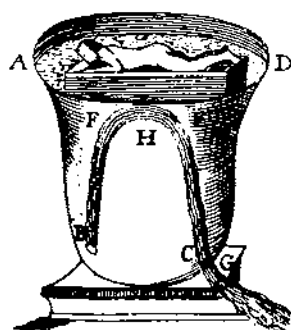


INTERCAMBIOS, COMENTARIOS



Y CRÍTICAS

En esta sección intentamos recoger, por una parte, los comentarios y críticas sobre los trabajos aparecidos, así como sugerencias de cualquier tipo que puedan contribuir a una mejora de la revista.

En segundo lugar pretendemos que estas páginas sirvan para dar a conocer la existencia de grupos de trabajo y facilitar así los contactos e intercambios.

También pensamos que puede ser de interés el conocimiento de las líneas de trabajo seguidas por los distintos grupos, que pueden enviar breves resúmenes de sus actividades.

Por último contemplamos la posibilidad de favorecer los intercambios objeto de esta sección con la publicación de algunas entrevistas y mesas redondas.

DEBATES

SOBRE LAS CONCEPCIONES ESPONTÁNEAS EN LOS PRIMEROS CURSOS DE FÍSICA EN LA UNIVERSIDAD

Maiztegui, A. Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Introducción

Los trabajos sobre «preconceptos» realizados en los últimos diez años, aproximadamente, son muy valiosos por varias razones. Una de ellas es que han despertado interés en un gran número de docentes y han motivado su reflexión sobre sus formas de enseñanza con los consiguientes beneficios para la enseñanza-aprendizaje.

Otra de las razones para valorizar el conjunto de investigaciones sobre este tema y justificar largamente el esfuerzo realizado es que sus resultados arrojan intensa luz sobre varios importantes problemas de educación en la física, como la *selección de contenidos*, el empleo del *tiempo disponible* y, particularmente sobre el momento actual, caracterizado por constituir una transición entre metodologías diferentes. En una de ellas, prevalece, como objetivo de la educación, la transmisión y adquisición de conocimientos científicos; en otra, el criterio de utilizar las virtudes educativas de los contenidos enseñados por su valor como «herramientas para educar» prevalece por encima de la adquisición de ese contenido por parte del alumno.

El idioma de la física. Todos sabemos que en las ciencias, y en la física en

particular, se usan palabras que también se usan en familia y en la calle, en la vida diaria, pero con otros significados. En 1946, en nuestro primer texto para la educación secundaria (Sábato y Maiztegui 1946), decíamos: «La palabra *trabajo* es empleada de diferentes maneras. Un estudiante dice: «Me costó mucho trabajo aprender la lección de inglés»; en un período se lee: «...los conflictos del capital y el *trabajo*». En física, la palabra *trabajo* se emplea con un sentido muy diferente y mucho más restringido».

Richard Feynman en su maravilloso libro de divulgación QED (1988), dice en la página 10: «A menudo los físicos usan palabras ordinarias de una manera divertida. A menudo los físicos usan palabras tales como «trabajo», o «acción», o «energía», o aun como ustedes verán, «luz», con algún propósito técnico. En-

tonces, cuando yo hablo de «trabajo» en física, no quiero decir la misma cosa que cuando hablo sobre trabajo en la calle. Durante este cursillo, yo podría usar una de estas palabras sin advertir que está siendo usada de esa manera inusual. Haré todo lo posible para contenerme —esa es mi tarea—, pero es un error fácil de cometer» (Feynman 1988).

Como muchas veces ocurre con las cosas importantes y simples, es fácil no advertir el profundo significado educativo de las palabras de Feynman. Por eso las transcribo y las enfatizo. Y porque, además, ellas representan el meollo de lo que quiero decir: que lo que, a mi entender, han revelado las investigaciones sobre «preconceptos» es la enorme e inadvertida importancia didáctica de «los conceptos elementales pero fundamentales» (McDermott 1984).

«Varían las recomendaciones sobre la manera en que el entendimiento y el lenguaje de todos los días de los estudiantes deberían relacionarse con lo que es enseñado en las clases de Física. Algunos sugieren que necesitamos tener en cuenta lo que entienden los chicos, calificándolo y modificándolo progresivamente para acomodarlo más a un punto de vista científico. (...) Los chicos no sólo deben apreciar y usar palabras tales como trabajo y energía en su sentido de todos los días, sino que ellos necesitan apreciar sus significados científicos y ser capaces de distinguir los significados en los dos dominios» (Driver y Warrington 1985).

