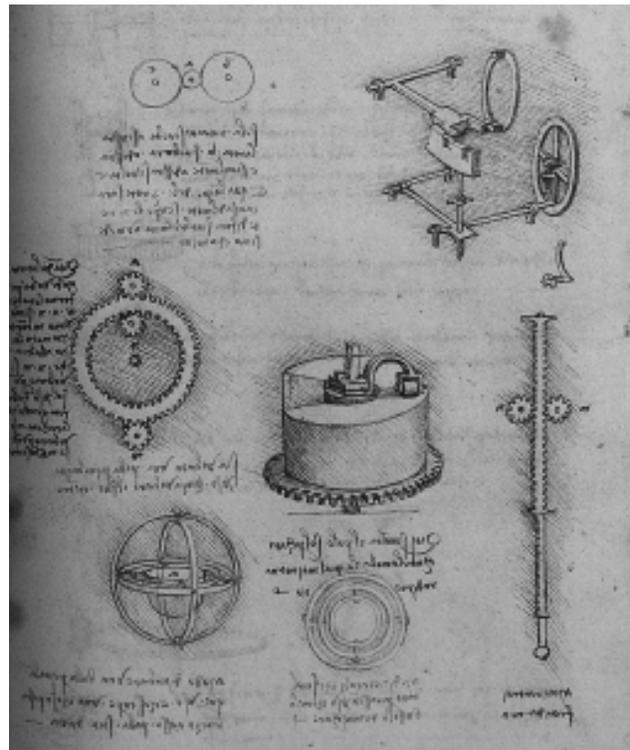


APORTES DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA Y DEL CONTENIDO PEDAGÓGICO DEL CONOCIMIENTO PARA EL CAMPO CONCEPTUAL DE LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS

Óscar Eugenio Tamayo A.
Mary Orrego C.



Leonardo da Vinci,
Dibujo para mecanismo de relojería.

RESUMEN

APORTES DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA Y DEL CONTENIDO PEDAGÓGICO DEL CONOCIMIENTO PARA EL CAMPO CONCEPTUAL DE LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS

En el artículo se presenta una caracterización general de los conceptos naturaleza de la ciencia y contenido pedagógico del conocimiento, y se propone su articulación en el campo conceptual de la educación en ciencias. Se identifican los alcances de cada uno de estos conceptos y se destaca la necesidad de su conocimiento con el propósito de incidir de manera significativa en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

RÉSUMÉ

APPORTS DE LA NATURE DE LA SCIENCE ET DU CONTENU PÉDAGOGIQUE DE LA CONNAISSANCE AU DOMAINE CONCEPTUEL DE L'ÉDUCATION EN SCIENCES

On présente dans cet article une caractérisation générale des concepts de nature de la science et contenu pédagogique de la connaissance, en proposant leur articulation dans le domaine conceptuel de l'éducation en sciences. On identifie les portées de chacun de ces concepts et on souligne la nécessité de leur comprendre dans le but d'exercer une influence significative sur le processus d'enseignement-apprentissage des sciences.

ABSTRACT

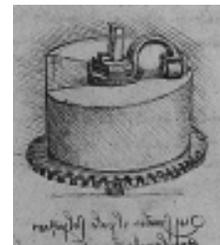
INPUT ON THE NATURE OF SCIENCE AND THE PEDAGOGICAL CONTENT OF KNOWLEDGE FOR THE CONCEPTUAL FIELD OF SCIENCE EDUCATION.

The article presents a general characterization of the concepts: nature of science and pedagogical content of knowledge; and suggests its articulation within the conceptual field of education in science. The reach of each of these concepts is identified. Also, it is highlighted the need of its knowledge, with the purpose of affecting in a significant way teaching-learning processes of science.

PALABRAS CLAVE

*Enseñanza de las ciencias, naturaleza de la ciencia, contenido pedagógico del conocimiento.
Teaching of sciences, nature of science, pedagogical content of knowledge.*

APORTES DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA Y DEL CONTENIDO PEDAGÓGICO DEL CONOCIMIENTO PARA EL CAMPO CONCEPTUAL DE LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS



Óscar Eugenio Tamayo A.*
Mary Orrego C.**

INTRODUCCIÓN

Considerar la educación en ciencias como una ciencia en proceso de consolidación plantea exigencias tanto teóricas como metodológicas. En las páginas que aparecen a continuación nos referiremos específicamente a las primeras y, para ello, proponemos el siguiente recorrido: en primer lugar, partir de las reflexiones originadas desde los campos de la historia y la epistemología de las ciencias en torno a los procesos seguidos para la construcción del conocimiento científico. Ubicar esta reflexión en el aula de clase, y en integración con aportes desde la sociología y la psicología, nos permite delimitar el dominio de la *naturaleza de la ciencia* (NdeC) (Gess-Newsome, 1999; McComas, 1998; McComas y Olson, 1998), aspecto central para la educación en ciencias. En segundo lugar, hacemos referencia a la delimitación de otro dominio, el del *contenido pedagógico del conocimiento* (CPC) (Shulman, 1986), el cual tiene como principal función identificar aquel conocimiento necesario para la enseñanza. El

establecimiento de los límites teóricos entre la educación en ciencias con la historia y la epistemología de la ciencia y con la pedagogía, nos permite construir un marco teórico útil para lograr mejores comprensiones de lo que sucede en el aula en cuanto a la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

EL DOMINIO DE CONOCIMIENTO DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

La ciencia, como producto cultural, tiene gran impacto sobre todos los aspectos de la vida moderna. Los diferentes productos de la ciencia, sean estos modelos explicativos, modelos comprensivos, conceptos, teorías o, en términos generales, artefactos tecnológicos, influyen de manera importante en la vida de todos los ciudadanos. No obstante, pocas per-

* Profesor de la Universidad de Caldas y de la Universidad Autónoma de Manizales.
E-mail: otamayoa@yahoo.com

** Profesora Universidad Autónoma de Manizales.

sonas poseen una comprensión elemental de cómo opera la ciencia. Esta deficiente comprensión es especialmente riesgosa cuando está presente en personas que tienen como una de sus funciones participar en el diseño, ejecución y evaluación de políticas orientadas a lograr avances en torno a las múltiples relaciones entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el desarrollo.

