

Investigación en la enseñanza de la física

SALVADOR JARA*

Los estudios para mejorar la enseñanza de las ciencias y en especial de la física en nuestro país datan de fines de los años sesenta, aunque esa preocupación tuvo su inicio en otros países desde los años cincuenta, con seguridad debido a la competencia armamentista y por la conquista espacial. Desde entonces diversas evaluaciones mostraron la ineficacia de la enseñanza de la física en todos los niveles educativos y en todo el mundo. Algunos de los resultados fueron que la mayoría de los maestros, desde la educación primaria hasta la universidad, utilizaba de forma mayoritaria el dictado y ejercicios con problemas donde se destacaba el procedimiento como una receta de cocina, en muy pocas ocasiones se realizaban experimentos y menos de diez por ciento de los maestros consideraba relevante la enseñanza de las ciencias: la de la física se catalogaba desde entonces como la menos eficientemente realizada entre las ciencias, y muy pocos maestros consideraron que esta disciplina aporta información y contenidos relevantes (Avilés et al., 1987; Jara et al., 1990).

Desde principios de los años sesenta surgieron propuestas novedosas para la enseñanza de la física que integraban la naciente tecnología educativa y hacían hincapié en la crítica a la enseñanza tradicional, proponiendo modelos activos centrados en la actividad de los estudiantes.¹ Pero a pesar de las buenas intenciones de las diversas reformas llevadas a cabo en diferentes países, los intentos innovadores tuvieron un éxito muy parcial.² Se hicieron modi-

ficaciones curriculares y metodológicas para hacer la ciencia más amena, interesante y relacionada con la vida cotidiana, se puso mayor atención a la metodología científica frente a los conocimientos aislados, pero no se dieron cambios sustanciales en las actitudes de los estudiantes, ni en su desempeño en los cursos (Maddok, 1984; French, 1988; Hodson, 1988).

A partir de los trabajos de Jean Piaget se puso atención a las dificultades que tienen los estudiantes para aprender algunos conceptos físicos y la interesante relación con la problemática epistemológica y ontológica del desarrollo histórico de la ciencia misma (Piaget y García, 1984). Los problemas con que se encuentran los estudiantes cuando construyen diferentes modelos o esquemas alternativos para explicar los fenómenos naturales no son casuales, reflejan en cierta medida los obstáculos con que se ha encontrado el desarrollo científico y, a la vez, son muestras tanto de la complejidad de los fenómenos como del estudio mismo de la naturaleza.

Después de casi tres décadas de trabajo en torno a los problemas asociados con la enseñanza de la física, los resultados de las diversas investigaciones mostraron que “el problema central es el del aprendizaje en cuanto a proceso de interacción entre dos sistemas complejos: el ser humano y el ambiente natural, cultural y social” (Vicentini, 1990). La caracterización del proceso como sistema complejo se refiere a la relación no lineal entre las variables,

**Licenciatura en Ciencias Físico Matemáticas con especialidad en Física experimental; Maestría en Tecnología Educativa, Maestría en Filosofía de la Cultura y Doctorado en Filosofía. Actualmente es profesor investigador y presidente de la Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia y la Técnica.*

que da como resultado enormes diferencias cuando alguna de ellas sufre pequeñas modificaciones; es decir, se trata de sistemas donde la capacidad predictiva es débil y el número de variables, alto (Cini, 1986).

Los esquemas alternativos y cambio conceptual

Las propuestas denominadas constructivistas asumen como fundamental el hecho de que cada sujeto construye su propio conocimiento, lo que implica que no es posible transmitirlo para colocarlo en el cerebro de quienes lo aprenden como si se tratara de llenar un recipiente con agua. Desde esta perspectiva, es necesario conocer las estrategias individuales y los conocimientos previos de quien aprende para que un maestro pueda lograr el diseño eficiente de planes de clase. En estas propuestas se destaca, además, la importancia de tomar en consideración las ideas previas de los estudiantes, responsabilizarlos de su aprendizaje, proponer situaciones problemáticas y promover el diálogo y la discusión en el salón de clase (Driver, 1986).

Los estudios sobre las estrategias y los conocimientos previos de los estudiantes dieron lugar al estudio de los “esquemas alternativos o esquemas del sentido común”. Los “errores” de los alumnos pasaron a ser las mejores fuentes de información sobre los procesos cognitivos, los modelos de explicación y las estrategias que siguen los estudiantes al formular y contestar preguntas. Estos esquemas alternativos, conformados por explicaciones producto de la experiencia diaria y el sentido común, juegan un papel fundamental en la manera en que los estudiantes aprenden ciencia e interpretan resultados experimentales.