Mayor énfasis aún usa Arons en la Conferencia Interamericana de Oaxtepec al decir: «Las dificultades están arraigadas en consecuencias que parecen lógicas del orden y de la experiencia, y están vigorosamente reforzadas por el insistente uso (o, en verdad, mal uso) de palabras traídas del lenguaje diario (inercia, masa, fuerza, momentum, energía, potencia, resistencia) antes de que a estas palabras se les haya dado un significado operacional preciso en física. El persistente mal uso de términos en el propio pensamiento de uno mismo y al comunicarse con otros es un obstáculo mayor para dejar a un lado las preconcepciones primitivas (Arons 1988).

Como puede observar el lector, no han faltado (y desde hace muchos años) voces de alarma en cuanto al lenguaje que el docente debe usar y debe crear en su comunicación con los estudiantes para construir el «idioma de la física». Pero aparentemente el mensaje no «llega a la mayoría de los docentes» (¿será un preconcepto entre nosotros, los docentes?)

Mi interpretación de las grandes dificultades reveladas por las investigaciones

sobre «preconceptos» es que no se ha valorado *suficientemente* el peligro de usar indiscriminadamente palabras fundamentales como «trabajo», «energía», «impulso», a pesar de reiterados llamados de atención. Y, para fundamentar mi propuesta, elijo la palabra «fuerza» y me limito a ella con el criterio de que lo que diga sobre esta palabra es aplicable, adaptándolo, a lo que se diga sobre otras palabras que designan conceptos fundamentales.

En el lenguaje cotidiano son clarísimas las expresiones: «ese motor no tiene fuerza»; «al llegar al punto más alto, la piedra se quedó sin fuerza»; etc.

Pero esto viene de lejos, como lo muestra el gran poeta español Jorge Manrique (1440-1479) en sus coplas «Qué cosa es el amor»¹ cuyos primeros versos no resisto la tentación de ofrecer al lector:

Es amor fuerza tan fuerte
que fuerza toda razón,
una fuerza de tal suerte
que todo seso convierte
en su fuerza y afición;
una porfía forzosa
que no se puede vencer,
cuya fuerza porfiosa
hazemos más poderosa
queriéndonos defender

Las investigaciones en el campo mencionado revelan la necesidad, o al menos la conveniencia, de que el docente desarrolle una estrategia para evitar confusiones que erosionan la construcción de conceptos. Esto muestra que el aprendizaje de la física tiene algo del aprendizaje de idiomas.

¹ De «Jorge Manrique», edición de Vicente Beltrán Papió, de la Universidad de Barcelona, Barcelona 1988.

Los objetivos de la educación. De los resultados de las investigaciones, puede interpretarse que es apropiado un cambio en la prioridad de los objetivos de la enseñanza-aprendizaje, desplazando su centro de interés desde la *enunciación* de contenidos (definiciones, teoremas, leyes) y la ejercitación con problemas *numéricos*, hacia la *construcción* de esas definiciones, teoremas, etc., mediante la discusión conceptual de los mismos; y hacia una ejercitación con análisis cualitativos de situaciones físicas problemáticas (sin abandonar los ejercicios numéricos).

Con este criterio puede remediarse la situación descrita acertadamente por Lillian McDermott cuando dice: «...una habilidad de los estudiantes para definir apropiadamente un concepto y aplicarlo en problemas estándar de física no implica necesariamente que el estudiante pueda

aplicar correctamente ese concepto a una situación física verdadera» (McDermott 1984); afirmación que considero acertada y que me sirve de base para pensar que es necesario cambiar el «estándar» de los problemas que se usan para ejercitar las enseñanzas y construir los conocimientos. Efectivamente los problemas «estándar», en su mayoría, son más bien ejercicios de reemplazar en una fórmula las letras que representan magnitudes por cantidades numéricas ofrecidas como datos. Y cuidado que falte o sobre un dato, pues se ha acostumbrado al estudiante, desde cursos anteriores, a presuponer que en el enunciado de un problema no hay carencia ni exceso de información.

Lillian sigue más adelante: «De investigaciones tales como las descritas en este artículo, resulta cada vez más claro que muchos estudiantes emergen de sus estudios de física sin una comprensión funcional de algunos conceptos elementales pero fundamentales.»

