

LA CONSTRUCCION DEL CONOCIMIENTO Y EL ENFOQUE CIENCIA-TECNOLOGIA-SOCIEDAD EN LA ENSEÑANZA

MIGUEL ANGEL CAMPOS HERNÁNDEZ*

Resumen

La reflexión sobre el enfoque CTS, constituye uno de los principales aspectos abordados por el artículo. Retoma diversas perspectivas educativas situadas en la búsqueda de una enseñanza más integral y significativa, se desea superar el teoricismo sin aplicaciones integradoras, y el activismo que, más que ofrecer experiencias significativas de aprendizaje, parece sólo llenar el tiempo en la clase escolar. De igual manera, se plantea el tema de la construcción del conocimiento en los enfoques de CTS y la responsabilidad de los docentes en estos procesos.

Abstract

One of the main aspects developed by the article is the reflection on STS approach. It recaptures diverse educational perspectives located in the search of a most integral and significant teaching to overcome the theoretical approach without integrative applications, and the activism that, more than to offer significant experiences of learning, it seems only to fill the time in the school class. In a same way, it develops the topic of knowledge construction in the STS approach, and the responsibility of teachers in these processes.

* Universidad Nacional Autónoma de México.

Introducción

La enseñanza de las ciencias es un importante objetivo en la escuela, objetivo que no se logra adecuadamente por una gran variedad de razones y circunstancias. Aunque se ha ampliado el acceso escolar en todos los niveles escolares, prácticamente en toda América Latina, existen diversos problemas de calidad de la enseñanza y del aprendizaje: estrategias docentes que descansan fuertemente en el activismo o en el teoricismo, así como actividades de aprendizaje que no facilitan el acceso al conocimiento y el desarrollo de habilidades. A lo anterior se une el carácter abstracto de la propia ciencia, que requiere un tratamiento pedagógico cuidadoso, a riesgo de aumentar las dificultades en lugar de disminuirlas. A la preocupación pedagógica de abordar adecuadamente la ciencia, se han sumado los avances en investigación educativa y los nuevos enfoques constructivistas, y en particular la propuesta de ubicar su enseñanza en el contexto de la experiencia del alumno, con la intención de unificar el saber científico y el saber hacer ciencia con el saber hacer y querer hacer de la tecnología como procesos experienciales; esta propuesta se conoce como el enfoque ciencia-tecnología-sociedad (CTS). Esta perspectiva ha ido generando experiencias y literatura interesantes, pero no ha permeado suficientemente para poder discutirla y evaluarla con amplitud.

En el contexto de los cambios curriculares que han tenido lugar en casi todos los países de América en la presente década, las reformas están dando atención a la ciencia como indagación, con base en conceptos integradores como el cambio, la permanencia y la organización de procesos naturales y sociales (*National Science Education Standards*, 1995). En las ciencias naturales el contenido de cada disciplina se organiza en procesos generales que permitan el entendimiento de conceptos científicos, una apreciación de cómo se obtiene el conocimiento científico, la naturaleza de la ciencia, habilidades necesarias para indagar en forma independiente acerca del mundo natural y la disposición para usar habilidades y actitudes relaciona-

das con el hacer ciencia (*id.*, 105). El sistema centralizado de la educación en algunos países latinoamericanos genera *curricula* únicos, como en el caso de México: después de casi veinte años, los nuevos planes de estudio han cambiado la organización de la enseñanza de áreas a asignaturas (*Planes y programas de estudio, Primaria*, 1993). En el caso de las ciencias naturales en educación básica (primero al sexto grados) se da atención al estudio del medio ambiente y las vivencias de los escolares, incluyendo temas como El cuerpo humano y la salud, El ambiente y su protección y Ciencia, tecnología y sociedad, con el propósito de “vincular la adquisición de conocimientos sobre el mundo natural con la formación y la práctica de actitudes y habilidades científicas” (*id.*), adquirir una visión dinámica de la naturaleza y buscar hacer un alumno analítico e indagador. Aunque hay modificaciones importantes en la educación media básica (séptimo al noveno grados) (*Planes y Programas de Estudio, Secundaria*, 1993), este nivel escolar como el de educación media superior (décimo a decimosegundo grados) tienen una fuerte orientación disciplinaria. Es claro que los cambios curriculares no garantizan un mejoramiento en la enseñanza, aunque dan una mejor base para el trabajo docente.

La perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS)

En la búsqueda por una enseñanza más integral y significativa se desea superar el teoricismo sin aplicaciones integradoras, y el activismo que, más que ofrecer experiencias significativas de aprendizaje, parece sólo llenar el tiempo en la clase escolar. Se desea comunicar la riqueza analítica de la ciencia y que se la visualice desde una perspectiva social e histórica integradora. Se desea superar concepciones equivocadas de la ciencia, a lo que no atiende adecuadamente la enseñanza actual, e incluso las agrava, como reducir el método científico a una secuencia de pasos predeterminados, suponer que se puede hacer ciencia objetivamente, sin interferencia de aspectos subjetivos, o identificar lo teórico con especulaciones, suposicio-

nes o a lo más hipótesis. Estas preocupaciones han llevado al desarrollo paulatino de diversas aproximaciones que atienden diversos procesos: por ejemplo, cambio conceptual, pensamiento crítico, reflexión sobre las características culturales y, en la presente década, la relación entre ciencia, tecnología y sociedad. A la perspectiva que intenta abordar la enseñanza desde esta relación se le conoce como Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) precisamente.