Estos trabajos sobre esquemas alternativos han mostrado que las explicaciones que los estudiantes van construyendo desde niños funcionan muy bien localmente y, por tanto, forman estructuras con tal coherencia interna que son más o menos estables.³ Se trata de esquemas inteligentes, es por ello que muchos cursos de física no tienen un efecto importante en algunos de esos esquemas y los estudiantes, aun después de haber aprobado varios cursos de física, continúan explicando

muchos fenómenos naturales con sus propios esquemas alternativos (Clement, 1982; Osborne, 1984; Haloun y Hestenes, 1985; Harlen, 1987). Pero estos modelos, al diferir de manera radical de la manera en que la ciencia explica esos fenómenos, se convierten en obstáculos para el aprendizaje posterior de los contenidos científicos.

Por una parte tenemos que los conceptos científicos adquieren un significado específico en el contexto de la ciencia, pero en el lenguaje cotidiano tienen una acepción muy distinta y son, por lo general, mucho más ambiguos. La palabra luz, por ejemplo, se asocia con energía eléctrica; fuerza con esfuerzo físico, energía, velocidad o potencia; otros ejemplos de este tipo son la confusión entre velocidad y rapidez, y el uso cotidiano de términos como trabajo y energía. Cuando éste es el único problema y simplemente no se distingue el concepto físico de la palabra cotidiana, muchas veces es suficiente hacer explícito el significado de la palabra usándola repetidas veces en diversas situaciones, dentro del ámbito de la física, hasta que sea evidente la significación que se le da en la ciencia. Por desgracia, éste no es el único problema.

Por otra parte nos encontramos con las dificultades producto de una observación insuficiente de los fenómenos, es decir, casos donde el obstáculo principal es la ausencia de referentes, de familiaridad con el fenómeno y su contexto. Niños rurales que juegan con imanes por primera vez tienen dificultades para proponer cualquier tipo de explicación, incluso confunden jalar con empujar cuando se refiere a la interacción (Molina et al., 1988; Jara, 1987). Sin embargo, después de haberse familiarizado con el material son capaces de hacer nuevas interpretaciones mucho más coherentes, aunque no sean las aceptadas desde el punto de vista de la ciencia. Cuando a estos mismos niños se les pregunta dónde creen que se forma su imagen reflejada en un espejo, contestan sin vacilar que en el plano del espejo. Admiten que las imágenes están detrás del plano de reflexión, después de observar imágenes que se superponen como fantasmas a objetos colocados detrás de un vidrio.

A lo anterior se agregan los problemas derivados de la necesaria construcción teórica. Los conceptos físicos de ninguna manera son triviales,



contienen una buena dosis de abstracción (la base es un paradigma: concepción teórica, filosófica). Así su aprendizaje es imposible a partir de inferencias simplistas y únicas. Para formular los conceptos de fuerza, trabajo y energía, es indispensable hacer generalizaciones que van mucho más allá de la experiencia cotidiana (baste recordar simplemente el esfuerzo requerido por la humanidad para establecerlos). Detrás de la interpretación newtoniana de la fuerza se encuentran justamente las leyes de Newton, mientras que detrás del concepto de fuerza, en su sentido común, está una interpretación local producto de la experiencia inmediata. Los niños acostumbran decir: “se me acabaron las fuerzas”, “no tienes fuerza”, “come para que tengas fuerzas”, “se paró, porque se le acabó la fuerza”, pensando en la fuerza como combustible, o ímpetu interno, semejante al concebido en la época medieval. Estas teorías y estrategias, desarrolladas en la cotidianidad y utilizadas para explicar los fenómenos naturales, han aparecido como constantes en estudios realizados en diferentes países con distintos tipos de individuos. El problema fundamental está en que, los estudiantes, además de asumir explicaciones distintas a las aceptadas, los procedimientos y las premisas que siguen para llegar a sus conclusiones difieren de manera sustancial de los usados en la ciencia. Sin embargo, muchas de estas explicaciones de sentido común predicen con corrección los fenómenos en situaciones específicas, no encierran inconsistencias ni contradicciones evidentes, a menos que se generalice su aplicación. La coherencia interna y la aplicación exitosa local de estas teorías generan que se arraiguen en el alumno y es muy difícil que éste las modifique por otras cuyas ventajas no le son evidentes. Lo que ocurre con frecuencia es que las dos teorías, la científica y la del sentido común, conviven respetando sus ámbitos de aplicación; la primera es utilizada en los ejemplos dados por el maestro o el libro en cuestión y la segunda en el resto de las situaciones. Los estudiantes y los maestros de niveles superiores no están exentos de esta manera ambivalente de pensar (Jara, 1989).

Podemos imaginar la estructura cognoscitiva de una persona como un rompecabezas tridimensional donde se acomoda lo aprendido. Si se desea integrar

un nuevo conocimiento y sus piezas no encajan en la estructura previa, es forzoso modificarla. En caso contrario, la estructura previa permanece tan sólida como al principio y la pieza nueva, es decir, el conocimiento nuevo, se desecha. Cuando parece que se comprende algo súbitamente, es porque se ha abordado el problema con una perspectiva diferente, se usó una estrategia nueva, se modificó la estructura interpretativa para integrar ese conocimiento nuevo.