Creo que esa observación es sagaz y acertada; y ello me conduce a proponer que reflexionemos sobre si el objetivo principal de la enseñanza de la física, no declarado pero sí perseguido, es el «transmitir información» sobre fenómenos naturales cuya descripción es requerida después para aprobar un curso, con la misma forma en la que fue entregada. El énfasis de la (enseñanza-aprendizaje) está puesto actualmente en definir apropiadamente un concepto aplicado en problemas físicos «estándar» como dice McDermott, y no está puesto en la formación de conceptos simples y fundamentales. El concepto de «fuerza» es, a mi juicio, paradigmático: 1) se usa la palabra *fuerza* en física sin dejar a un lado sus significados en la vida diaria no científica; 2) se usa el concepto de fuerza y sus características esenciales sin haber presentado en tal forma que asegure su incorporación correcta al acervo intelectual del estudiante; 3) creyendo transmitida la información científica, el docente avanza con el programa del curso sin advertir que lo hace como sobre arenas movedizas. Se supone *recibida* la información e incorporada al cuerpo de conocimientos del estudiante y se la refuerza con demostraciones matemáticas y aplicaciones numéricas («Standard Physical problems»).

En su excelente artículo, McDermott llama la atención más adelante sobre la visible falla de las universidades en ayudar a los docentes secundarios (*precollege teachers*) a desarrollar una comprensión conceptual sólida de los conocimientos que ellos enseñan.

Una propuesta. La reflexión que proponemos se apoya en las siguientes bases:

1) La física (en verdad todas las ciencias) tienen su propio idioma; y para entender bien, hay que aprender ese idioma.

Cuando dos idiomas usan una misma palabra con dos significados diferentes, la confusión es inevitable y la comunicación de ideas es incierta. Dos ejemplos: *actual* en inglés y en castellano; *exquisito* en portugués y en castellano.

2) La metodología para aprender el «idioma» de la física y establecer una comunicación entre el estudiante y el docente no debe usar permanentemente sino *oportunistamente* la «transmisión» de conocimientos, y sí usar permanentemente *actividades* diseñadas para que el estudiante, con la guía del docente, construya sus conocimientos hasta incorporarlos gradualmente a su propio cuerpo de conocimientos.

3) El énfasis del proceso de enseñanza-aprendizaje ha de estar en los entes fundamentales creados por los físicos para describir la naturaleza, hasta lograr su *comprensión conceptual sólida*.

4) Los puntos anteriores exigen, para su logro, una revisión de los enciclopédicos planes y programas actuales, para limitarlos a «lo posible» cumpliendo las condiciones básicas anteriores. Desarrollar un curso sin cumplir íntegramente su programa es dar mala educación, pues se ejemplifica así que da lo mismo cumplir cabalmente una tarea programada que dejarla inconclusa. Creo que no es exagerada una propuesta que presenté en Santiago de Chile en 1968 para reducir los contenidos de los clásicos programas a la mitad, por lo menos.

El concepto de fuerza

A continuación expongo lineamientos para presentar el concepto de fuerza en un curso preuniversitario o universitario inicial, apoyándose en los criterios descritos.

1. Necesidad de construir un idioma propio de la física

Frases comunes en el lenguaje cotidiano como: un hombre fornido «*tiene mucha fuerza*», o un niño «*tiene poca fuerza*», o un proyectil venía con *mucha fuerza*, etc. son útiles para iniciar una discusión.

Una serie de ejemplos bien pensados puede conducir eficientemente a que el alumno comprenda que una fuerza se aplica a un cuerpo, o que *se ejerce sobre* un cuerpo, dejando a un lado expresiones como: «tener fuerza», o «hacer fuerza», o «venir con fuerza».

2. Cómo reconocer que sobre un cuerpo está aplicada una fuerza

a) Una fuerza produce una *deformación* del cuerpo sobre el cual está aplicada. Una conversación con ejemplos extremos será una buena iniciación para construir el concepto: un resorte elástico tiene la propiedad de deformarse, aprovechable para medir la intensidad de la fuerza aplicada. Siempre un cuerpo se deforma cuando se le aplica una fuerza —mucho o poco—, aunque la deformación no se advierte fácilmente cuando es pequeña comparada con las dimensiones del cuerpo. En estos casos se considera que el cuerpo es *rígido*, como un bloque de acero que soporta el peso de una mosca, aunque en verdad la deformación exista.

b) Una fuerza produce un *cambio* en las magnitudes que describen el movimiento de un cuerpo. ¿Cuál de ellas usar para expresar el cambio y así reconocer la aplicación de una fuerza? ¿La forma de su trayectoria? ¿La velocidad del cuerpo?

Seguramente una conversación analizando este tema no conducirá, desde la primera vez que se plantee, a conclusiones definitivas —que tendrán que esperar a las leyes de la dinámica de Newton—, pero prepararán el entendimiento para reconocer que se está frente a un problema que, tarde o temprano, deberá resolverse. No hay que asustarse porque el conocimiento no quede completamente aprendido la primera vez. Lo educativo es el esfuerzo realizado para adquirirlo; y ese esfuerzo generalmente no es breve.