Un importante propósito de esta perspectiva es enfocar problemas de la vida real a partir del punto de vista y experiencia de los estudiantes, en lugar de empezar por conceptos y procesos, e identificar sus componentes científicos y tecnológicos, de manera que puedan investigar, analizar y aplicar conceptos y procesos a dichos problemas en situaciones reales (*Science/Technology/Society...*, 1990). Además de enseñar conceptos científicos, se trata de desarrollar habilidades creativas, actitudes favorables hacia la ciencia y aplicar el conocimiento científico en la vida diaria mediante procesos responsables de toma de decisiones. Dentro de este enfoque se pueden reconocer dos vertientes, una que complementa la enseñanza tradicional de temas provenientes de alguna disciplina científica con el apoyo de materiales que plantean problemas sociales, y una que parte de conocimientos científicos para identificar problemas sociales y tecnológicos. Por ejemplo, Heimlich (1992) sugiere estudiar problemas ambientales rompiendo con los límites establecidos por las disciplinas, cambiando métodos tradicionales de enseñanza, y permitiendo que los estudiantes integren, investiguen, interpreten, exploren, descubran y tomen decisiones sobre aspectos globales del tema. Por su parte, Garritz (1999) plantea que ambas vertientes pueden integrarse y propone estándares nacionales en la educación química entre el décimo y el decimosegundo grados. El Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos, en coincidencia con ideas que sostiene la perspectiva CTS, ha establecido estándares para todo el sistema educativo preuniversitario (preescolar al grado 12) en ese país, en todas las áreas, desde la idea de ciencia para todos: “Todos necesitamos estar en condiciones de involucrarnos inteligentemente en el dis-

curso y debate público acerca de asuntos importantes que incorporan ciencia y tecnología”, hasta el énfasis en la capacidad de tomar decisiones al respecto: “Todos requerimos usar información científica para tomar decisiones cada día” (*National Science...*, *id.*, 2).

Debido a que se trata de un abordaje reflexivo a problemas complejos, y se encuentra en una fase de desarrollo, la perspectiva CTS propone no imponer esquemas de enseñanza para cada tema y problema. En los propios estándares nacionales para Estados Unidos se plantea que, como cada disciplina, cada nivel escolar y los niveles de desarrollo psicosocial tienen sus características y requerimientos particulares, los *curricula* que se desprendan de los estándares establecidos habrán de construirse tomando en cuenta aspectos regionales, comunitarios y culturales en general (*id.*). En el mismo nivel general, para la Asociación Nacional de Profesores de Ciencia, un buen programa basado en el enfoque CTS debe ofrecer oportunidades para que los estudiantes extiendan su aprendizaje a la comunidad en que vive, adecuadas a su edad; y establece que es crucial la identificación de problemas locales, regionales, nacionales e internacionales que puedan ser estudiados con bases científicas, y planear actividades individuales y en grupo con el propósito de contribuir a su solución (*Science/...*, *id.*).

Existen numerosas modalidades educativas que intentan desarrollar habilidades relacionadas con el aprendizaje de conocimiento (de Tyler al enfoque del cambio conceptual), la capacidad de resolver problemas (de la educación por proyectos a la educación mediante resolución de problemas) y la capacidad de integrar lo aprendido y la experiencia (de la educación activa a las innovaciones de la educación por la experiencia), pero la perspectiva CTS va más allá, tratando de integrar conocimiento, experiencia y problemas sociales, llevando al estudiante a desarrollar la capacidad de tomar decisiones en el contexto de la experiencia extraescolar con bases científicas. Este componente relativo a la toma de decisiones en el contexto extraescolar es sumamente complejo y supone la integración del conoci-

miento con la experiencia y la identificación de las situaciones vividas como problemas. La intención de desarrollar esta capacidad es en realidad el componente específico a la perspectiva CTS, que lo diferencia de otros enfoques pedagógicos. Esto la hace interesante pero también muy ambicioso, ya que “persigue formar ciudadanos capaces de tomar decisiones sobre aspectos sociales con un contenido importante de ciencia y tecnología” (Garritz, 1999, 46), intentando integrar una serie de procesos cognitivos, educativos y sociales complejos en sí mismos. Desde este enfoque, el maestro requiere contar con una sólida formación en las disciplinas científicas, ya que deberá adecuar y enseñar ciencia en los primeros grados escolares, un adecuado conocimiento de problemas sociales sobre los cuales la ciencia tiene una explicación, un claro conocimiento de la relación de la ciencia con la tecnología y cómo desarrollar ésta, además de definir actividades de aprendizaje que sean generadoras de reflexión y toma de decisiones dentro y fuera de la escuela.

