-O7-v17 (4)
La ciencia intenta explicar e interpretar los fenómenos naturales.		M4-v20 (2)
Se busca coherencia global.		G7 (1)
4.2	¿Tiene carácter empírico la ciencia? ¿Surge de los datos o de la razón? ¿Descubre o inventa?	
Los datos empíricos no son neutrales.		M9-L7-G3-O6-v15 (5)
La ciencia es un invento.		G3-v20 (2)
La ciencia es empírica y se deriva de las observaciones de medio natural.		L2 (1)

Pueden existir otras formas de clasificar. No se sabe cómo es la naturaleza.		v16 (1)
4.3	¿Cuál es el papel de datos, leyes, hipótesis y teorías en la construcción de la ciencia?	
	La ciencia combina inducción y deducción.	M2-L3-L8-O6 (3)
	El papel de las hipótesis es importante en el contraste empírico.	L8-G3-O1-O8 (3)
	Las leyes y las teorías desempeñan papeles diferentes.	M5-L8 (2)
4.4	¿Cómo progresa la ciencia? ¿Usa procedimientos especiales para progresar?	
	El progreso es unas veces evolutivo y otras revolucionario.	M11-L7-G7-V18 (4)
	No existe un método único para hacer ciencia.	M3-G4-O5-V14 (4)
	Progreso cíclico de preguntas y respuestas del que surgen nuevas teorías.	O4 (1)
	Los errores forman parte del progreso de la ciencia.	v19 (1)

Para valorar el alcance de los consensos encontrados, además de tener en cuenta el evidente factor cuantitativo (número de grupos de autores que lo avalan), se han utilizado tres criterios adicionales, uno cuantitativo y dos cualitativos:

- El primer criterio es cuantitativo. Se refiere al número de categorías inductivas encontrado bajo una determinada categoría de búsqueda.
- El segundo criterio es cualitativo. Lo llamaremos *criterio de convergencia* y se refiere a la mayor o menor convergencia entre la frase representativa de la categoría inductiva y las afirmaciones de los diferentes grupos que contiene. En este sentido, puede ocurrir que la frase representativa de una determinada categoría inductiva tenga un significado de tal amplitud que permita el consenso entre elementos de los grupos de autores, sin que esto signifique que haya absoluta convergencia entre ellos.
- El tercer factor, también cualitativo, es *de generalidad* y se obtiene al comparar la categoría inductiva con la correspondiente categoría de búsqueda en que está contenida, analizando qué otros aspectos o contextos –además de la categoría inductiva– admite dicha categoría de búsqueda.

Un análisis de la Tabla III nos ofrece una visión panorámica de los acuerdos de consenso actuales sobre la NdC.

Existe una distribución desigual de categorías inductivas (frases representativas) en los cuatro contextos

Como se muestra en la Tabla III, el número de categorías inductivas incluidas en los respectivos contextos es el siguiente: seis (contexto sociológico), tres (fase privada), dos (fase de interacción privada-pública) y 14 (fase de justificación). Esto es, de las 25 categorías inductivas, más de la mitad se concentran en el contexto de justificación.

Atendiendo únicamente a las categorías inductivas avaladas por al menos tres grupos de autores, su distribución en los respectivos contextos es como sigue: tres (contexto sociológico), dos (fase privada), una (fase de interacción privada-pública) y seis (fase de justificación). Por tanto, de las 12 categorías inductivas más consensuadas, la mitad se concentra de nuevo en el contexto de justificación.

La distribución de categorías inductivas ya parece indicar cuáles son los contextos más trabajados y consensuados; esto permite afirmar que, con diferencia, se trata del contexto de justificación y, a distancia, del sociológico.

Categorías inductivas en el contexto 1

Las tres categorías inductivas más consensuadas que se incluyen en este contexto y el número de los grupos de autores que las avalan son los siguientes:

- La ciencia surge del contexto histórico y social del momento (cuatro grupos).
- La ciencia tiene fuertes implicaciones sociales y culturales (cuatro grupos).
- Existen fuertes interacciones entre CTS (tres grupos).

Se puede afirmar que el consenso admitido por pares entre ciencia y tecnología (CT), ciencia y sociedad (CS) y tecnología y sociedad (TS) es desigual: es más importante el que alude a las relaciones entre ciencia y sociedad (CS) que los restantes.

Categorías inductivas en el contexto 2

Las categorías inductivas consensuadas por un mínimo de tres grupos de autores en este contexto son (Tabla III) las que ahora se detallan:

- La importancia de la creatividad en el descubrimiento (cuatro grupos).
- El científico está afectado por sus intereses personales (tres grupos).