Sin lugar a dudas, en la actualidad vivimos en un período de rápido crecimiento del conocimiento, mucho del cual es utilizado para la creación de nuevas tecnologías. La ciencia y la tecnología son consideradas, hoy, como los factores que más influyen sobre el rumbo de nuestras vidas, llegando a exigir, en la actualidad, un mínimo de comprensión de los términos y los conceptos científicos que nos permita enfrentarnos con éxito a las situaciones que se nos presentan. Para el logro de esta adecuada apropiación social de la ciencia, se requiere crear condiciones particulares de enseñanza y de aprendizaje para que la ciencia y los procesos asociados a ella formen parte inseparable de la cultura.

Aceptar la importancia de educar en ciencias lleva necesariamente a pensar en por qué, cuándo, dónde y cómo hacerlo. La educación en ciencias debe aportar, en forma decidida, a la apropiación crítica del conocimiento científico y a la generación de nuevas condiciones y mecanismos que promuevan la formación de nuevas actitudes hacia la ciencia y hacia el trabajo científico. La educación en ciencias, inscrita en esta nueva dinámica cultural, nos reta a pensar nuevas propuestas curriculares en las que se reflexione acerca de las relaciones entre la ciencia y su conocimiento público (Fensham y Harlem, 1999), acerca del logro de una mejor comprensión pública de la ciencia (Vos y Reiding, 1999; Cross, 1999) y del desarrollo de habilidades para la toma de decisiones relacionadas con problemas socio-científicos (Patronis, Potari y Spiliyopoulos, 1999).

En los distintos niveles de la enseñanza de las ciencias es frecuente encontrar diferentes discursos que enfatizan en la importancia de revivir el *contenido* de la ciencia, con la posible exclusión de los *procesos* de generación del conocimiento. En tal sentido, la educación en ciencias ha estado y está dominada por la enseñanza de hechos, hipótesis y teorías, en lo que ha sido denominado la *retórica de las conclusiones* o *ciencia definitiva* (Duschl, 1995). En esta línea de pensamiento, no se enseñan los orígenes del conocimiento científico, de tal manera que las razones que obligan a cambiar teorías o modelos, a modificar métodos y reestructurar objetivos, son eliminados del discurso del aula; es decir, se enseña el *qué* y no el *cómo*.

En el diseño de estos nuevos escenarios para la educación en ciencias, cumplen un papel central las reflexiones desde campos disciplinares diversos, como la historia y la filosofía de la ciencia, las ciencias cognitivas y la sociología de la ciencia, entre otros. Tradicionalmente, la historia y la epistemología de la ciencia se han ocupado de describir el interjuego de disciplinas que informan sobre la educación en ciencias y acerca del carácter de la ciencia en sí mismo. McComas y Olson (1998) proponen el uso del concepto *naturaleza de la ciencia* para describir el trabajo científico en educación en ciencias y cómo la sociedad en sí misma dirige y reacciona frente a los desafíos científicos. En tal sentido, ubicar la reflexión de la naturaleza de la ciencia en el aula de ciencias no pretende llevar la reflexión de orden epistemológico al aula; asimismo, no se interesa por el estudio del mundo natural en la forma en que el mundo es en sí mismo, es decir, desde el campo de reflexión de la naturaleza de la ciencia no se trata de establecer cuáles son las mejores ideas que explican los fenómenos naturales. Desde la perspectiva de la educación en ciencias, el interés se centra en ubicar la reflexión sobre la ciencia y el que-hacer científico en el aula de clase, en función de preguntas como: ¿qué es la ciencia? ¿Cómo se trabaja científicamente? ¿Cómo

actúan los científicos como grupo social? ¿Cómo se comporta la sociedad frente a los desafíos científicos? ¿Qué, de haber algo, diferencia la ciencia de otras actividades humanas? ¿Cómo son inventadas o descubiertas las ideas? ¿Cómo se logra el consenso en la comunidad científica?

Las respuestas a estas y otras preguntas delimitan la funcionalidad de la naturaleza de la ciencia en torno a aspectos de muy diversa índole, tales como: la evolución del conocimiento científico, la comprensión y el interés hacia la ciencia, la toma de decisiones fren-

te al conocimiento científico, la reducción de la ansiedad en la enseñanza y la cualificación de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Así, para la educación en ciencias, el concepto *naturaleza de la ciencia* se ubica en la intersección de diversos campos dentro de los que se destacan la historia y la filosofía de la ciencia, la sociología de la ciencia y la psicología de la ciencia. Como tal, el dominio de la naturaleza de la ciencia es un dominio básico que guía a los profesores para describir de manera adecuada la ciencia a sus estudiantes (véase figura 1).

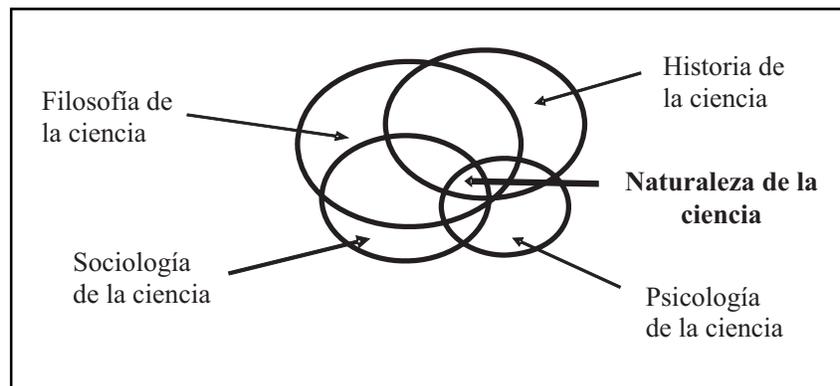


Figura 1. Origen conceptual del dominio del conocimiento *naturaleza de la ciencia*. El tamaño de los círculos es proporcional a la producción científica en cada uno de los campos mencionados.