La construcción del conocimiento para un enfoque CTS

Para aproximarse a la enseñanza de la ciencia desde la perspectiva CTS se requiere saber y saber hacer respecto a sus tres componentes. En un sentido fundamental, saber y saber hacer son acciones sociales que producen significados para encontrar sentido a la realidad, al mundo, a la vida, a la historia. Desde el punto de vista científico, es saber y saber hacer *de cierta manera*. Algunos elementos de estos saberes científicos se aprenden a lo largo de la vida, en particular en la escuela, como acto semiótico (producción de significados) que se comparte socialmente en alguna medida y nos convierte en alfabetos científicos, *letrados*, dejando el analfabetismo respecto a la ciencia. La construcción del conocimiento para una adecuada práctica de enseñanza CTS implica establecer las condiciones para que los niños y estudiantes en general se conviertan en *letrados científicos*: saber los contenidos de la ciencia, saber hacer ciencia. Así mis-

mo, *letrados tecnológicos*: saber qué es la tecnología, entender que podemos producirla, y hacerlo. Y *letrados sociales*: saber leer la realidad como problema, acto al que se integrarán las otras dos habilidades, y saber tomar decisiones al respecto. En tanto que se vean los contenidos científicos como ideas para discutir, se generen estrategias y alternativas de solución, se reflexione acerca de todo ello, y se relacione con la experiencia (conjunto complejo de actos vividos desde los cuales se lee la realidad y la historia) se podrá hablar de la posibilidad de saber tomar decisiones.

Convertirse en letrado científico. El aprendizaje de conceptos científicos ha sido siempre difícil para los estudiantes de todos los niveles escolares. De entre los muchos factores que intervienen en esta situación, algunos están ligados a la estructura interna de la ciencia. Esta es de carácter lógico y formal, lo cual exige coherencia entre ideas, teorías, hipótesis y teorías y métodos, y también congruencia entre teoría y fenómeno, convirtiendo casi cada enunciado en una entidad muy abstracta, con significados difíciles de entender. La conceptualización que va construyendo un estudiante en el transcurso de los programas escolares muestra los efectos de la enseñanza inadecuada, la dificultad del conocimiento científico y sus hábitos personales, todo ello desarrollado en un contexto social que no necesariamente favorece la claridad y solidez de dicha conceptualización.

La adecuación de conocimiento científico, sin arriesgar su coherencia interna, a términos apropiados para escolares no es fácil. Sin embargo, hay que tomar en cuenta las *exigencias epistemológicas* de cada tema que se va a enseñar. La construcción categorial es un proceso histórico que han producido comunidades científicas específicas, estableciendo su contenido y las condiciones de validez. Por ello cada disciplina, y dentro de ella, cada tema, tiene una estructura específica. Esta situación establece las exigencias teóricas que los estudiantes requieren comprender. Por ejemplo, en el caso de la evolución, se trata de un tema abstracto que relaciona cambios ambientales y de los organismos mediante mecanismos genéticos y es neces-

sario comprender que el proceso evolutivo se estructura a partir de cuatro ideas fundamentales (Mayr, 1978; Gould, 1994): que el mundo y las especies cambian, los cambios son súbitos y graduales, existe descendencia común (número limitado de tipos morfológicos), y que lo anterior sucede mediante selección natural, variación y adaptación al medio.

Estas ideas son muy complejas debido a que cada una de ellas representa grandes categorías que se basan en amplias conceptualizaciones que describen una gran cantidad de procesos articulados, con lo cual se puede entender la variación de los seres vivos, incluyendo al ser humano. En este sentido, toda organización conceptual construida al aprender presenta una dimensión lógica, una epistemológica (temática) y otra contextual. La dimensión lógica se refiere a las características descriptivas, explicativas y ejemplificativas, que son coherentes entre sí, y hacen referencia a la forma de pensar segmentos de la realidad desde una disciplina en particular. La dimensión epistemológica tiene que ver con la validez del conocimiento, es dependiente de teoría y de la perspectiva desde la cual se pueden explicar diversos procesos (plano paradigmático), y presenta congruencia entre categorías y procesos a los que se refieren (plano empírico), todo ello logrado con ciertas formas de producirlo (plano metodológico). La dimensión contextual establece los significados y las fuentes del contenido conceptual, las formas en que se introducen a procesos de asimilación y de interacción cultural, su valoración social y la misma validez epistemológica. Por ello, toda organización conceptual siempre tendrá el referente, determinante o hipotético, de las estructuras conceptuales ya aceptadas por la comunidad científica.

Hay que tomar en cuenta que el aprendizaje de conocimiento pasa por estas dimensiones. Sin embargo, no todas las conceptualizaciones de los estudiantes son formales, y en ocasiones se combinan conceptos científicos y no científicos para explicar algún fenómeno. De hecho, cada uno de nosotros ha construido una estructura

conceptual con matices semánticos y lógicos particulares (Ausubel, 1983), de acuerdo con su propio nivel de comprensión (Sternberg, 1987). Con base en las teorías actuales de construcción de categorías, se puede decir que todo concepto científico contiene componentes descriptivos, explicativos y ejemplos; estos componentes se construyen jerárquicamente durante el aprendizaje de acuerdo con el conocimiento previo (Neisser, *id.*). Cada concepto está determinado por sus *relaciones con otras categorías*, las formas de *interacción que las personas tienen con objetos a que dichos conceptos se refieren* (Medin y Wattenmaker, 1989), y el contexto temático-situacional en condiciones histórico-sociales en que se utiliza. Desde el punto de vista del aprendizaje, este es un *nivel complejo de demanda cognitiva*. Sin este instrumental epistemológico y cognitivo no se puede pensar en integrar adecuadamente a la ciencia con la tecnología y la sociedad. De otra manera, se estarán discutiendo problemas socialmente relevantes con ideas científicas pobres o incorrectas.