Para que las teorías de sentido común se desechen y puedan sustituirse por otros modelos, es necesario hacer explícitas sus inconsistencias y contradicciones, pero, a la vez, el nuevo paradigma y sus alcances, en generalidad y coherencia, deben ser evidentes de tal manera que la superioridad del nuevo modelo sea reconocido. Por fortuna, los trabajos realizados hasta ahora en diferentes partes del mundo muestran, en general, que los esquemas alternativos en distintos contextos son comunes, es decir, a pesar de que en detalle existe prácticamente un esquema distinto por cada persona, éstos muestran suficientes regularidades para agruparlos en categorías.

Otras líneas de investigación han revalorado las variables de contexto y de los procesos no explícitos que sustentan el conjunto de saberes y prácticas específicas de maestros y alumnos, prácticas que determinan las estrategias tanto del quehacer docente como del aprendizaje de contenidos específicos. En el caso del estudio de la práctica docente, destaca el uso de la metodología etnográfica con la preocupación por analizar y reconstruir la lógica del proceso escolar en que se eslabonan el programa y los alumnos:

La experiencia escolar cotidiana que condiciona el carácter y sentido de lo que es posible aprender en la escuela... reconstruir lo que se enseña en la escuela, no a partir de los documentos que explicitan su “debe ser”, sino a partir del análisis de su expresión concreta y cotidiana (Rockwell, 1982).

En el caso de los estudios sobre el aprendizaje de los conceptos científicos sobresale el uso de entrevistas para la construcción de “mapeos conceptuales” o “mapas V” con el objeto de interpretar y representar las concepciones que tienen los estudiantes

El aprendizaje de la física debe permitir una visión realista y actual, dinámica, de la disciplina como ciencia no acabada



sobre la ciencia, y de entender la estructura cognoscitiva y los procesos de construcción del conocimiento que dan lugar a las interpretaciones particulares de los fenómenos naturales, para orientar el aprendizaje como cambio conceptual (Gil, 1985; Aula, Novak, Gowin, 1984; Alvarez y Risko, 1987).

También se ha llamado la atención sobre la imposibilidad de aislar las propuestas educativas del contexto y el ambiente. En el caso de los modelos donde se pretende una participación activa de los alumnos, se requiere contar con un entorno físico adecuado a la movilidad de los estudiantes y a la ejecución apropiada de los experimentos. El número de estudiantes por profesor debe ser sustancialmente menor que en las clases tradicionales, de tal forma que pueda darse una relación maestro alumno más estrecha, así como la evaluación permanente e individual que estos modelos sugieren. También es necesario que los estudiantes cuenten con suficiente información para llevar a cabo trabajos de consulta bibliográfica.

Hacia una enseñanza integral

Ha y a pesar del nuevo conocimiento adquirido acerca del proceso de aprendizaje y sus dificultades, en general y en todo el mundo no se ha logrado elevar la matrícula en las carreras de física ni parece mejorar la actitud ciudadana hacia la ciencia, lo que ha llamado la atención de investigadores y educadores hacia la revisión de los objetivos básicos de la enseñanza de la física. Uno de los consensos ha sido el reconocimiento de que, en los diferentes niveles educativos, los objetivos de la enseñanza de la física y de las ciencias, en general, deben plantearse más allá de una concepción propedéutica.

En primer lugar, el aprendizaje de la física debe permitir una visión realista y actual, dinámica, de la disciplina como ciencia no acabada, es decir, siempre en proceso de construcción y verificación. Una visión que permita comprender sus avances y perspectivas más fundamentales y a la vez otorgue la posibilidad de “disfrutarla” culturalmente, como se goza una pintura, una artesanía, una sinfonía o una danza. En segundo lugar, debe capacitar a quien la aprende para que la utilice, cuando sea

posible, en la solución y explicación de problemas y fenómenos cotidianos. En tercer lugar, debe proveer información relevante que permita a los ciudadanos formarse una actitud más crítica como consumidores de ciencia y tecnología. En cuarto lugar, debe preparar para estar en mejores condiciones de participar en forma activa en el apoyo o rechazo de programas científicos o tecnológicos y, finalmente, debe impulsar y motivar a los jóvenes para que se formen como científicos y tecnólogos.

La complejidad encontrada ha dado también lugar al consenso de que en la enseñanza de la física no se puede proponer un método único, porque tanto las condiciones iniciales (estado actual de los alumnos, teorías alternativas, situación física), como los contenidos, dictan la metodología que se ha de seguir. No es posible enseñar todo de forma experimental, ni el estudiante puede aprender todo por medio del descubrimiento.