Fuente: adaptado de McComas y Olson (1998).

Desde esta perspectiva, una de las funciones centrales de los profesores es dar una adecuada descripción de las funciones, procesos y límites de la ciencia a sus estudiantes. No se trata de llevar al aula las polémicas centrales de la filosofía de la ciencia; más que ello, se trata de considerar el aula de ciencias como un espacio en el que es posible acercar a los estudiantes a lo que es la ciencia y el trabajo científico, un espacio en el que se hace un tipo de ciencia: la ciencia escolar.

Matthews (1994) plantea que las preguntas sobre la naturaleza de la ciencia son inheren-

tes a muchos asuntos educativos, tales como: la ciencia multicultural, la controversia pública en la educación sobre las perspectivas evolutivas y creacionistas, las críticas feministas de la ciencia moderna y sus sugerencias para la reforma de programas, el medio ambiente y los nuevos desarrollos de la ciencia y la idea de que el aprendizaje de ella podría llevar a una comprensión de su naturaleza y, al mismo tiempo, a que los estudiantes empleen algunas de las potencialidades de la ciencia, y del pensamiento asociado a ella, en la resolución de problemas cotidianos.

Incluir la naturaleza de la ciencia en los procesos de enseñanza y aprendizaje tiene ventajas en diferentes sentidos, por ejemplo, ayuda a los estudiantes a mejorar su comprensión de los conocimientos científicos estudiados, proceso en el cual debe ser evidente una visión dinámica de la ciencia más que otra estática. Lo anterior implica ofrecer espacios para que los estudiantes reconozcan que la ciencia no está constituida por un conjunto de verdades irrefutables, y por un conjunto de conceptos y teorías que se pueden memorizar. Por el contrario, lo que se busca es que los estudiantes comprendan el significado de las ideas científicas, que conozcan sus alcances, sus límites, que identifiquen que si hay algo consistente en el trabajo científico es la evolución y el cambio en las teorías y de los modelos construidos por los científicos. Asumir la educación en ciencias desde esta perspectiva implica reconocer la temporalidad de los conceptos que enseñamos y aprendemos; además, nos lleva a percibir la ciencia como un proceso de cualificación de nuestras comprensiones de la naturaleza del mundo, donde las nociones tentativas que elaboramos durante los procesos de aprendizaje de los diferentes conceptos pueden o no cumplir un papel central para las posteriores comprensiones.

La ciencia, como un producto cultural que es, ejerce su influencia sobre una amplia variedad de escenarios y esferas del desarrollo humano. No obstante lo anterior, es frecuente encontrar poco interés en las personas frente al trabajo científico y, en términos generales, frente a la explicación científica de los fenómenos cotidianos y del funcionamiento básico de artefactos tecnológicos con los cuales interactuamos diariamente. El conocimiento de la naturaleza de la ciencia incrementa la sensibilidad de las personas hacia la ciencia y al desarrollo del conocimiento científico, hace más interesante la ciencia. Su incorporación en los procesos de enseñanza y aprendizaje humaniza la ciencia, convirtiéndola en una gran aventura en el espacio del aula, en lugar

de continuar centrados en la enseñanza de los productos de la ciencia. Para ello se requiere dedicar esfuerzos para que los estudiantes tomen conciencia de los procesos que soportan la construcción del conocimiento científico.

Otra temática de interés ubica la reflexión desde la perspectiva de la naturaleza de la ciencia en quienes participan activamente en la planeación, ejecución y regulación de políticas en ciencia, tecnología y educación. La toma de decisiones políticas y presupuestales, soportadas en un amplio conocimiento sobre la naturaleza de la ciencia, es vital para avanzar sobre los modelos tradicionales de ciencia y de enseñanza que aún continúan dominando.

Por otra parte, son importantes los vínculos establecidos entre el conocimiento de la naturaleza de la ciencia y la habilidad de los profesores para implementar modelos de cambio y evolución conceptual en el aula. En el estudio del *cambio conceptual* es frecuente encontrar investigaciones encaminadas a relacionar el cambio conceptual individual con el cambio conceptual visto desde la historia de la ciencia; es común encontrar, dentro de un dominio del conocimiento determinado, comparaciones entre las concepciones de los estudiantes y las concepciones científicas en diferentes épocas de la historia de la ciencia (Giordan y Vecchi, 1995; Nersessian, 1992; Nussbaum, 1989). La *evolución conceptual*, desde la perspectiva cognoscitiva, considera, en primer lugar, la existencia de *ideas* en los estudiantes, las cuales se caracterizan por ser relativamente coherentes, comunes en distintos contextos culturales y difíciles de cambiar; en segundo lugar, la existencia del conocimiento científico. Estas dos formas de conocer definen diferentes formas de concebir el cambio conceptual (Poza, 1999; Thagard, 1992). En el ámbito de la educación en ciencias existe acuerdo generalizado sobre la importancia de favorecer el cambio de estas *ideas*, de tal manera que se *acerquen* más a los conocimientos científicos; en este propósito, el conocimiento detallado de la historia y de

la epistemología del campo disciplinar cumplen un papel central, así como el conocimiento de aspectos referidos a la sociología y a la psicología de la ciencia. Es claro, entonces, que el conocimiento de la naturaleza de la ciencia por parte de los profesores aporta de manera decidida a la comprensión de los procesos de aprendizaje de los estudiantes desde las perspectivas de la evolución y del cambio conceptual.