Al construir conocimiento con estas características se puede ver si se comprendió conocimiento científico. En un estudio sobre el concepto de evolución de niños de sexto grado, después de haber estudiado el tema (Campos y Sánchez, 1997), se encontró que asimilaron aspectos descriptivos y ejemplificativos, pero dejaron fuera el componente explicativo. Sólo algunos mencionan de alguna forma la adaptación como parte del proceso evolutivo, aunque sin una idea clara del tiempo evolutivo o geológico en que ésta sucede. Desde el punto de vista epistemológico, se menciona la idea de descendencia común, pero aparece una concepción teleológica y predeterminista, mientras que el medio no parece tener ninguna incidencia. Es decir, el contenido epistemológico es parcialmente correcto e impreciso, con ideas teleológicas, y ausencia de variabilidad, de selección natural y de la relación de los cambios en los seres vivos, el medio y el tiempo. Tienen algunas ideas fundamentales, que establecen un potencial adecuado para futuros aprendizajes. Estos resultados concuerdan con los de otros estudios recientes acerca de los contenidos en

educación básica. Desde el punto de vista de la relación Ciencia-Sociedad, es importante establecer la vinculación entre organismo y medio ambiente, desde la cual se puede introducir la idea del cambio controlado en las especies (con lo que se establece la relación con la Tecnología). Sin embargo, si no se comprenden las explicaciones científicas sobre el cambio controlado de producción animal o vegetal para mejorar el ambiente, la salud, etc., se perderá la riqueza e incluso la validez de la discusión desde el punto de vista científico.

Esta situación respecto a un tema tan abstracto puede verse también en uno más específico, en el séptimo grado: *biomoléculas*. Este tema se enseña con el propósito proporcionar al estudiante las bases para comprender los nutrientes que debe incluir en una alimentación balanceada y para profundizar en temas de bioquímica, por lo que abre un amplio campo de conocimiento que incluye la genética y la bioquímica, y permite apreciar su importancia fundamental en la alimentación y la salud. Así, se requiere comprender que las biomoléculas están constituidas por unidades básicas (monómeros) que se repiten para formar largas cadenas carbonadas específicas de la materia viva, que los principales grupos de biomoléculas son los ácidos nucleicos, las proteínas, los lípidos y los carbohidratos, y entender los mecanismos de defensa también en el nivel molecular, por lo que su estudio es muy importante en campos como la medicina (v.g., encontrar la causa de enfermedades en términos de las estructuras moleculares).

En un estudio similar al anterior, para detectar conocimiento científico y su organización conceptual (Campos, Cortés y Gaspar, 1999), se encontró que jovencitos del séptimo grado respondieron haciendo referencia sólo a aspectos descriptivos (qué son las biomoléculas, de qué están compuestas y sus tipos) y ejemplificativos. Desde el punto de vista epistemológico se puede notar que, al faltar el componente explicativo, las respuestas son incompletas. Presentan ideas ambiguas como la de *materia*, ya que ésta incluye a la materia inorgánica, en donde no hay biomoléculas, y no mencionan la constitución química de biomoléculas ni su participación en mecanismos vitales.

Un tema también abstracto, del origen de la vida, se discute con detalle en décimoprimer grado. Su importancia educativa radica en que relaciona categorías generales como tiempo, cambio, proceso, aleatoriedad, necesidad y causalidad, con conceptos particulares de la biología como la unidad bioquímica de la vida y de lo biológico. La explicación científica acerca del origen de la vida contradice ideas previas y requiere plantearse desde una relación *epistemológica* sobre la antigüedad de la Tierra y sus constantes cambios, y la existencia de procesos químicos en forma *secuencial, causal y acumulativa* (Dickerson, 1978). En un estudio sobre este tema (Campos, Ruiz y Jiménez, 1997), se encontró que los estudiantes de ese decimoprimer grado no abordan los niveles explicativos, por lo que se generan ambigüedades epistemológicas, como el hecho de no identificar la conexión entre mecanismo reproductivo y estructura celular. Algunos superaron bloqueos epistemológicos, mostrando transformación conceptual al cambiar de respuestas equivocadas a respuestas científicas.

Estos son sólo tres ejemplos de estudios sobre conocimiento científico y organización conceptual que estamos llevando a cabo en diversos campos disciplinarios y niveles escolares. En todos ellos hemos encontrado que y casos y otros similares, en general se ha encontrado que se construye conocimiento principalmente de carácter descriptivo y ejemplificativo; las descripciones son de tipo clasificatorio pero son válidas; los ejemplos son generalmente correctos; sin embargo, no abordan los temas con elementos explicativos. Los *problemas de construcción de conocimiento en el plano explicativo* generan limitaciones en la solidez epistemológica de su tratamiento del tema; construyen *poco conocimiento, generalmente descriptivo pero bien estructurado*, con bajos niveles de abstracción y precisión. En los casos en que se estudia cambio conceptual, se observan transformaciones significativas, con diferentes niveles de comprensión. Esta situación muestra la capacidad de transformación cognoscitiva de los estudiantes, a pesar de lo abstracto y complejo de los conocimientos requeridos en su nivel escolar.