También recientemente se ha revalorado el papel del análisis experimental en la enseñanza de la física. No se trata sólo de la enseñanza experimental de la física o de su enseñanza en el laboratorio sino de reproducir con los estudiantes la riqueza del análisis experimental. Sabemos que el papel del experimento es fundamental en las ciencias naturales, que constituye la evidencia del comportamiento del mundo natural, sin embargo, el “proceso” de la práctica experimental se considera casi siempre como poco importante, poco interesante o no problemático. Los experimentos se convierten en poderosos recursos de persuasión y convicción. Los informes experimentales, más allá de los datos y la información que proveen, son argumentos, esfuerzos por establecer una lectura particular de la naturaleza y su comportamiento (Gooding, Pinch y Schaffer, 1989), son en gran medida reportes retóricos e interpretativos, y el estudio de esta retórica puede ayudar para entender cómo los científicos han escogido sus teorías (Cantor, 1989), pero también puede ser útil en la enseñanza, como modelo de argumentación.

La práctica experimental involucra tres elementos: el proceso material, el modelo instrumental y el modelo fenomenal (Pickering, 1989). El proceso material es la acción experimental en el mundo material, preparar aparatos y, en general,



hacer funcionar el laboratorio. El modelo instrumental expresa la comprensión del experimentador de cómo funcionan los aparatos y es central para el diseño, desempeño e interpretación de los experimentos. Y el modelo fenomenal es el que permite dar sentido y significado a los resultados experimentales, es un modelo que permite comprender en forma conceptual la parte del mundo de los fenómenos que se investigan.

Los tres elementos anteriores forman parte de cualquier actividad de práctica experimental, ya sea del científico o del estudiante. Además, está el problema de cómo llegamos a creer de manera racional en un resultado experimental. Cómo distinguimos entre un resultado genuino y un resultado que es un artefacto creado por el aparato (Franklin, 1989).

Lo anterior muestra que el experimento, lejos de constituir una actividad por completo transparente y objetiva, es un proceso complejo cuyos resultados no pueden interpretarse tan fácilmente y, por tanto, no constituye una evidencia tan clara ni para el científico ni para el estudiante. Por otra parte, es común que en la enseñanza tradicional de la ciencia se muestre la evolución de los conocimientos científicos como un proceso acumulativo tal que lo verdadero permanece mientras que lo falso se desecha. En este proceso, el experimento aparece como el árbitro que, objetivamente, decide acerca de la veracidad o falsedad de las teorías. Sin embargo, en la práctica científica el proceso es mucho más complicado. Por un lado, es imposible que a partir de resultados experimentales aislados se puedan derivar conclusiones únicas. Y en el caso educativo el problema es aún mayor. Intentar que los estudiantes sean capaces de concluir teorías aceptadas a partir de experimentos *ad hoc* es más bien una idealización, tanto del proceso de enseñanza aprendizaje como del proceso mismo de investigación científica.

Durante los últimos treinta años, diversos estudios relacionados con la historia y la filosofía de las ciencias y con la educación, han destacado la importancia de tomar en consideración diversos factores que muestran una práctica científica mucho más rica, heterogénea y compleja (Stump, 1996). Como consecuencia, es cada vez más fre-

cuente admitir que la ciencia, sus leyes y sus teorías no son un conjunto de conocimientos objetivos acerca del mundo, sino que todo conocimiento involucra necesariamente otras variables sociales y culturales.

Aunque la enseñanza de la ciencia, vista únicamente como la transmisión de un cuerpo coherente y aceptado de conocimientos acerca del mundo natural, no parece depender de consideraciones filosóficas; en realidad, como proceso, involucra muy diversos factores. De por sí, la labor científica no puede aislarse del contexto social y cultural, puesto que involucra un proceso colectivo de producción de conocimientos, y el científico nunca deja de ser un humano común y corriente. De tal forma, es necesario reconsiderar el supuesto carácter absoluto de la llamada *objetividad científica*. En el caso de la enseñanza, la interdependencia con otros factores es más evidente.

También a partir de estudios de historia y filosofía de la ciencia se ha puesto de manifiesto, desde la epistemología, que existe una ruptura en la certeza de los fundamentos del conocimiento científico que destacan que las teorías científicas no son simplemente representaciones denotativas de la realidad sino construcciones en las que influyen desde la intencionalidad del individuo hasta el contexto social (Gianneto, 1985).

La ciencia, entonces, no se puede enseñar como si se tratara solamente de la transmisión o comunicación de información, ni se puede aprender ciencia como si ésta fuera un mero conjunto de conocimientos. Aprender ciencia, y enseñarla, implica tener una visión más amplia del mundo, reconocer la labor científica como una actividad humana y supone aprenderla y enseñarla evitando simplificaciones que la devalúen. Es justamente el reconocimiento de la complejidad de la actividad científica lo que nos humaniza y nos hace seres sensibles al medio que nos rodea. La ciencia nos invita no sólo a conocer sino a soñar y a crear.