En la línea de pensamiento anterior, el conocimiento de la naturaleza de la ciencia es útil como agente desequilibrador, cognitivo o sociocognitivo, tanto para profesores de ciencias como para sus estudiantes. Esto nos lleva a otra polémica central en la actualidad, en cuanto a si los procesos de aprendizaje se dan por el reemplazo de las ideas de los estudiantes o, por el contrario, se reconoce que en ellos hay construcción de significados relacionados con el mundo natural. En otras palabras, se propone que el conocimiento sobre la naturaleza de la ciencia aporta luces en cuanto al papel del *descubrimiento* o de la *construcción* en los procesos de aprendizaje de las ciencias.

Dos aspectos finales sobre la importancia del conocimiento de la naturaleza de la ciencia están referidos de manera directa al profesor y a los modos de comunicar el conocimiento científico. En cuanto al primero, parece claro que los modelos de enseñanza empleados por los profesores responden a las creencias y supuestos que ellos tienen; en consecuencia, las formas de proceder en el aula, los juicios y las valoraciones son coherentes con estos modelos intuitivos de enseñanza. Es claro, entonces, que las actitudes y motivaciones de los estudiantes frente a la ciencia y al trabajo científico están mediadas por sus profesores, por sus estilos de enseñanza y por la propia imagen de ciencia y de trabajo científico que éstos tienen. En cuanto al segundo, los diferentes lenguajes empleados para comunicar la ciencia influyen de manera determinante sobre los modelos de ciencia y de trabajo científico construidos por los estudiantes. Las dis-

tintas formas de comunicar la ciencia, bien sea a través de los libros de texto, del discurso del profesor, de las prácticas de laboratorio y las comunicaciones científicas en los medios de comunicación, entre muchas otras, orientan visiones instrumentalistas, realistas o naturalistas sobre la naturaleza de la ciencia.

EL DOMINIO DEL CONTENIDO PEDAGÓGICO DEL CONOCIMIENTO

Al igual que en las ciencias naturales, en las ciencias sociales y humanas es común encontrar que los investigadores, con el propósito de comprender y reducir la complejidad de los fenómenos que estudian, generen una variedad de modelos y metáforas, los cuales se constituyen como herramientas conceptuales para identificar y diferenciar constructos hipotéticos, y representar relaciones inferidas entre los diferentes constructos elaborados. Es decir, una de las tareas fundamentales de los científicos, en las diversas áreas del conocimiento, es construir, seleccionar y modificar modelos conceptuales que les permitan explicar, comprender o transformar las realidades que estudian. Un buen modelo, al igual que una buena teoría, organiza el conocimiento de una nueva forma, integra hallazgos diferentes, establece nuevas o distintas relaciones entre lo teórico y lo empírico, sugiere nuevas o diferentes explicaciones, estimula la investigación y es de gran utilidad en el proceso de transferencia de su contenido conceptual desde quienes piensan y proponen los modelos (los científicos), a quienes los enseñan (los profesores) y a quienes los aprenden (los estudiantes).

En el campo de la educación son múltiples los modelos que se han propuesto para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Sólo con el propósito de ilustrar, podemos mencionar los modelos orientados a explicar la evolución

de conceptos científicos (Tamayo, 2001); los modelos para el cambio conceptual (Posner *et al.*, 1982; Pozo, 1999; Vosniadou, 1994); los modelos pedagógicos (Porlán, Rivero y Martín del Pozo, 1998; Flórez, 1994; Jiménez-Alexandre, 2001); los modelos curriculares para los diferentes niveles de la educación (García y López, 1997); los modelos evaluativos (Jorba y Sanmartí, 1994), etc. Dentro de estos diferentes modelos, y a partir de los trabajos iniciales de Shulman (1986), se observan esfuerzos importantes por modelizar los procesos de enseñanza. Estos modelos centraban inicialmente la atención en tres tipos de conocimientos: el de los estudiantes, el pedagógico y el curricular, a partir de los cuales se buscaba impactar los procesos de enseñanza-aprendizaje. Posteriores desarrollos del modelo inicial de Shulman permitieron identificar diferentes tipos de conocimientos básicos para la enseñanza, dentro de los que se destacan: el conocimiento pedagógico general, el curricular, el de los estudiantes, el del contexto educativo, el del contenido a enseñar, y el de la historia y filosofía de la educación.

Shulman (1986) describe el *contenido pedagógico del conocimiento* (CPC) como una amalgama especial entre la materia objeto de estudio (química, física, humanidades...), la pedagogía y la didáctica. En tal sentido, el CPC representa el establecimiento de nuevas relaciones entre los contenidos específicos objeto de la enseñanza, la pedagogía y la didáctica, dentro de una comprensión de cómo ciertos tópicos particulares de enseñanza se organizan para ser enseñados según diversos intereses y habilidades de los estudiantes. En este modelo se propone considerar el CPC como la categoría más apropiada para diferenciar el saber específico de la ciencia que se enseña del saber pedagógico. Esta diferenciación resulta especialmente importante para la educación en ciencias, en cuanto define un marco teórico, diferente del pedagógico, al interior del cual considerar la educación en ciencias. Se concibe, entonces, el CPC como un

dominio único del conocimiento del profesor, que integra el saber específico de la materia que se enseña con el saber pedagógico, en función de lograr una comprensión efectiva de la educación en ciencias. Para cada una de las ciencias, el CPC nos orienta para encontrar respuestas a preguntas como: ¿cómo pueden los profesores ayudar a los estudiantes para que comprendan los conceptos científicos? ¿Cómo evaluar el aprendizaje de los estudiantes? ¿Qué obstáculos encuentran los estudiantes al relacionarse con los conceptos científicos enseñados? ¿Cómo interactúan los modelos mentales de los estudiantes con los modelos conceptuales enseñados por los profesores? ¿Cómo aprenden los conceptos científicos los estudiantes? ¿Cómo diseñar ambientes apropiados para la educación en ciencias?