Los resultados anteriores se presentaron en condiciones de enseñanza que no están basados en el enfoque CTS, pero como ellos, existen muchos resultados en la literatura que muestran la dificultad de acceder con claridad al saber científico en el respectivo nivel escolar. Si no se tiene este saber, ¿cómo se le puede relacionar con las diversas dimensiones deseables en la enseñanza de tipo CTS? Sin entrar en detalles sobre la comprensión (Sternberg, *id.*), organización conceptual (Ausubel, *id.*), acceso al propio conocimiento previo (Prawat, 1989), la relación entre discurso y conocimiento aprendido (Frederiksen, 1983; Lemke, 1992; Levelt, 1992), o la reconstrucción del conocimiento y cambio conceptual (Chinn y Brewer, 1993; Pintrich *et al.*, 1993), procesos todos involucrados en la construcción conocimiento, es muy difícil que una persona aborde *temáticas complejas*, como lo son los problemas sociales, si cada uno de los procesos mencionados no tiene lugar en la enseñanza adecuadamente.

Además del saber científico que de suyo es complejo, se requiere trabajar en una dimensión simultánea que es el *saber indagar* a la manera científica: relaciones entre teorías, hipótesis, métodos y realidad, y lo que se puede hacer con estos elementos: no establecer certeza, sino minimizar el error, no basarse en objetividad absoluta, sino en objetividad intersubjetiva, reconocer que la racionalidad está en los científicos, no en el método (Méndez, 1994). Además, es necesario ubicar contextualmente este saber y saber indagar, para entender el papel de la ciencia como actividad social: cómo se hace y cómo se valida (cómo intervienen la comunidad científica y el método), qué representa (como comunidad científica y como conocimiento disponible), qué aporta (carácter explicativo). Es decir, se trata de ver la ciencia como un proceso sociohistórico con requisitos epistemológicos para establecer la validez de los productos que van apareciendo en dicho proceso y comprender lo que realmente puede hacer.

Convertirse en letrado tecnológico. Vivimos en una sociedad altamente tecnologizada. La tecnología es un proceso social, no sólo

un producto que utilizamos día a día. Desde el punto de vista del proceso, la tecnología es una serie de transiciones que parten de la dimensión sistémica (aspecto técnico) o científica (aspecto científico) y termina en la dimensión de utilidad, como producto (aspectos social y económico). Desde el punto de vista del producto, la tecnología es el conjunto de herramientas que extienden nuestra capacidad de relacionarnos con el mundo y con los demás. En ambos puntos de vista se puede ver que se trata de un proceso social, en donde el producto es visualizado y de hecho monitoreado desde las otras dimensiones. Por lo tanto, la tecnología es objeto, proceso, conocimiento e intenciones (Kerka, 1994). En ese sentido, debe ser considerada como “construcciones sociales, inherentemente inconclusas, continuamente revisables y significativamente inestables, al igual que cualquier otro producto cultural” (Rodríguez Sala, 1992, 220). Es decir, la tecnología es un proceso cultural, en el que los significados tienen un papel predominante en tanto que su contenido tiene una influencia casi determinante en las dimensiones mencionadas, ya que en ellos se encuentran “los planes, recetas, fórmulas, reglas e instrucciones que organizan, regulan y otorgan marcos de referencia” (Sahlins, citado por Santos, 1992, 205). Estos elementos no surgen lineal y neutralmente, sino que obedecen a la participación de “grupos públicos de interés... que se demarcan a partir de los problemas concretos que plantea /algún artefacto técnico/, de las soluciones que se propone a esos problemas, así como de los significados compartidos que atribuyen al artefacto en cuestión” (Díaz y Lee, 1992, 63-64).

Se piensa que la educación debería desarrollar la capacidad de aprender permanentemente en ese contexto (Kerka, *id.*). De hecho, un requisito para aumentar la productividad y la calidad de lo que se produce es desarrollar una base amplia de recursos humanos calificados y con posibilidades de actualización (González, 1992). Esta situación es especialmente importante, ya que en muchos de los países latinoamericanos la escolaridad no alcanza ni diez años, período en que no necesariamente se accede a equipo tecnológico, ni éste se

interpreta como objeto social. También lo es porque el nivel de desarrollo tecnológico en estos países es altamente desequilibrado por sector económico y región, y por nivel escolar cuando se ve el desarrollo tecnológico materializado instrumento didáctico, nivel escolar. Aunque la capacitación en el trabajo resuelve problemas de uso tecnológico en forma inmediata, no desarrolla una cultura tecnológica amplia.

Ante el avance tecnológico, se espera que se desarrolle una cultura tecnológica desde la educación básica. Debido a que dicho avance implica procesos de fabricación flexible, superando los esquemas rígidos de la producción en línea, se desea que los escolares se inserten en procesos flexibles de elaboración de ideas y materiales, “sobre la base de sus capacidades creadoras y no de repetición” (Abreu, 1992, 270). Es decir, para usar y crear tecnología. En resumen, se trata de entender qué es la tecnología: participar en actividades creativas, entenderlas como proceso de construcción de tecnología, aprender a utilizarla, y reflexionar sobre sus implicaciones sociales, todo ello adecuado a cada nivel escolar. En este sentido, propiciar la educación tecnológica, y por tanto una cultura tecnológica, implica integrar diversas prácticas educativas que propicien el “pensamiento crítico, aprendizaje experiencial y cooperativo, adecuación de estilos de aprendizajes, relación entre conocimiento teórico y práctico, abstracto y aplicado,... conciencia de lo multicultural, así como ética, responsabilidad y valores” (Kerka, *id.*, 2). Esto nos lleva a las relaciones sociales de la reflexión sobre la ciencia y la tecnología.