El acuerdo evidente y con alto grado de convergencia sobre «La importancia de la creatividad y la imaginación en el descubrimiento» tiene, sin embargo, un grado de generalidad bajo, pues, si se compara su significado con el de la correspondiente categoría de búsqueda («¿Siguen los científicos pautas metodológicas o ideales propios de la ciencia?») se concluye que no se hacen alusiones a otros procedimientos usados por el científico en sus descubrimientos, tales como el azar, la constancia, las rectificaciones, etc., que hacen que su actividad no pueda verse de forma rígida y algorítmica.

El consenso de tres grupos respecto a la afirmación «El científico está afectado por sus intereses personales, cultura, religión, política, etc.» no está tan definido como el anterior, dado que las alusiones de los autores a los factores que influyen en la actividad del científico son parciales y desiguales. Por ejemplo, m16 hace referencia a su compromiso ético, l5 a la influencia cultural, l7 a los valores personales, v7 a las influencias políticas, v9 a las influencias religiosas, v11 a las diferencias individuales y, por último, v12 a los intereses personales. En consecuencia, es un consenso con alto grado de generalidad y bajo grado de convergencia.

Categorías inductivas en el contexto 3

El único consenso alcanzado en este contexto y el número de los grupos de autores que lo avalan consiste en lo siguiente (Tabla III):

- Las aportaciones individuales son reguladas socialmente por la comunidad de expertos (cinco grupos).

Es destacable constatar este consenso acerca de la regulación social y colectiva de las aportaciones individuales, si bien se alude a este particular con afirmaciones que muestran cierta divergencia entre sí. Así, mientras que la mayoría hace referencia al carácter colectivo de la ciencia, m8 y o9 son las únicas afirmaciones que especifican los mecanismos por los cuales las aportaciones individuales pasan a formar parte del conocimiento científico.

La categoría de búsqueda en la que se inserta este consenso, «Interacción entre fase privada y pública» abarca otros aspectos

significativos sin referencias en los elementos de los grupos de autores –como el asunto de la formación de los expertos–, a pesar de la gran relevancia que tiene para comprender el progreso de la ciencia (Echeverría, 2003; Marín, 2003a).

Por tanto, el único consenso significativo (avalado por los cinco grupos) que se alcanza en este contexto muestra bajos grados de coherencia y generalidad.

Categorías inductivas en el contexto 4

Como ha dicho con anterioridad, esta es la fase más aludida por los cinco grupos de investigación y en ella se han alcanzado 14 categorías inductivas, de las cuales seis están avaladas por al menos tres grupos de autores, a saber:

- Los datos empíricos no son neutrales (cinco grupos).
- La ciencia es a la vez duradera y provisional (cuatro grupos).
- El progreso es unas veces evolutivo y otras revolucionario (cuatro grupos).
- No existe un método único para hacer ciencia (cuatro grupos).
- La ciencia combina inducción y deducción (tres grupos).
- El papel de las hipótesis es importante en el contraste empírico (tres grupos).

La primera afirmación («Los datos empíricos no son neutrales») es un consenso con alto grado de convergencia inserto en la categoría de búsqueda 4.2: «Tiene carácter empírico la ciencia? ¿Surge de los datos o de la razón? ¿Descubre o inventa?». Con él parece señalarse que los datos empíricos en sí mismos carecen de sentido o significado, y que lo adquieren al ser interpretados por las teorías. No obstante, este consenso no dice nada acerca del valor ontológico que se confiere a los datos empíricos, de modo que no es posible distinguir entre empirismo constructivo (no importa si hay una realidad, lo que importan son los datos empíricos obtenidos), realismo constructivo (hay una realidad aunque esta no pueda ser directamente observable) y relativismo constructivo (hay múltiples realidades a las que se accede desde distintas perspectivas) algo que es básico para entender la ciencia (Giere, 1999). Por tanto, estamos ante un consenso con alto grado de convergencia y bajo grado de generalidad.

Respecto a la segunda categoría empírica («La ciencia es a la vez duradera y provisional»), se trata de un consenso de cuatro grupos de autores con alto grado de convergencia en las afirmaciones que utilizan para referirse a él. Es el único de su rango dentro de la categoría de búsqueda 4.1: «¿Qué y cómo es la ciencia? ¿A qué sector de la realidad se refiere? ¿Es verdad o es solo útil?». Viene a indicar que se rechazan posturas dogmáticas que consideran la ciencia como un saber estático y acabado y se admite que es más bien un conocimiento en constante proceso de revisión. No obstante, es un consenso claramente parcial sobre la naturaleza de la ciencia en la medida en que no se alude apenas (o en absoluto) a otros aspectos relevantes, entre los que cabe destacar el sector de la realidad al que se refiere la ciencia o el problema de la veracidad frente a la utilidad del conocimiento de ciencias. El consenso tiene un alto grado de convergencia, pero un grado de generalidad bajo.