A la pregunta casi clásica de si la ciencia describe *la realidad*, debemos contestar con cuidado. Afirmar que la ciencia pretende describir una realidad objetiva, independiente de la conciencia, no tiene mucho sentido, puesto que es el propio sujeto quien lo afirma y no hay manera de medir el grado posible

La labor científica no puede aislarse del contexto social y cultural, puesto que involucra un proceso colectivo de producción de conocimientos



de acercamiento entre el sujeto y lo que pretende describir. Entonces el científico, como sujeto, tiene necesariamente una percepción especial de su realidad como ser humano que habita este mundo. Esta noción particular de cada uno amplía la noción de actividad científica, pero en especial la noción de enseñanza y aprendizaje de la ciencia. Aunque reconozcamos que el mundo es uno, en la enseñanza de la ciencia no estaríamos hablando de un *mundo científico* sino de *mundos científicos*, producto de la interrelación entre la actitud epistemológica, ontológica y hasta psicológica de los estudiantes y maestros. El estudiante capta imágenes “prestadas”, por así decirlo, de seres humanos que ven o vieron al mundo de cierta manera en un presente, pasado inmediato o remoto, y las combinan en diversos niveles durante el proceso de aprendizaje; es aquí donde surgen varios problemas en la enseñanza y el aprendizaje de algunos conceptos físicos.

El uso de la historia de la ciencia en la enseñanza puede, por lo menos, enriquecer el proceso al otorgar una visión más realista del trabajo científico y permitir el análisis de situaciones problemáticas que permiten indagar las ideas previas de los estudiantes, es decir, que la historia bien puede convertirse en un instrumento pedagógico. De esta manera, la enseñanza no es ya concebida como mera acumulación de información sino como la comprensión de una complejidad de conceptos y su función en la explicación del mundo natural. Thomas Kuhn ha señalado que existen por lo menos cinco aspectos diferentes involucrados en el aprendizaje de la física: la terminología o el vocabulario previos, los ejemplos tipo, las situaciones tradicionales sobre el uso de los conceptos, la interdependencia de los términos y los conceptos y el uso de diferentes “rutas” en la solución de problemas (Kuhn, 2000). Y en todos estos aspectos, el aprendizaje no se da sino a través de la práctica, el uso y la familiaridad con situaciones diversas.

Física y humanidades

La enseñanza de la física y, en general de las ciencias, debe ser capaz de mostrar que uno de los grandes logros de la ciencia ha sido el de establecer procedimientos que hoy nos permiten discriminar

el conocimiento y darnos cuenta de que en el gran almacén que conforma lo que consideramos cierto, podemos distinguir entre aquello que afirmamos porque tenemos razones, argumentos y evidencias válidas para nosotros y para los demás, que nos han llevado a concluirlo; y lo que creemos sin contar con una base suficiente para convencer a otros, pero que a nosotros nos basta. Ésta es, aunque sea de una manera muy simple, la diferencia entre algo en lo que creemos y lo que decimos conocer. Entonces decimos que una afirmación es conocimiento cuando contamos con evidencia suficiente para tal afirmación, es decir, contamos con elementos para convencer y, en cambio, una creencia es sólo algo que nos parece cierto sin que en realidad tengamos pruebas para afirmarlo y sólo podemos defenderlo porque es nuestro punto de vista o nuestra opinión.

El éxito y la confianza excesiva de la ciencia, por una parte, y la ignorancia científica, por la otra, han propiciado su idealización, que va desde una apología hasta una condena. En lo que podríamos llamar la historia tradicional de la ciencia se nos ha mostrado de manera simplista que los conocimientos científicos evolucionan y se acumulan de manera que los falsos se desechan y los verdaderos se mantienen, usando como guía el método científico y como árbitro el experimento. Las consecuencias de esta imagen en la enseñanza de las ciencias son múltiples pero destacan tres. En primer lugar, la identificación de conocimiento científico con conocimiento verdadero, que niega el proceso de transformación de la ciencia y su dinámica. En segundo lugar, se idealiza al científico como genio que sólo descubre, devela la verdad. Y en tercer lugar, se simplifica y reduce el proceso experimental.

Si la ciencia no es un mero conjunto de conocimientos verdaderos, no es posible que su enseñanza se conciba sólo como la transmisión o comunicación de información. El aprendizaje de las ciencias implica la comprensión de cierto tipo de racionalidad contextualizada que involucra un mundo mucho más amplio que la información científica aislada.