El reconocimiento del CPC nos lleva a establecer posibles límites entre diversos campos del conocimiento, especialmente frente a aquellos que han investigado diferentes problemáticas al interior del aula de clase. Los grandes aportes de la psicología cognitiva, de la sociología de la educación, de la historia y la epistemología de la ciencia, de la pedagogía y, más recientemente, de la lingüística y de la semiótica, se integran con el conocimiento de la ciencia-a-enseñar y constituyen de esta forma el conocimiento necesario para la enseñanza en el aula. El CPC reúne las formas de representar y estructurar una asignatura de tal manera que la hagan comprensible para los demás (Gess-Newsome, 1999), lo cual hace referencia directa a conceptos como el de *transposición didáctica* (Chevallard, 1985; 1991). Este tipo de conocimiento se centra específicamente en los conocimientos y las habilidades específicas que afectan la enseñanza y el aprendizaje de un dominio determinado del saber.

El estado del arte de la educación en ciencias muestra la gran complejidad de la enseñanza de cualquier materia. Es claro que el profesor debe integrar de manera adecuada conoci-

mientos de múltiples dominios. Según lo reportado por Magnusson, Krajcik y Borko (1999), los profesores con conocimientos diferenciados e integrados tienen mayor habilidad para planear y ejecutar lecciones que ayuden a los estudiantes a lograr mejores comprensiones de los temas estudiados; asimismo, son mejores guías en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Se destaca, entonces, la gran importancia de integrar de manera adecuada el CPC con un conocimiento profundo sobre la materia objeto de enseñanza, con el propósito de lograr una enseñanza más efectiva. La alta complejidad a la que hacemos referencia exige, de los profesores, además del conocimiento profundo de la materia a enseñar, los procesos de aprendizaje de los estudiantes, las múltiples formas posibles para representar el conocimiento y las maneras en que éstas aportan al aprendizaje, y los diversos intereses y motivaciones en los alumnos.

Se han identificado diferentes líneas de investigación que aportan a la constitución del CPC, entre ellas se encuentran:

1. *Conocimientos y creencias de los profesores sobre la educación en ciencias.* Se refiere a las ideas de los profesores sobre los propósitos y objetivos para la educación en ciencias en un nivel particular. Parece claro que los profesores organizan sus intervenciones didácticas a partir de los modelos que tienen acerca de los procesos de enseñanza-aprendizaje. Esto sugiere que los modelos empleados por los profesores de ciencias responden a supuestos epistemológicos, ontológicos, culturales y didácticos que orientan sus formas de actuación en el aula. A manera de ilustración, los supuestos de un profesor acerca de la enseñanza lo pueden llevar a organizar las actividades de clase de manera inductiva más que deductiva o, para el caso de la enseñanza de la biología, preferir un enfoque molecular, uno evolutivo o uno ecológico. Estos modelos

generales, responsables de la actuación de los profesores, se construyen a partir de sus experiencias a lo largo de su vida escolar, de sus creencias acerca de la educación, de sus motivaciones, de sus intereses y, necesariamente, con el aporte de conocimientos específicos acerca de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

2. *Conocimientos y creencias acerca del currículo en ciencias.* Es importante el conocimiento de las diferentes propuestas curriculares desarrolladas en las áreas específicas. Tal es el caso de las propuestas orientadas a transformar la enseñanza tradicional de las ciencias, vivida a partir de mediados del siglo anterior. También es el caso, para la enseñanza de la química, de los proyectos "CBA Sistemas Químicos" y a "CHEMS Química, una ciencia experimental". Para la enseñanza de la física: "Physical Science Study Committee" (PSSC), "College Introductory Physical Science" (IPS) y el "Harvard Project Physics" (HPP). Para la enseñanza de la biología: el "Biological Science Curriculum Study" (BSCS). Conocer las diferentes perspectivas curriculares para la educación en ciencias le permite a los profesores no sólo tener una mejor comprensión de la disciplina específica sino, además, ubicar epistemológicamente su disciplina frente a las demás, y establecer posibles relaciones entre las diferentes ciencias en el momento de programar las actividades de enseñanza.

Unido a lo anterior, el conocimiento curricular, en cuanto a las temáticas específicas, permite una mejor comprensión de los objetivos de enseñanza a mediano y largo plazo en la formación de los futuros ciudadanos. Claros ejemplos de lo anterior lo constituyen las actitudes hacia la ciencia y hacia el trabajo científico, las cuales se desarrollan desde edades muy tempranas y que, en buena parte, son responsables de las

maneras como los ciudadanos se relacionan con los productos de la ciencia y la tecnología. Este tipo de conocimiento se constituye como central, en cuanto posibilita un conjunto de transiciones que van desde los planteamientos filosóficos y pedagógicos orientadores de una propuesta educativa, hasta la planeación y ejecución de todas las actividades realizadas en el aula de clase. El conocimiento curricular se constituye entonces en uno de los puentes de unión entre la educación en ciencias *pensada* y la *actuada*, un punto de enlace entre la teoría de la educación en ciencias y su concreción en el aula.