A continuación, hay dos consensos importantes y bien definidos por las frases convergentes de cuatro grupos de investigación: «El progreso es unas veces evolutivo y otras revolucionario» y «No existe un método único para hacer ciencia», que están insertos en la categoría de búsqueda 4.4: «¿Cómo progresa la ciencia? ¿Usa algún método especial para progresar?». Los dos son consensos de carácter bastante general; así, el primero aleja a la ciencia de la percepción empirista que sugiere un progreso lineal y acumulativo, mientras que el segundo rechaza la idea neopositivista, tan extendida en un pasado relativamente reciente, acerca de que el uso del denominado método científico garantiza buenos resultados.

Los últimos consensos importantes se refieren al contexto 4.3: «¿Cuál es el papel de datos, leyes, hipótesis y teorías en la construcción de la ciencia?» y se encuentra en las frases «La ciencia combina inducción (contraste empírico) y deducción (papel de las hipótesis)» y «El papel de las hipótesis es importante en el contraste empírico», que representan las afirmaciones de tres grupos, aunque se da cierta disparidad respecto a la frase representativa. La relevancia de ambas expresiones reside en que marcan la importancia del pensamiento hipotético-deductivo en combinación con el contraste empírico como una poderosa herramienta para construir el conocimiento de ciencias y cuyo uso frecuente es algo característico y peculiar del conocimiento científico.

Conclusiones

Antes de comenzar con las conclusiones, es conveniente reconocer algunas limitaciones de este trabajo asociadas a la dificultad de clasificar aproximadamente el 20% de las afirmaciones de los listados de consensos. Sin embargo, y aun admitiendo el margen de error de interpretación, se puede concluir lo siguiente:

- En relación con la *ndc*, se corrobora que existen grandes consensos en una diversidad de contextos en los que se desarrolla la actividad científica. Esto, posiblemente, se debe a que los expertos interactúan mucho al respecto, a través de las mismas publicaciones o en foros y reuniones especializadas.
- También se muestra que aún quedan contextos en los que dichos consensos no se pueden generalizar. Hay más consenso en el contexto 1 («Escenario donde surge y se gestiona el conocimiento de ciencias») y, sobre todo, en el contexto 4 («Evaluación del conocimiento de ciencias como producto»); en cambio, el 2 («Fase privada o de descubrimiento») y el 3 («Interacción entre fase privada y pública») muestran escasos consensos y, cuando los hay, son parciales en cuanto a su generalidad o grado de convergencia. Desconocemos si la falta de más consenso en estas fases se debe al menor interés por ellas o a la falta de acuerdo real entre expertos, lo que podría ser objeto de investigación futura.
- Todos los consensos encontrados son coherentes con una interpretación constructivista (Marín, 2003b), que percibe el conocimiento científico como una interacción continua entre construcciones cognitivas y confrontaciones empíricas. Vistos así, los consensos encontrados se parecen a las pinceladas de un cuadro constructivista inacabado, o quizá mejor a una antigua tabla periódica de los elementos, que se hubiera elaborado antes de que se conociera con más detalle la estructura atómica de la materia. Siguiendo con este último símil, los consensos actuales vienen a suponer la ubicación, más o menos segura, de un buen número de elementos; sin embargo, faltaría conocer mejor la estructura atómica de los elementos (estructuras epistemológicas subyacentes) para completar la tabla o realizar inferencias. Algunos de los asuntos relevantes sobre los que no se ha encontrado consenso son los siguientes:

- En la categoría de búsqueda 2.2 («¿Siguen los científicos pautas metodológicas o ideales propios de la ciencia?»), únicamente hay acuerdo respecto a la creatividad y a la imaginación, y quedan poco consideradas otras características propias de la construcción individual del conocimiento tales como el azar, la constancia, las rectificaciones, etc.
 - Respecto a la categoría de búsqueda 3 («Interacción entre la fase privada y la pública»), aunque se reconoce la regulación colectiva de las aportaciones individuales, hay falta de acuerdo en muchas cuestiones importantes, como la formación del experto, la influencia de los aspectos personales en el trabajo finalmente publicado, etc.
 - Asimismo, aunque la categoría de búsqueda 4 («Fase de justificación: la ciencia como producto») es la que más consensos alcanza, se percibe que aún hay carencia de estos en algunas cuestiones clave para comprender la ciencia, tales como los criterios de validez de las teorías, el sector de la realidad a la que se refiere, las limitaciones del conocimiento científico, etc.
- Las afirmaciones acerca de cómo entender adecuadamente el conocimiento de ciencias se deberían complementar con las correspondientes afirmaciones inadecuadas. Tan solo el grupo de Gil aborda con cierto sistema la lista de consensos desde esta vertiente ‘inadecuada o deformada’, mientras que los demás autores enfatizan únicamente la visión adecuada. Tendría gran valor didáctico formular las afirmaciones sobre NDC por pares dicotómicos (afirmaciones más y menos adecuadas para entender el conocimiento de ciencias). Esto podría salvar escollos en la enseñanza de la NDC; por ejemplo, el alumno suele tener una visión inadecuada del conocimiento de ciencias, por lo que ante una aseveración ‘deformada’ puede quedarse con la duda de cuál será la visión adecuada.