La separación radical tradicional de lo objetivo y lo subjetivo implica dos mundos separados, dos realidades, dos simplificaciones, pero el cono-

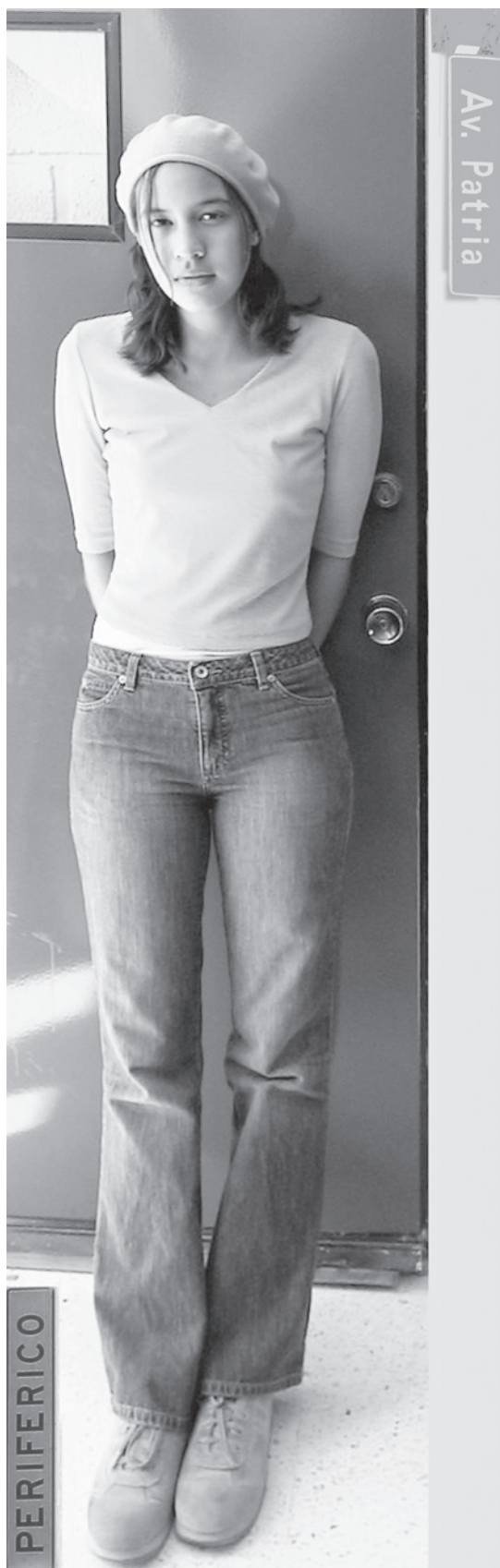


cimiento científico es siempre una mezcla social natural porque se trata de una actividad social acerca del mundo natural; concebir que la realidad es siempre esa mezcla hace del mundo un lugar más interesante. Sin embargo, no se trata de asumir una postura empirista ni idealista, sino un tipo de realismo que no confunda lo que decimos del mundo con el mundo mismo, que reconozca que existe un mundo con mecanismos y estructuras que dan lugar a los fenómenos (objetos intransitivos del conocimiento), pero que el conocimiento acerca de ellos, leyes y teorías, es una actividad social (objetos transitivos del conocimiento) (Bhascar, 1997). Asumir este realismo en la educación implica que al reconocer que el mundo y sus mecanismos y fenómenos no son lo mismo que las teorías, se debe también reconocer el papel activo del estudiante como quien re-construye los objetos transitivos del conocimiento.

En este sentido, nuevas propuestas plantean la importancia de que en los cursos de física no sólo se consideren los contenidos sino también se promueva el desarrollo ético, cognitivo y estético, y a éste respecto se ha destacado el uso de experimentos históricos en la enseñanza de la física, que permite a los estudiantes tener experiencias tanto intelectuales como sensitivas, lo que hace que el proceso de aprendizaje vaya más lejos de la mera actividad intelectual y se convierta también en una experiencia corporal (Hottecke, 2000).

La excesiva enseñanza teórica de la física es percibida como peligro potencial porque restringe esa actividad a la esfera intelectual y deja de lado la experiencia integral del laboratorio y de la complejidad del trabajo experimental que permite al estudiante el desarrollo de otras habilidades; además al dejar de lado la enseñanza en el laboratorio, se olvida también la naturaleza de la física como ciencia experimental y el papel crucial del experimento.

La historia y la filosofía de las ciencias son elementos que ayudan a la comprensión del concepto de teoría científica y de la idea de lo que es la ciencia misma, como un proceso, una actividad humana desarrollada en contextos específicos y con limitaciones, y no sólo como un conjunto de conocimientos. Su estudio permite apreciar, además,



Fragmento de la serie Este – Oeste Guadalupe





Fragmento de la serie Este – Oeste Guadalajara

cómo la ciencia no es un proceso sólo individual sino social.