3. El origen de las fuerzas

Es necesario que en la construcción del concepto de fuerza estén presentes dos elementos:

a) Para que exista una fuerza aplicada a un cuerpo, es imprescindible la presencia de otro cuerpo que la ejerza; la naturaleza es tal que las fuerzas son el resultado de *interacciones* entre cuerpos. Siempre las fuerzas se originan *a pares*, pues si un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro cuerpo, éste ejerce otra fuerza sobre aquél.

Este hecho físico de las interacciones no es empleado suficientemente, a mi entender, como una observación para construir las características propias e identificatorias de una fuerza.

b) Una fuerza es consecuencia de un fenómeno de la *naturaleza*. Y si se dejan a un lado las fuerzas nucleares (como inicialmente conviene dejar), la naturaleza sólo nos ofrece la *gravitación*, la *electricidad* y el *magnetismo* como fenómenos que originan fuerzas. *No hay más*. Entonces, si se examina un cuerpo

para reconocer si hay fuerzas aplicadas sobre él o no, hay que buscar: 1) *que otro cuerpo la ejerza*; 2) *cuál es el fenómeno natural que interviene*.

Reflexiones finales

Estas conversaciones formativas ofrecen, a mi juicio, una educación mediante la física, por lo menos igual, y seguramente mejor, que lo que hemos venido haciendo en las primeras clases de nuestros cursos cuando procedemos como si de entrada el alumno ya tuviera construido el concepto de fuerza que queremos enseñarle a emplear.

Además, no excitar la imaginación de los jóvenes para que adviertan los maravillosos milagros de la naturaleza, como son las fuerzas gravitatorias, o eléctricas, o magnéticas, y más tarde las nucleares (milagros que la cotidianidad disimula pues los vemos producir sin prestarles atención), es un «pecado de esa didáctica».

¿Cuántas veces hemos leído, comentado y disfrutado la anécdota de Einstein niño maravillado por las propiedades de un imán?

La enseñanza de una ciencia consiste en una lenta y progresiva educación de niños y jóvenes para que, al enfrentarse a una situación problemática, actúen frente a ella elaborando una solución racional, *coherente*, y de acuerdo con *verdades científicas* (principios, leyes y teorías) previamente aceptadas con plena conciencia de que:

a) éstas han de ser respetadas por la solución construida como respuesta al problema;

b) en cada paso de un razonamiento para elaborar una solución, inexorablemente debe explicitarse la previa verdad científica sobre la cual se apoya.

Una cruda comparación: la iniciación en la educación en la ciencia debe caracterizarse por el abandono definitivo de la respuesta infantil «¡porque sí!», o de la respuesta juvenil «...porque me pareció que era así!». En cambio, esa iniciación en la ciencia ha de estar caracterizada por respuestas donde la palabra *porque* sea seguida por la (previa) verdad científica que fundamenta la afirmación; o por el descubrimiento de que se enfrenta a la necesidad de indagar sobre si esa verdad necesaria existe o no.

El objetivo principal de una educación en la ciencia, particularmente en la enseñanza media, no es ofrecer información al joven para que él la acumule y la conserve (¡bien sabemos con qué facili-

dad se olvida la mayoría de los conocimientos adquiridos a esa edad... y a otras también!), sino desarrollar una actitud con fundamento racional en el momento de tomar una decisión, sea cual fuere la naturaleza del problema.

Para concluir: este enfoque para fundamentar el uso del concepto de fuerza abre el camino para elaboraciones análogas de otros conceptos elementales y fundamentales, como *campo* y *potencial eléctrico*, por ejemplo, cuyas dificultades para aprenderlos y enseñarlos son bien conocidas. El gran mérito, a mi entender, de las investigaciones sobre las «preconcepciones espontáneas» es haber expuesto a la luz las raíces de algunas de aquellas dificultades, para resolverlas.

Más que producir un «cambio conceptual» (Strike y Posner 1982, Driver 1986), me inclino por un «cambio metodológico» como preconizan Gil Pérez y Carrascosa (1985) al decir «...la principal dificultad en el camino de una correcta adquisición de conocimiento científico no es la existencia de preconcepciones sino la metodología que está en su origen». Mi creencia es que el cambio de metodología debe incluir una consideración mucho más cuidadosa que hasta ahora de los conceptos más «elementales pero fundamentales», como dice Lillian McDermott, dedicándoles un tiempo que habrá de surgir de la eliminación de otros contenidos (aunque sean importantes), cuyo sacrificio será recompensado por una comprensión mayor y mejor de aquellos conceptos fundacionales.