3. *Conocimientos y creencias acerca de la comprensión de los estudiantes en campos específicos de las ciencias.* Este tipo de conocimiento se refiere a aquello que debe saber el profesor acerca del conocimiento de sus estudiantes en las temáticas específicas a enseñar. Hace referencia al conocimiento de las ideas que tienen los estudiantes sobre la ciencia enseñada, así como de los principales obstáculos para el logro de los aprendizajes. Es necesario que los profesores conozcan en detalle las concepciones alternativas y los modelos mentales de sus estudiantes, con el propósito de poder incidir sobre ellos de manera significativa desde las diferentes actividades desarrolladas en el aula. Este tipo de conocimiento no se restringe a lo meramente conceptual; requiere integrar otras dimensiones del desarrollo humano, como la afectiva, la motivacional, la cognitiva y la lingüística, entre otras. El profesor debe conocer los diferentes enfoques de aprendizaje de sus estudiantes; conocer cómo sus estudiantes, con diferentes niveles, estilos de aprendizaje y habilidades desarrolladas, interactúan con los nuevos conocimientos enseñados.

La educación en ciencias nos brinda una gama amplia de ejemplos, en los cuales encontramos diferentes representaciones de los conceptos en los estudiantes y, en consecuencia, distintas formas de integrar los conocimientos enseñados; tal es el caso del estudio de la estructura de la materia, donde es posible encontrar estudiantes con modelos continuos o discontinuos, o la mezcla de ambos; asimismo, podemos encontrar estructuras representacionales muy diversas para este concepto, por ejemplo, estudiantes que han elaborado imágenes mentales, modelos mentales, guiones o representaciones proposicionales sobre la estructura de la materia, lo cual invita a que el profesor actúe de manera diferenciada según las distintas necesidades del grupo-clase.

El conocimiento de los procesos de aprendizaje de los estudiantes interactúa de manera clara tanto con el conocimiento curricular como con el conocimiento de la historia y de la epistemología del campo disciplinar enseñado. Es decir, en la educación en ciencias, el CPC integra saberes disciplinares con otros de los actores participantes en los procesos de enseñanza: los profesores y los estudiantes. Esta interacción entre actores y saberes puede orientar de manera importante la identificación de posibles obstáculos o interferencias tanto para la enseñanza como para el aprendizaje de los conceptos científicos. Dentro de los principales obstáculos para el aprendizaje de los conceptos se presentan los siguientes:

- a) El carácter abstracto de los conceptos estudiados, y la poca relación que se logra establecer entre éstos y las experiencias cotidianas de los estudiantes. Es necesario que el profesor identifique el grado de dificultad de lo enseñado y cuál

- les conceptos habitualmente generan mayores obstáculos en el momento de ser aprendidos por sus estudiantes. En la literatura científica se identifican dificultades importantes por parte de los alumnos frente al aprendizaje de conceptos como *mol*, *mecánica cuántica*, *estructura de la materia*, *respiración*, *síntesis de proteínas*, *estructura atómica*, etc.
- b) La dificultad mostrada por los estudiantes para diferenciar los conocimientos de sentido común de los que son científicos. Frente a este aspecto se han propuesto al menos tres hipótesis que relacionan estos dos tipos de conocimientos: la compatibilidad, la incompatibilidad y la independencia entre las ideas de los estudiantes sobre los temas objeto de aprendizaje y los conceptos científicos enseñados en clase.
- c) El conocimiento de los estudiantes acerca de las formas que ellos emplean para resolver problemas. Este conocimiento metacognitivo es especialmente importante para la educación y para la educación en ciencias, debido a que incide en la adquisición, comprensión, retención y aplicación de lo que se aprende; su influencia se da, además, sobre la eficacia del aprendizaje, del pensamiento crítico y de la resolución de problemas. Según Kuhn, Amsel y O'Loughlin (1988), es una de las habilidades más importantes que definen el pensamiento científico; mediante ella se pueden diferenciar y relacionar la teoría y los hechos; es decir, ser capaz de pensar explícitamente acerca de las ideas o concepciones que uno tiene, más que sólo pensar *con* esas concepciones (Manson, 1994).
- d) Las estructuras curriculares y didácticas que soportan los procesos de enseñanza en el aula. Es común encontrar que, desde la misma institución escolar, se favorece la construcción de modelos y teorías equivocadas a la luz de los desarrollos teóricos actuales de las ciencias. Desempeñan papel importante en la construcción de estas concepciones inducidas (Pozo *et al.*, 1991) los medios de comunicación, los libros de texto y, en términos generales, la influencia del saber cultural como un potente mediador de los procesos de aprendizaje de las personas.
- e) Las motivaciones e intereses de los estudiantes frente a las diferentes actividades propuestas en clase. Es clara la relación existente entre la motivación y el aprendizaje; sin embargo, tradicionalmente se ha considerado que la motivación es responsabilidad de los alumnos. La motivación no sólo es una de las causas de la falta de aprendizaje de las ciencias, sino que es una de sus primeras consecuencias. Claxton (1984) considera que el problema de la motivación en el aula no se debe a que los alumnos no estén motivados, sino a que sus intereses son diferentes a los supuestos por el sistema de enseñanza; este autor afirma que motivar es cambiar las prioridades de una persona, cambiar sus actitudes ante el aprendizaje.
- f) De especial importancia para el aprendizaje pueden ser los obstáculos de orden madurativo, bien a nivel neurobiológico, o bien a nivel del desarrollo y la maduración de ciertas habilidades cognitivas necesarias para el aprendizaje de los conceptos estudiados. Aunque no pretendemos aquí aportar a la discusión sobre *crecimiento y desarrollo*, compartimos que para el aprendizaje de ciertos conceptos se requieren ciertos desarrollos psiconeurobiológicos previos, sin los cuales éste no sería posible. Tal es el caso,

por ejemplo, de los procesos de mielinización neuronal, el desarrollo de ciertas competencias lingüísticas y los procesos relacionados con el almacenamiento y recuperación de información.