El papel de la historia en la enseñanza es heurístico, otorga al estudiante una mejor visión de la lógica de la ciencia y al analizar estudios de caso, éste se enfrenta a aquellos aspectos donde la lógica y la sistematización no se aplican (Elkana, 2000). Además, como ya se mencionó, muchos de los obstáculos epistemológicos encontrados históricamente, coinciden con las dificultades de los estudiantes para superar ciertos esquemas alternativos y muestran los cambios permanentes y tormentosos del desarrollo de los conceptos físicos (Galili y Hazan, 2001).

Consideraciones finales

A pesar de la relativa juventud del campo de la investigación en la enseñanza de la física, los productos han sido notables pero, por desgracia, no han tenido aún el efecto esperado en la cultura en general ni en las aulas. Ha quedado claro que los problemas planteados en la enseñanza de la física son complejos y se necesita tener un conocimiento que va más allá de lo que requiere la física como disciplina aislada. Es necesario un conocimiento interdisciplinario que incluya la ciencia cognitiva, la comunicación, la historia y la filosofía.

Los temas de actualidad en el campo pueden observarse en la reciente Escuela Internacional Enrico Fermi, dedicada a la investigación en enseñanza de la física, celebrada en Italia durante el mes de julio de 2003 (Proceedings, 2003). Es posible reunir la temática tratada en las siguientes áreas: desarrollo de modelos para el aprendizaje de la física, contenidos de física para la sociedad del futuro, estrategias de enseñanza, el papel de la experimentación, la función cultural de la física, y los problemas relacionados con la evaluación.

Dentro de estos temas destacan dos cuestiones que les permean. Por una parte el reconocimiento de que menos es más, es decir que es necesario disminuir el acento en la cantidad de los contenidos y dar prioridad a la calidad. Y por otra parte, que así como la interdisciplinariedad es una característica de las nuevas propuestas, también lo es el uso de



diversas metodologías, desde la discusión platónica grupal, hasta un gran impulso a las simulaciones por computadora que permiten observar gráficos en tiempo real, ayudan en la interpretación de datos, familiarizan al estudiante con elementos iconográficos y facilitan la comparación entre varios experimentos, e incluso simulan experimentos históricos.

Finalmente, más allá de la física, el impresionante avance científico de los últimos años nos plantea retos imponentes. Sujetos a un bombardeo permanente de información de baja calidad a enorme velocidad, nos convertimos en presas fáciles de la charlatanería y de una especie de incomprendibilidad científica. Basta revisar los periódicos o escuchar los noticieros para encontrar ejemplos de supuesta información científica donde conviven clonaciones con ovnis, sectas religiosas con ideales políticos o medicinas alternativas con cirugías láser.

El avance de la ciencia y la tecnología ha aportado, en los últimos años, satisfactores impenables hasta hace sólo unas décadas. Los ejemplos abundan desde las computadoras hasta las nuevas técnicas médicas. Pero no todo ha sido miel sobre hojuelas, hay efectos de los espectaculares avances de la ciencia que no han sido tan favorables sino que, paradójicamente, han contribuido a una devaluación de la objetividad científica. La nueva complejidad de la ciencia, aunada a la mala calidad educativa, se ha prestado para justificar la charlatanería de cuestiones místicas y esotéricas que, sin duda, deben dejar buenas ganancias a los mercaderes.

Notas

1. Las ideas acerca de la educación para la acción, que parten de John Dewey, llegan a México en el decenio de los veinte. Dos referencias sobre el tema: "Distancia y acercamiento de la escuela de la acción", 1923, y "El modelo de la educación básica", 1988, *El Maestro*, año VII, octava época, núm. 45, octubre de 1988, p.2.
2. Las dificultades que se presentan al poner en práctica cualquier estrategia nueva no son exclusivas de nuestro país o del tercer mundo, baste citar los

casos de programas tan ambiciosos como el PSSC, en Estados Unidos, y el proyecto Nuffield en Gran Bretaña.

3. Existe ya una bibliografía muy extensa al respecto, fuentes recientes son las Memorias del *Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, que se celebró en Ithaca, Nueva York, Estados Unidos en Agosto 1993, o las Memorias del Octavo Simposio de la *International Organization for Science and Technology Education*, celebrado en Edmonton, Canadá en agosto de 1996. Más recientemente una de las publicaciones que hace mayor hincapié en la relación entre los esquemas alternativos y la historia y filosofía de las ciencias es *Science and Education*, Editada por Michael R. Matthews de la University of New South Wales en Sidney, Australia.