Convertirse en letrado social. Para tomar decisiones, es necesario ver los eventos, situaciones e información en general como problemas, no evitar verlos así. Dichos eventos, situaciones e información se ven como problemas en tanto se desee entenderlos y resolverlos. Para entenderlos, se requiere preguntarse qué sugiere, qué implica la información científica que se presenta en clase, por qué son así los procesos naturales a los que se refiere, si todos los fenómenos están explicados. Se requiere generar estrategias, análisis de

alternativas, explorar implicaciones de lo que se está estudiando, generar y utilizar mecanismos de evaluación del proceso y los resultados obtenidos. Estas habilidades estratégicas son particularmente necesarias cuando se tratan los problemas con el propósito de resolverlos, de encontrar alguna solución con bases científicas e implica preguntarse qué hacer, qué se resuelve con la decisión tomada, a quién beneficia y cómo.

La responsabilidad de los docentes

En el aula el profesor tiene la función de incidir directamente sobre el aprendizaje en la medida en que media, como un *traductor*, entre la experiencia histórica y científica y la experiencia cognoscitiva diferenciada de los estudiantes que tiene ante sí (Campos y Gaspar, 1996). En esta mediación el profesor introduce una conceptualización y una terminología particulares a la clase, como contexto temático en un contexto situacional (*id.*). Así, la conceptualización asimilable por parte del estudiante está mediada semánticamente por la terminología utilizada en dicho contexto. A partir de ello, los estudiantes establecen una relación de conocimiento con el objeto, como un proceso de asimilación y reconstrucción conjunta del contexto por parte de los participantes (Jacob, 1997), el cual es determinado en buena medida por la oferta de conocimiento, argumentación y aplicaciones provenientes del docente (directamente o con el uso de fuentes complementarias). Por esta razón la responsabilidad de la construcción de conocimiento en la escuela radica fundamentalmente en los docentes: además de las condiciones materiales del proceso educativo (aspectos laborales, académicos, de instalaciones y equipo, curriculares, libertad pedagógica, etc.), en el aula no hay manera de que un escolar determine la validez del conocimiento que se enseña. Podrá discutirlo si el enfoque pedagógico lo permite, propósito que tienen todos los enfoques constructivistas actuales, entre ellos el CTS, pero la responsabilidad al respecto descansa en el docente.

Por ejemplo, en el caso del tema de evolución, la conceptualización de la profesora, a partir de la cual enseñó en clase, contiene elementos descriptivos, explicativos y ejemplificativos, cubriendo algunas exigencias epistemológicas (Mayr, 1978; Gould, 1994): la descripción se refiere a los cambios en los seres vivos, aunque no precisa que dichos cambios conforman especies ni que se presentan en períodos largos o *tiempo geológico*; la explicación menciona las causas del proceso (selección natural, variabilidad y adaptación) y sus efectos (descendencia común), pero plantea la variabilidad más como plasticidad genética del individuo como respuesta al medio que a la concepción propiamente evolutiva (potencial genético de una población y su capacidad de mutación). Finalmente, el ejemplo de los seres humanos, por ser parte de los seres vivos, es correcto. Esta introducción es insuficiente y epistemológicamente imprecisa, por lo que el conocimiento categorial construido por los escolares es igualmente limitado, como ya lo habíamos mencionado.

En el caso del tema de biomoléculas, la conceptualización de la maestra contiene los componentes descriptivo (qué son las biomoléculas, de qué están compuestas y cuáles son sus tipos) y ejemplificativo. También presenta elementos explicativos: funcionamiento e importancia de las biomoléculas (qué hacen, uso de grasas, formación de proteínas, en qué intervienen las proteínas y qué transmiten los ácidos nucleicos). Aunque define a los carbohidratos y lípidos de acuerdo con los requerimientos energéticos del cuerpo y a las proteínas como la parte estructural del mismo, omite la naturaleza orgánica de este tipo de moléculas, la importancia de la estructura química del elemento carbono que las diferencia de otras moléculas no orgánicas, la repetición de unidades básicas estructurales que caracteriza a cada grupo y la relevancia del ácido desoxirribonucleico (ADN) como autoduplicador de moléculas. Nuevamente esta conceptualización está limitada en el nivel explicativo, lo que impide entender epistemológicamente los procesos biomoleculares involucrados, situación que sucedió efectivamente en el curso, como ya vimos.

En el caso del tratamiento del tema del origen de la vida se estableció una definición epistemológicamente correcta, se trabajó con detalle en clase y se revisó con el profesor después de cada sesión para asegurarnos que se estaban entendiendo los conceptos científicos. La presentación contenía referencias a todos los descriptivos, explicativos y ejemplificativos requeridos. Aunque no todos los estudiantes lograron comprensión de estos elementos, se logró transformación conceptual a pesar del carácter abstracto de la argumentación correspondiente. En este sentido, es claro que una adecuada conceptualización por parte del docente tiene un efecto positivo sobre la construcción de conocimiento por parte de los estudiantes. Aunque este tema no se relaciona en forma práctica con problemas sociales, tiene vinculaciones posibles con temas subsecuentes sobre diversidad y medio ambiente.