Interpreto la «metodología de la superficialidad» de Gil Pérez y Carrascosa como un tratamiento superficial de los conceptos y de los principios que sirven de punto de partida, sin ahondar en los significados más profundos. Esta carencia luego se revela al aparecer errores conceptuales arraigados por no haber sido desterrados por una buena enseñanza-aprendizaje.

Como una «metodología de la profundidad», la presentación por el profesor de información desconocida previamente por el alumno, y principalmente su examen a través de discusiones, comentarios, análisis de situaciones problemáticas cualitativas, y posteriores planteamientos y resolución de problemas cuantitativos, irán modificando las ideas previas con que inexorablemente el alumno encara la elaboración de un nuevo conocimiento científico, y creo que con la «metodología de la profundidad», el «cambio conceptual» de Kenneth Strike y George Posner y de Rosalind Driver vendrá «por añadidura».

Referencias bibliográficas

- Arons, A.B., 1988. Research on teaching and learning: What should teachers know and when should they know it? en *Cooperative networks in Physics Education* (Informe final de la Conferencia Interamericana sobre Educación en la Física, Oaxtepec: México 1987). Editado por Jorge Barojas, publicado por American Institute of Physics.
- Driver, R. y Warrington, L., 1985. Students' use of the principle of energy conservation in problem situations, *Physics Education*, 20.
- Driver, R., 1986. *European Journal of Science Education*, Vol. 4(3).
- Feynman, R., 1988. «QED (The Strange Theory of Light and Matter)». (University Press: Princeton).
- Gil, D. y Carrascosa, J., 1985. *Enseñanza de las ciencias*, Vol. 3.
- McDermott, L., 1984. Research on conceptual understanding in mechanics, *Physics Today*.
- Sábato, E. y Maiztegui, A., 1946. *Elementos de Física*. (Espasa Calpe: Buenos Aires).
- Strike, K. y Posner, G., 1982. *European Journal of Science Education*, Vol. 4(3).

ACERCA DE LOS FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

Delgado Abad, C. *Candidato a doctor en Ciencias Pedagógicas. Ciudad de La Habana, Cuba.*

Introducción

Se ha reiterado en muchas ocasiones que, en el momento actual, el volumen de conocimientos acumulados por la humanidad desborda las posibilidades de la capacidad individual para el almacenamiento de información y, por ello, la tarea de la enseñanza pasa a ser cada vez más la de transmitir contenidos esenciales generalizadores y preparar al estudiante para obtener nuevos conocimientos por vía independiente.

Parte integrante de esos contenidos esenciales generalizadores son los métodos de investigación científica que se reflejan en las asignaturas objeto de estudio. La introducción paulatina de los métodos de investigación de las ciencias como parte de los contenidos de enseñanza es una tendencia de la educación contemporánea, apoyada por reconocidos profesionales cubanos y extranjeros. (UNESCO 1976, Klingberg 1978, Valdés 1979, Gil 1986, Martínez 1986, Reshetova 1987, Álvarez 1989).

Sin embargo, aunque en el plano teórico los criterios expuestos son convincentes, en la práctica de la enseñanza no se materializan en forma adecuada y en muchas ocasiones desafortunadamente no son tenidos en cuenta. «Todos los tipos de conocimientos están interrelacionados y se enseñan combinados entre sí, pero si no se toma conciencia de su necesidad, se producirán omisiones de uno u otro tipo. Así, durante largo tiempo, los autores de libros de texto y materiales metodológicos han desdeñado los métodos del conocimiento, los métodos y la historia de la ciencia, y al mismo tiempo, no han preparado debidamente a los educandos para el conocimiento independiente de la realidad» (Lerner y Skatkin 1980). Podemos asegurar que estas omisiones también han afectado el sistema de enseñanza en nuestro país.

Este trabajo pretende abordar la problemática de la enseñanza de los métodos científicos de investigación proponiendo en particular algunas vías para la enseñanza de la metodología experimental. Para ello se tratarán algunos aspectos generales de los métodos científicos y de la composición, estructura y funciones de la metodología experimental en la ciencia y en la enseñanza.