4. *Conocimientos y creencias acerca de la evaluación en ciencias.* Este tipo de conocimiento se refiere tanto a las diferentes dimensiones consideradas en los procesos evaluativos así como a los métodos empleados. En cuanto a las dimensiones a ser evaluadas, según el National Assessment of Educational Progress (NAEP), encontramos como centrales las siguientes: comprensión conceptual, naturaleza de la ciencia, temas interdisciplinarios, investigación científica y razonamiento práctico. En la actualidad, la reflexión sobre la evaluación produce como resultados nuevos métodos, tales como la *evaluación centrada en el desempeño* y los *portafolios de evaluación*, métodos en los cuales se la considera como una actividad más que ofrece oportunidades para el aprendizaje.

5. *Conocimientos y creencias sobre las estrategias instruccionales para la educación en ciencias.* Este tipo de saber diferencia claramente aquellas estrategias de enseñanza que pueden ser aplicables a dominios amplios de las ciencias, tales como biología, química o matemáticas, y aquellas que son aplicables a la enseñanza de conceptos específicos. El CPC referido a las estrategias dominio-específicas destaca la necesidad, por parte del profesor, de identificar la potencia de cierta estrategia para la enseñanza de una materia específica. El conocimiento de diferentes estrategias dominio-específicas le permite al profesor pasar de manera consciente de una estrategia a otra sin generar confusión en los estudiantes; le posibilita pasar, por ejemplo, de un modelo de enseñanza por descubrimiento a otro centrado en el cambio conceptual y de esta forma aportar a una mejor comprensión por parte de los estudiantes. En contraposición, un

deficiente conocimiento de la materia objeto de enseñanza y de aspectos de orden pedagógico conducen al empleo de estrategias dominio-específicas poco efectivas.

LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS COMO INTEGRACIÓN DE LOS DOMINIOS DEL CONOCIMIENTO PEDAGÓGICO DEL CONTENIDO Y DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

Considerar la educación en ciencias como una ciencia en proceso de consolidación, nos ha exigido identificar los valiosos aportes de muy diversos campos del saber. La integración de los dominios de la naturaleza de la ciencia y del conocimiento pedagógico del contenido (véase figura 2), nos orientará de manera adecuada en la búsqueda de respuestas a preguntas como: ¿cómo ayudar a los estudiantes para que logren mejores comprensiones de los conceptos científicos? ¿Cómo superar las múltiples interferencias que se dan en el aula de ciencias en torno a la enseñanza y aprendizaje de las ciencias? ¿Cómo diseñar ambientes de aprendizaje para la educación en ciencias que respondan a las actuales exigencias socio-culturales? ¿Qué semejanzas y diferencias se pueden encontrar entre las formas de construcción de conocimiento entre los contextos científico y escolar?

Es evidente la alta complejidad y exigencia conceptual que involucra un acercamiento a la educación en ciencias desde la perspectiva teórica que aquí proponemos. No obstante, consideramos que es el profesor de ciencias, de manera independiente del nivel en el cual se desempeñe, el único capaz, y el que tiene el privilegio y la responsabilidad de asumir esta reflexión, y las acciones que de ella se deriven, desde la integralidad antes propuesta.

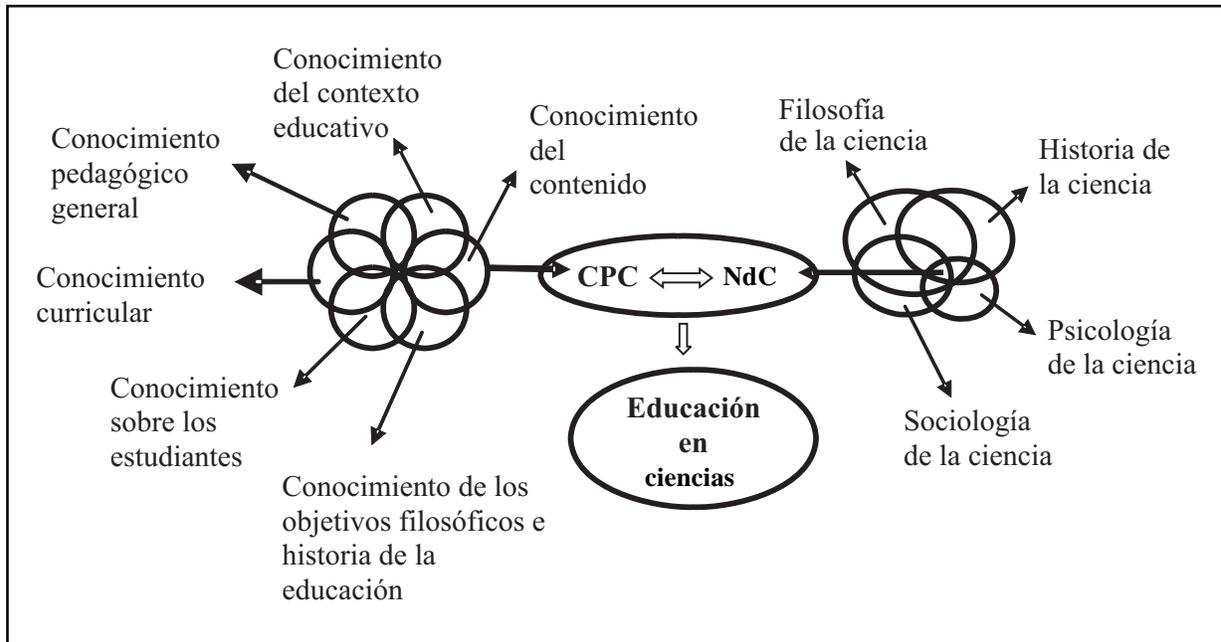


Figura 2. Integración de los dominios de la naturaleza de la ciencia y del conocimiento pedagógico del contenido como marco teórico para la educación en ciencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEVALLARD, Y., 1985, *La Transposition Didactique*, Grenoble, La pensée sauvage.