Un análisis de las estrategias de enseñanza en los tres casos muestra que cuando se trabaja con conceptos organizados jerárquicamente y con énfasis en aspectos importantes, se favorece la asimilación, en comparación con procedimientos basados en preguntas dirigidas que no requieren mayor procesamiento de información por parte del alumno. Con ello, se cuenta con una base conceptual mejor. Insisto en la importancia del saber y saber indagar científico, de manera que los intentos de vinculación con aspectos tan complejos como la tecnología y la sociedad tengan realmente sentido para los estudiantes y se encaminen sólidamente en el desarrollo de actitudes responsables en el proceso de toma de decisiones. Son muchos los aspectos que tienen que ver con una buena enseñanza, pero vale la pena retomar algunos asuntos planteados por la Asociación Nacional de Profesores de Ciencia de los Estados Unidos recientemente en forma de estándares para la formación docente en el nivel preuniversitario (pre-escolar al grado 12), sobre todo porque esta Asociación ha influido en alguna forma en el desarrollo de la perspectiva CTS. Por ejemplo, se establece respecto al contenido de enseñanza que el profesor debe mostrar, entre otros aspectos, “un entendimiento fuerte y flexible de las interrelaciones conceptuales más importantes del campo, que iden-

tifica cambios importantes recientes del campo y que aplica dicho entendimiento a la planeación y la enseñanza” (*NSTA Standards for Science Teacher Preparation*, 1998, 1). Uno de los requerimientos respecto a la naturaleza de la ciencia es que los profesores “sistemáticamente involucren a los estudiantes en preguntas sobre la naturaleza de la ciencia, incluyendo cambios históricos y filosóficos que han configurado el conocimiento subsecuente y la interpretación social del conocimiento y eventos diversos” (id., 7). En cuanto al contexto de la ciencia, establece que el profesor “Haga uso continuo y sustancial de problemas, asuntos y preocupaciones locales y nacionales como contexto para enseñar conceptos y procesos científicos y tecnológicos” (id., 13).

Consideraciones finales

De la discusión anterior podemos observar que el enfoque CTS retoma diversas perspectivas educativas, especialmente las constructivistas, en un proyecto educativo que intenta integrar ciencia, tecnología y sociedad. La situación actual muestra todavía deficiencias sustanciales respecto del conocimiento aprendido que forma la base que se integraría a la discusión sobre problemas tecnológicos y sociales. La actividad docente es todavía responsable de esta situación, y esperamos que con apoyos de diversa índole, desde el financiamiento hasta la libertad de tomar decisiones curriculares, mantenga la responsabilidad de enseñar, pero en forma epistemológicamente correcta, teóricamente sólida, metodológica y pedagógicamente flexible e interdisciplinaria y congruente con las realidades a que están expuestas la ciencia, la escuela y sus actores.

En este sentido, es clara la necesidad de reorientar los propósitos de la enseñanza y las estrategias docentes por lo menos en los siguientes aspectos: (a) en los planos lógico y epistemológico, para ofrecer y propiciar una aproximación al conocimiento de manera más clara, precisa y enfática sobre aspectos procesuales y explicativos,

sin dejar los aspectos descriptivos básicos, ya que en aquéllos se concentran tanto la construcción de conocimiento por parte del estudiante como su comprensión de la investigación como un proceso dinámico; (b) en el plano curricular, para establecer las conexiones necesarias para un entendimiento científico de cada tema como problema científico y social; (c) en el plano interdisciplinario, para establecer conexiones categoriales y temáticas en referencia a problemas sociales de interés y relevancia local y nacional.

Es muy importante para los docentes identificar los problemas conceptuales que presentan los estudiantes, ya que tienen incidencia en la estructuración y validez conceptual, en el desarrollo y uso de habilidades cognitivas y en las estrategias de razonamiento, procesos todos fundamentales en la construcción de conocimiento. Entender estos problemas puede ayudar a generar mejores estrategias docentes para favorecer la adecuada asimilación de los contenidos curriculares en el nivel escolar respectivo, especialmente de conceptos abstractos como casi todos los conceptos científicos. Es necesario dar atención muy cuidadosa a la organización conceptual que se presenta en clase, las fases de su presentación, partiendo de ideas básicas que tienen los escolares (conocimiento previo), operar con conceptos fundamentales y subordinados, claramente identificados en temas específicos, y relacionarlos entre sí, de manera que se activen habilidades analíticas e inferenciales de los estudiantes. Por supuesto, siendo tan abstracto este tipo de categorizaciones, es necesario ofrecerlas en un contexto de aprendizaje activo, experiencial y de trabajo grupal, de manera que se entienda adecuadamente y en forma interesante.

Con ello se puede incidir más adecuadamente en la estructuración y validez conceptual, en el desarrollo y uso de habilidades cognitivas, en las estrategias de razonamiento y en la apreciación de los aportes del conocimiento científico a problemáticas sociales.