Los métodos de la investigación científica. La metodología experimental

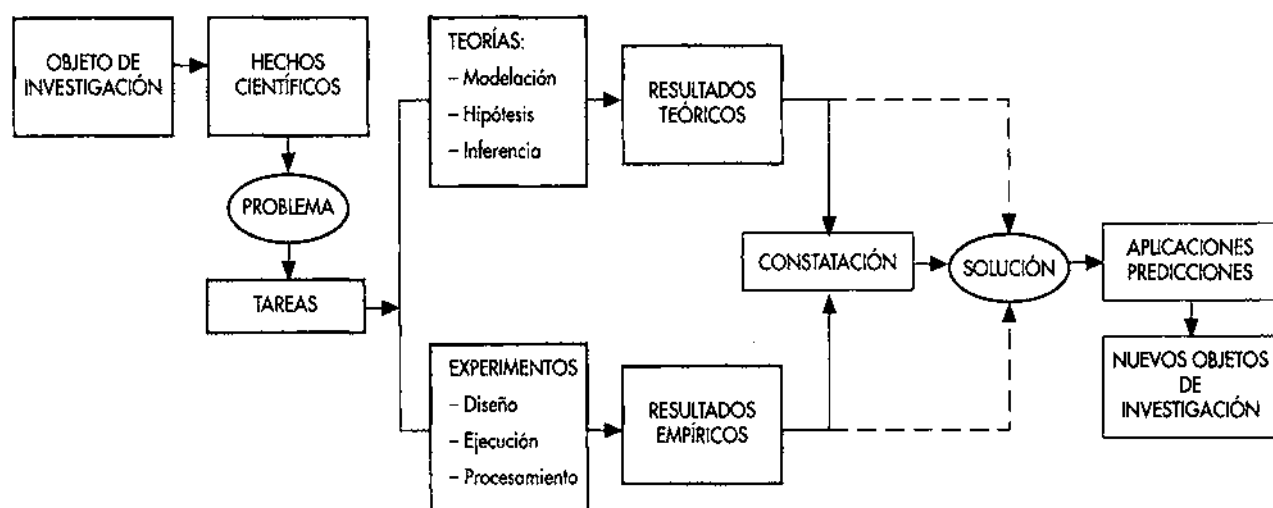
Se ha llegado a afirmar que «...la investigación de los problemas metodológicos actuales de la ciencia es una cuestión tan importante como el desarrollo de sus teorías» (Omelianovsky 1981). ¿Por qué esta importancia? Algunos científicos no se la conceden bajo el criterio de que el quehacer científico no tiene reglas prefijadas y sólo se guía por la intuición creadora. Y aun aceptando en parte este criterio, hay que reconocer también que la humanidad ha logrado acumular una gran experiencia en la actividad investigativa y creadora conducente a la adquisición de nuevos conocimientos y que esa experiencia está plasmada en los métodos de la ciencia.

Al igual que los indicadores luminosos orientan al piloto en una pista de avia-

Figura 1

Actividad investigativa y creadora basada en la aplicación de la metodología experimental.

NIVEL TEÓRICO



NIVEL EMPÍRICO

ción y el aterrizaje exitoso depende de su inteligencia, habilidad y experiencia, los métodos científicos orientan al investigador. Los métodos no son recetas, sino indicadores gnoseológicos en las vías de la investigación.

El método considerado como un conjunto de reglas u operaciones que conducen a un objetivo predeterminado funciona así en sus estadios más elementales, cuando el objeto de investigación es relativamente simple o el investigador es poco experimentado. En la medida en que la naturaleza del fenómeno que se estudia es más compleja, los métodos adquieren mayor grado de generalidad, se hacen más flexibles en su aplicación y el investigador los interrelaciona y los utiliza creativamente.

Entre los métodos que han adquirido un alto grado de generalidad por su aplicación en distintos campos de las ciencias naturales e incluso humanísticas, se encuentran la observación, la medición y el experimento en los niveles empíricos de obtención de conocimientos. En los niveles teóricos entre esos métodos generales, están la modelación, el método axiomático, el hipotético-deductivo, los métodos cibernéticos y estadísticos y cada vez adquiere un papel más generalizador el método sistemático.

Por otro lado, las ciencias contemporáneas no se valen de un solo método para su investigación. Cada día es más necesaria la aplicación de conjuntos de

métodos que, integrados en un sistema de coherencia lógica y funcional, conformen una metodología capaz de abordar los problemas concretos de cada ciencia o conjunto de ciencias.

En particular, en las ciencias experimentales se ha avanzado notablemente en el desarrollo de una metodología propia de estas ciencias, que correspondientemente podemos denominar la metodología experimental.

Debe destacarse la no identificación de los términos «metodología experimental» y «experimento científico».

El experimento científico es el método más importante del nivel empírico del conocimiento y en su aplicación están generalmente presentes otros métodos de este nivel como son la observación y la medición.