En pocas palabras, si bien todos los consensos encontrados están dentro del marco del constructivismo, el cuadro constructivista generado está incompleto o inacabado por lo que se refiere a algunos aspectos o contextos de la NDC. Sería particularmente deseable investigar esto en un futuro.

Referencias bibliográficas

- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. y Lederman, N. G. (1998). The Nature of Science and Instructional Practice: Making the Unnatural Natural. *Science Education*, 82 (4), 417-436.
- 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.
- Bartholomew, H., Osborne, J. F. y Ratcliffe, M. (2004). Teaching Students 'Ideas-about-Science': Five Dimensions of Effective Practice. *Science Education*, 88 (5), 655-682.
- Clough, M. P. y Olson, J. K. (2008). Teaching and Assessing the Nature of Science; an Introduction. *Science & Education*, 17 (2-3), 143-145.
- Echeverría, J. (2003). *La revolución tecnocientífica*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A. y Praia, J. F. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 477-488.
- Fernández, I., Gil, D., Valdés, P. y Vilches, A. (2005). La superación de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología: Un requisito esencial para la renovación de la educación científica. En D. Gil, J. Macedo, J. Martínez-Torregrosa, P. Sifredo, P. Valdés y A. Vilches (Eds.), *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*, 29-62. Santiago de Chile: OREALC, Unesco.
- Giere, R. (1999). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, número extraordinario, 63-70.
- Gil, D., Vilches, A., Fernández, I., Cachapuz, A., Praia, J., Valdés, P. y Salinas, J. (2005). Technology as 'Applied Science': a Serious Misconception that Reinforces Distorted and Impoverished Views of Science. *Science & Education*, 14, 309-320.
- 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. DOI: 10.1002/TEA.3660290404.
- (1999). Teachers' Understanding of the Nature of Science and Classroom Practice: Factors that Facilitate or Impede the Relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (8), 916-929.

- (2006). Nature of Science: Past, Present, and Future. En S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*, 831-880. Mahwah (Nueva Jersey): Lawrence Erlbaum Associates.
- , Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. y Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (6), 497-521. DOI: 10.1002/TEA.10034
- Marín, N. (2003a). Conocimientos que interaccionan en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (1), 65-78.
- (2003b). Visión constructivista dinámica para la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, número extraordinario, 43-55.
- y Benarroch, A. (2009). Desarrollo, validación y evaluación de un cuestionario de opciones múltiples para identificar y caracterizar las visiones sobre la naturaleza de la ciencia de profesores en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 27 (1), 89-108.
- McComas, W. F. (2005). *Seeking NOS Standards: what Content Consensus Exists in Popular Books on the Nature of Science?* Annual Conference of the National Association of Research in Science Teaching. Dallas, Texas, Estados Unidos.
- (2008). Seeking Historical Examples to Illustrate Key Aspects of the Nature of Science. *Science & Education*, 17 (2-3), 249-263.
- y Olson, J. K. (1998). The Nature of Science in International Science Education Standards Documents. En *The Nature Of Science In Science Education. Rationales and Strategies*, (41-52). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- , Clough, M. P. y Almazroa, H. (1998). The Role and Character of The Nature of Science in Science Education. En *The Nature Of Science In Science Education. Rationales and Strategies*, 3-39. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Niaz, M. (2009). Progressive Transitions in Chemistry Teachers' Understanding of Nature of Science based on Historical Controversies. *Science & Education*, 18, 43-65.
- Osborne, J. F., 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.
- Vázquez, A., Acevedo, J. A. y Manassero, M. A. (2004). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: evidencias e implicaciones para su enseñanza.

- Revista Iberoamericana de Educación*. Recuperado de <http://www.rieoei.org/deloslectores/702Vazquez.PDF>
- Vázquez, A., Acevedo, J. A., Manassero, M. A. y Acevedo, P. (2001). Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia. *Argumentos de Razón Técnica*, 4, 135-176.
- (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la ciencia y la tecnología en la sociedad. *Educación Química*, 18 (1), 38-55.
- Yang, W. G. (1999). An Analysis of «Pupil as Scientist» Analogies. En *Science as Culture. Bicentenary of the Invention of the Battery by Alessandro Volta*, 15-19.

Dirección de contacto: Nicolás Marín Martínez. Universidad de Almería. Facultad de Educación. Departamento de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales. Ctra. Sacramento, s/n; 04120 La Cañada, Almería, España. E-mail: nmarin@ual.es