Referencias

- Abreu, J.L.** (1992). La tercera revolución industrial y la reconfiguración de la regulación social, en M.A. Campos y R. Varela, *Prospectiva social y revolución científico-tecnológica*, México, UNAM/UAM, 265-273.
- Ausubel, D.** (1973). Aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento, en S. Elam (ed.), *Educación y estructura del conocimiento*, Buenos Aires: Ateneo, pp. 211-238.
- Campos, M.A. y Gaspar, S.** (1996). Las condiciones inmediatas de la construcción de conocimiento: un esquema para el análisis de la interacción en el aula, en M.A. Campos y R. Ruiz, (eds.), *Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de las ciencias*, México, UNAM, 27-50.
- Campos, M.A. y Sánchez, C.** (1997). Organización conceptual de niños de sexto grado de primaria acerca del concepto de evolución, Seminario de Procesos Cognoscitivos, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México
- Campos, M.A.; Cortés, L. y Gaspar, S.** (1999). Análisis de discurso de la organización lógico-conceptual de estudiantes de biología de nivel secundaria, *Revista de Mexicana de Investigación Educativa*, vol. 4, no. 7.
- Campos M.A.; Ruiz, R. y Jiménez, V.** (1997). Organización y transformación conceptual de estudiantes de bachillerato sobre el tema origen de la vida, III Seminario de Cognición, Epistemología y Enseñanza de las Ciencias, México, UNAM.
- Chinn, C. y Brewer, W.** (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction, *Review of Educational Research*, vol. 63, no. 1, 1-50.
- Díaz, R. y Lee, M.** (1992). La innovación tecnológica: dos aproximaciones teóricas en competencia, en M.A. Campos y R. Varela, *op. cit.*, México, UNAM/UAM, 55-71.
- Dickerson, R.** (1978). Chemical evolution and the origin of life, *Scientific American*, vol. 239, no. 3, 62-78.
- Frederiksen, C.** (1983). Inference in preschool children's conversations a cognitive perspective, en J. Green y C. Wallat. *Ethnography and*

- language in educational settings*, Norwood (N.J.): Ablex, pp. 303-350.
- Garritz, A.** (1999). Una propuesta de estándares nacionales para la educación científica en el bachillerato, *Desde el Sur. Humanismo y Ciencia*, año 5, núm. 15, 43-49.
- González, G.** (1992). Recursos humanos, capacitación y actualidad. Algunos planteamientos generales, en A. Chavero, *La tercera revolución industrial en México: diagnóstico e implicaciones*, México, UNAM, 150-156.
- Gould, S.** (1994). The evolution of life on earth, *Scientific American*, vol. 271, no. 4, 62-69.
- Heimlich, J.** (1992). Promoting a concern for the environment, ERIC Digest, ED368892, ERIC, Ohio.
- Jacob, E.** (1997). Context and cognition: implications for educational innovations and anthropologists, *Anthropology and Education Quarterly*, vol. 28, no. 1, 3-21.
- Kerka, S.** (1994). Life and work in a technological society, ERIC Digest 147/ED368892, ERIC, Ohio.
- Lemke, J.** (1992). *Talking science*, Norwood (NJ): Ablex.
- Levelt, W.** (1992). Accessing words in speech production: stages, processes and representations, *Cognition*, no. 42, pp. 1-22.
- Mayr, E.** (1978). Evolution, *Scientific American*, vol. 239, no. 3, 38-47.
- Medin, C. y Wattenmaker, W.** (1989). Category cohesiveness, theories and cognitive archeology, en U. Neisser (ed.), *Concepts and conceptual development*, Cambridge, Cambridge University Press, 25-62.
- Méndez, I.** (1994). Filosofía de la ciencia. Sugerencias en políticas científicas y tecnológicas, en M.A. Campos y L. Corona, *Universidad y vinculación: nuevos retos y viejos problemas*, México, UNAM, 57-67.
- Neisser, U.** (1989). From direct perception to conceptual structure, en U. Neisser (ed.), *op. cit.*, 11-23.
- Pintrich, P., Marx, R. y Boyle, R.** (1993). Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change, *Review of Educational Research*, vol. 63, no. 2, pp. 167-199.

Prawat, R. (1989). Promoting access to knowledge, strategy and disposition in students: a research synthesis, *Review of Educational Research*, vol. 59, no. 1, pp. 1-41.

Rodríguez Sala, M.L. (1992). Algunas consideraciones socioculturales para el estudio de la actividad científica en el marco de la tercera revolución industrial, en A. Chavero, *op. cit.*, 218-229.

Santos, M.J. (1992). La asimilación tecnológica como un proceso cultural, en M.A. Campos y S.R. Medina, *Política científica y revolución tecnológica en México*, México, UNAM, 203-219.

Sternberg, R. (1987). The psychology of verbal comprehension, en R. Glaser (ed.), *Advances in instructional psychology*, vol. III, Hillsdale (NJ): LEA, pp. 97-150.

National Science Education Standards, National Academy Press, Washington, 1995.

NSTA Standards for Science Teacher Preparation, National Science Teachers Association, Washington, 1998.

Planes y programas de estudio, Educación Básica. Primaria. SEP, México, 1993.

Planes y Programas de Estudio, Educación Básica. Secundaria. México, SEP, DGEM, 1993.

Science/Technology/Society: a new effort for providing appropriate science for all, National Science Teachers Association, Washington, 1990.