En una detallada definición se establece: «El experimento es un tipo de actividad realizada para obtener conocimientos científicos, descubrir las leyes objetivas y que influyen en el objeto (proceso) estudiado, por medio de mecanismos e instrumentos especiales, gracias a lo cual se obtiene: 1) la separación, el aislamiento del fenómeno estudiado de la influencia de otros semejantes, no esenciales y que ocultan su esencia, así como estudiarlo en forma pura; 2) reproducir muchas veces el curso del proceso en condiciones fijadas y sometidas a control; 3) modificar planificadamente, variar,

combinar diferentes condiciones con el fin de obtener el resultado buscado» (Colectivo de autores 1975).

Pero la metodología experimental no se reduce solamente a las posibilidades empíricas del experimento científico, ya que éste está inmerso en el proceso cognoscitivo y, por tanto, sólo tiene sentido su aplicación dentro de un contexto en que se integra al nivel teórico del conocimiento y a los métodos correspondientes a este nivel que le son afines. La interrelación de métodos de investigación es una característica peculiar de la ciencia contemporánea dado el carácter cada vez más complejo de los procesos objeto de investigación y del intrínseco carácter también complejo, contradictorio y dialéctico del conocimiento humano.

La metodología experimental es, por tanto, un sistema de conocimientos, métodos y procedimientos que orientan la actividad investigadora y creadora cuando el experimento científico se coloca en el centro de esta actividad.

Bajo el enfoque actual de la integración de métodos en la investigación de los objetos de conocimiento, la metodología experimental debe reflejar las etapas del proceso cognoscitivo desde el punto de vista de la actividad científica contemporánea, que permite dividir los problemas relacionados con el análisis de este proceso en tres grupos: los del nivel empírico, los del nivel teórico y los que surgen durante el análisis del vínculo

entre estos niveles (Colectivo de autores 1975). A su vez, en cada uno de estos grupos recurre a componentes metodológicos esenciales para el despliegue de toda la actividad.

Una propuesta que refleja la composición y estructura de la actividad investigativa basada en la aplicación de la metodología experimental se representa esquemáticamente en la figura 1.

A continuación se expone una breve caracterización de los componentes fundamentales señalados en esta estructura:

– **Objeto de investigación:** Elemento de la realidad (cuerpo, sistema, fenómeno) portador de propiedades, estados, procesos e interacciones que constituyen fuentes de conceptos y magnitudes científicas.

– **Hechos científicos:** Síntesis generalizadora de datos empíricos en un primer nivel de acercamiento al objeto de investigación. La complejidad de los hechos aumenta con el avance de la ciencia.

– **Problema:** Interrogante(s) a responder respecto al comportamiento del objeto de investigación.

– **Nivel teórico:** Uso de teorías, leyes y conceptos conocidos y de la aplicación de métodos y procedimientos teóricos de investigación (métodos de modelación, hipotético-deductivo, estadísticos, cibernético, etc.) para obtener resultados (regularidades y leyes teóricas) que den solución al problema planteado y que puedan ser comprobables empíricamente. En este nivel predomina el pensamiento deductivo. Limitar la actividad científica sólo a este nivel de obtención de conocimientos hace poco fiables sus resultados.

– **Nivel empírico:** Uso de métodos y procedimientos empíricos de investigación (observación, medición, diseño y ejecución de experimentos, procesamiento matemático de datos experimentales, etc.) para obtener resultados (regularidades y leyes empíricas) que también den solución al problema planteado y que puedan ser confrontados con los resultados teóricos. En este nivel predomina el pensamiento inductivo. Limitar la actividad científica sólo a este nivel de obtención de conocimientos hace que ésta pierda profundidad, o sea, penetración en la esencia del objeto que se investiga.

– **Constatación:** Procedimiento mediante el cual se interpretan los resultados empíricos y teóricos, se analiza el vínculo entre ellos y se establecen las correcciones y limitaciones a las regularidades y leyes obtenidas. Con este proceso se logra que los resultados científicos sean fiables y profundos.

– **Solución:** Respuesta al problema planteado. Puede obtenerse por vía empírica, teórica o por el proceso de constatación. Este último proceso es el que aporta mayor riqueza informativa sobre el objeto que se investiga y da mayor poder de aplicaciones y predicciones.

– **Aplicaciones:** Introducción de los resultados de la actividad investigativa en la vida científica, técnica y práctica de la sociedad.

– **Predicciones:** Planteamiento de nuevas hipótesis acerca del comportamiento del objeto de investigación en nuevas condiciones.

Durante el transcurso de toda esta actividad pueden surgir nuevos objetos de investigación que desencadenan procesos dirigidos al reinicio de un nuevo ciclo cognoscitivo.