_____, 1991, *La Transposition Didactique. Du Savoir Savant au Savoir Enseigné*, Buenos Aires, Aique.

CLAXTON, G., 1984, *Vivir y aprender*, Madrid, Alianza.

CROSS, R. T., 1999, "The Public Understanding of Science: Implications for Education", *International Journal of Science Education*, vol. 21, núm. 7, pp. 699-702.

DUSCHL, R., 1995, "Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual", *Enseñanza de las ciencias*, vol. 13, núm. 1, pp. 3-14.

FENSHAM, P. y HARLEM, W., 1999, "School Science and Public Understanding of Science", *International Journal of Science Education*, vol. 21, núm. 7, pp. 755-763.

FLÓREZ, O. R., 1994, *Hacia una pedagogía del conocimiento*, Bogotá, McGraw-Hill.

GARCÍA, C. M. y LÓPEZ, Y. J., coords., 1997, *Asesoramiento curricular y organizativo en la educación*, Barcelona, Ariel.

GESS-NEWSOME, J., 1999, "Pedagogical Content Knowledge. An Introduction", en: GESS-NEWSOME, J. y LEDERMAN, N. G., eds., *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*, Dordrecht, Kluwer Academic Publisher.

GIORDAN, A. y VECCHI, G. de, 1995, *Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos*, Sevilla, Díada.

JIMÉNEZ-ALEXANDRE, M. P., 2001, "Modelos didácticos", en: PERALES, P. F. J. y CAÑAL, P., dirs., *Didáctica de las ciencias experimentales*, Marfil, Alcoy.

JORBA, J. y SANMARTÍ, N., 1994, *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua. Propuesta didáctica para el área de las ciencias de la naturaleza y matemáticas*, España, Ministerio de Educación y Cultura.

KUHN, D.; AMSEL, E. y O'LOUGHLIN, M., 1988, *The Development of Scientific Thinking Skills*, San Diego, CA., Academic Press.

MANSON, L., 1994, "Cognitive and Metacognitive Aspects in Conceptual Change by Analogy", *Instructional Science*, vol. 22, núm. 3, pp. 157-187.

McCOMAS, W., 1998, "The Role and Character of the Nature of Science in Science Education", en: McCOMAS, W. F., ed., *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*, Dordrecht/Boston/Londres, Kluwer Academic Publishers.

McCOMAS, W. y OLSON, J. K., 1998, "The Nature of Science in International Science Education Standards Documents", en: McCOMAS, W. F., ed., *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*, Dordrecht/Boston/Londres, Kluwer Academic Publishers.

MAGNUSSON S.; KRAJCIK, J. y BORKO, H., 1999, "Nature, Sources and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching", en: GESS-NEWSOME, J. y LEDERMAN, N. G., eds., *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*, Dordrecht, Kluwer Academic Publisher.

MATTHEWS, M., 1994, *Science teaching. The Role of History and Philosophy of Science*, Nueva York, Londres, Routledge.

NERSESSIAN, N., 1992, "How do Scientist think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science", en: GIÉRE, R., ed., *Cognitive models in science*, Minneapolis, University of Minnesota Press, pp. 3-44.

NUSSBAUM, J., 1989, *Classroom Conceptual Change: Philosophical Perspectives*, Londres, Taylor and Francis Ltd.

PATRONIS, T.; POTARI, D. y SPILIOYOPOULUS, V., 1999, "Student's Argumentation in Decision-making on a Socio-scientific Issue: Implications for Teaching", *International Journal of Science Education*, vol. 21, núm. 7, pp. 745-754.

PORLÁN A. R.; RIVERO, G. A. y MARTÍN DEL POZO, R., 1998, "Conocimiento profesional y epistemología de los profesores, II: estudios empíricos y conclusiones", *Enseñanza de las ciencias*, vol. 16, núm. 2, pp. 271-288.

POSNER, G.; STRIKE, K.; HEWSON, P. y GERTZOG, W., 1982, "Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change", *Science Education*, vol. 66, núm. 2, pp. 211-227.

POZO, J. I., 1999, "Sobre las relaciones entre el conocimiento cotidiano de los alumnos y el conocimiento científico: del cambio conceptual a la integración jerárquica", *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, junio.

POZO, J. I.; GÓMEZ, C. M.; LIMÓN, M. y SANZ, S. A., 1991, *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química*, Madrid, CIDE.

SHULMAN, L. S., 1986, "Those who Understand: Knowledge Growth in Teaching", *Educational Researcher*, vol. 15, núm. 2, pp. 4-14.

TAMAYO, A. O., 2001, *Evolución conceptual desde una perspectiva multidimensional. Aplicación*

al concepto de respiración, Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona.

THAGARD, P., 1992, *Conceptual Revolutions*, Princeton, Princeton University Press.

VOS, W. de y REIDING, J., 1999, "Public Understanding of Science as a Separate Subject

in Secondary School in the Netherlands", *International Journal of Science Education*, vol. 21, núm. 7, pp. 711-719.

VOSNIADOU, S., "Capturing and Modeling the Process of Conceptual Change", *Learning and Instruction*, núm. 4, pp. 45-69.

REFERENCIA

TAMAYO A., Óscar Eugenio y ORREGO C., Mary, "Aportes de la *naturaleza de la ciencia* y del *contenido pedagógico del conocimiento* para el campo conceptual de la educación en ciencias", *Revista Educación y Pedagogía*, Medellín, Universidad de Antioquia, Facultad de Educación, vol. XVII, núm. 43, (septiembre-diciembre), 2005, pp. 13-25.

Original recibido: octubre 2005

Aceptado: diciembre 2005

Se autoriza la reproducción del artículo citando la fuente y los créditos de los autores.