Referencias

- Álvarez, C. M., Risko, V. J. (1987, 26-29 de Julio). Using vee diagrams to clarify third-grade students misconceptions during a science experiment. *Proceedings of the second international seminar misconceptions and educational strategies in science and mathematics* (pp. 6-14). Ithaca, Nueva York: Cornell University.
- Ault, C.R. Jr., Novak, J.D. y Gowin, D.B. (1984). Constructing vee Maps for Clinical Interviews on Molecule Concepts. *Science Education*, 4 (68), 441-462.
- Avilés, Q.M.V. et al. (1987). Diagnóstico de la enseñanza de las ciencias naturales en la escuela primaria en el estado de Michoacán. *Cuadernos del cidem*, 2, 60.
- Bhaskar, R. (1997). *A Realist Theory of Science*, Londres, Inglaterra: Verso.
- Cantor, G. (1989). En D. Gooding, P. Trevor y S. Schaffer (eds.), *The Uses of Experiment* (p. 161). Cambridge: Cambridge University Press.
- Cini, M. (1988). Dalla cultura del macchinismo alla cultura della complexita. *Epsilon*, 1, 6-11.
- Clement, J. (1982). Students' Preconceptions in Introductory Mechanics. *Am J. Phys.* 50, 66 - 71.
- Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 3-15.
- Elkana, Y. (2000). Science, Philosophy of Science and Science Teaching. *Science & Education*, 9,



- 463–485.
- Franklin, A. (1989). En D. Gooding, P. Trevor y S. Schaffer (Eds.), *The Uses of Experiment* (p. 437). Cambridge: Cambridge University Press.
- French, A.P. (1986, septiembre). Setting New Directions in Physics Teaching: pssc 30 Years Later. *Physics Today*, 9, 30–34.
- Galili I. y Hazan, A. (2001). Experts' Views on Using History and Philosophy of Science in the Practice of Physics Instruction. *Science & Education*, 10, 345–367.
- Gianneto, E. (1985). Il crollo del concetto di spazio-tempo negli sviluppi della física quantistica. En G. Boniolo (ed.), *Aspetti epistemologici dello spazio e del tempo* (pp. 169-224). Roma: Borla.
- Gil, P.D. (1985). El futuro de la enseñanza de las ciencias: algunas implicaciones de la investigación educativa. *Revista de Educación*, 278, 27–38.
- Gooding, D., Trevor P. y Schaffer, S. (1989). *The Uses of Experiment* (cap. XVIII, p.5). Cambridge: Cambridge University Press.
- Halloun, I.A. y D. Hestenes (1985a). The initial knowledge state of college physics students. *Am. J. Phys.* 11, 1043 - 1055.
- Hodson, D. (1988). Toward a Philosophically More Valid Science Curriculum. *Science & Education*, 1 (72), 19–40.
- Hottecke, D. (2000). How and What Can We Learn From Replicating Historical Experiments? A Case Study. *Science & Education*, 9, 343–362.
- Jara, S. (1987). Hacia una educación científica. *Ciencia y Desarrollo*, 72, 67-75.
- Jara, S. (1989). La Física en los Libros de Texto de Educación Primaria. *Revista Mexicana de Física*, 35 (1), 110–122.
- Jara, S. (1990). La enseñanza de la física en primaria (Un estudio del sexto grado en el Estado de Michoacán). *Revista Mexicana de Física*, 36 (3), 431–445.
- Jara, S. et al. (1989). La Física en Preparatoria. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Física*, 3 (3), 97–101.
- Kuhn, T. (2000). On Learning Physics. *Science & Education*, 9 (1-2), 11-19.
- Maddok, M. (1984, 10-14 de diciembre). Developing Better Science Education Programs: Culture, Alienation and Attitudes. En Gallagher y Dawson (Eds.), *Science Education & Cultural Environments in the Americas* (informe del Seminario Interamericano sobre la Educación de la Ciencia, pp. 40-47). Panamá.
- Molina, I. et al. (1988). *Los niños y las ciencias naturales* (p. 80). México: cidem.
- Osborne, R. (1984). *Phys. Teach*, 8, 504.
- Piaget, J. y García, R. (1984). *Psicogénesis e historia de las ciencias*. México: Siglo xxi.
- Pickering, A. (1989). En D. Gooding, P. Trevor y S. Schaffer (Eds.), *The Uses of Experiment* (p. 275). Cambridge: Cambridge University Press.
- Proceedings of the Internacional School of Physics Enrico Fermi, (2003). *Research on Physics Education*. Bologna, Italia: Società Italiana di Fisica.
- Rockwell, E. (1982). De huellas, bardas y veredas: una historia cotidiana en la escuela. *Cuadernos de Investigación Educativa*, 3, 93–94.
- Stump, D. (1996). From Epistemology and Metaphysics to Concrete Connections. En P. Galison y D. J. Stump (Eds.), *The Disunity of Science* (p. 263). Stanford: Stanford University Press.
- Vicentini, M. M. (1990). *Estado de la investigación sobre esquemas de conocimiento común, alternativos a los esquemas de conocimiento científico* [mimeo]. Roma, Italia: Departamento de Física, Universidad La Sapienza.
- W. Harlen, (ed.) (1987). *Primary Science Review* 3, 12.