Otros esquemas representativos de esta estructura con vistas a su utilización en el proceso docente han sido también propuestos (Riveros 1988, Woolnough 1988).

Esta división no debe ser interpretada en forma absoluta, ni siguiendo un orden lineal. Hay procesos que trascienden el marco de la etapa en que han sido ubicados y, por otro lado, en una misma etapa puede ser necesario recurrir a procedimientos enmarcados en otras. Esto es consecuencia, como ya se ha expresado, del carácter complejo y contradictorio del proceso del conocimiento humano.

Teniendo presente estas limitaciones, el esquema mostrado puede ser útil para dirigir y sistematizar la enseñanza.

Enseñanza de los métodos científicos

Pueden haber existido varias razones que justifiquen el insuficiente tratamiento docente de los métodos científicos. La metodología de las ciencias es una rama relativamente nueva del saber humano, algunos de cuyos elementos se hallaban dispersos en la filosofía, la lógica, la psicología y, por supuesto, en las distintas ramas de las ciencias particulares.

El cuerpo de conocimientos de la metodología científica, su estructura y funciones para cada campo de investigación eran subestimados, o no se utilizaban conscientemente en forma coherente. El desconocimiento de esta lógica de la ciencia no permitía el paso a la lógica de la enseñanza, o sea al plano pedagógico.

La enseñanza tradicional tenía un enfoque estático: la presentación del sistema de conocimientos científicos como una estructura ya acabada cuya aplicación permitía resolver mecánicamente los

problemas planteados, mayormente de tipo teórico.

El enfoque de la enseñanza actual de las ciencias ha derivado hacia la dinámica de la formación de ese sistema de conocimientos, proceso en el cual el estudiante adquiere un papel cada vez más activo.

Los cursos de enseñanza de las ciencias iniciadores de estos nuevos enfoques, aun con sus desventajas y limitaciones (Gii 1986), incidieron favorablemente en la formación de una nueva mentalidad para la proyección de la enseñanza sobre bases realmente científicas.

Dentro de este contexto quedan varios interrogantes y entre ellas está el papel que deben ocupar los métodos científicos en el proceso docente contemporáneo.

El aprendizaje y aplicación de los métodos de las ciencias permiten a los estudiantes estructurar activamente el sistema de conocimientos científicos y, como consecuencia, estos métodos deben incidir significativamente en aspectos centrales del proceso docente conducentes al despliegue de las potencialidades intelectuales y volitivas de los educandos, tales como: el desarrollo del pensamiento lógico y de la capacidad creadora, el interés cognoscitivo, la activación de la actuación cognoscitiva y el logro de su independencia, la integración de los conocimientos, la formación de habilidades y hábitos, etc.

Hacemos que la enseñanza tenga realmente un carácter científico en la medida en que incorporemos la mayor cantidad de métodos y procedimientos de la sistemática de la ciencia a la sistemática de la enseñanza.

Los métodos de investigación científica cumplen en la enseñanza una doble función: constituyen una parte importante del contenido de enseñanza que debe ser asimilado y aplicado por los estudiantes, y constituyen además las referencias orientadoras para la aplicación de los métodos de enseñanza por el profesor. Es decir, los métodos científicos inciden simultáneamente en los contenidos y en los métodos de enseñanza.

Actuando de esta manera se logra que los contenidos de enseñanza sean asimilados como resultado de la aplicación de la metodología de la ciencia a la cual pertenecen, resaltando la lógica de la formación del sistema de conocimientos científicos y no como elementos aislados y dispersos de este sistema, como generalmente se presentan.

El estudiante asimila no sólo el nuevo sistema de conocimientos, sino también la experiencia de la actividad investiga-

tiva y creadora conducente al establecimiento de ese sistema, es decir, los métodos de la ciencia. Así se favorecen simultáneamente los cambios conceptuales y metodológicos en el aprendizaje propuestos por Gil (1986) como eje de un nuevo modelo didáctico.

La enseñanza de la metodología experimental

Si consideramos como uno de los objetivos principales de la enseñanza de las ciencias experimentales que el estudiante asimile contenidos y rasgos esenciales de la actividad investigativa, debemos entonces organizar la enseñanza tomando como una de las líneas directrices la estructura de la metodología experimental, la cual es portadora de esos elementos cognoscitivos.

¿Cómo proceder entonces a la enseñanza de esta metodología en los currículos de ciencias afines a ella?

Para materializar el objetivo propuesto haremos énfasis en dos aspectos. Por un lado, en el plano pedagógico, «...las leyes del conocimiento humano no son idénticas a las de la exposición lógica de los resultados del proceso del conocimiento» (Klingberg 1978). Ello conduce a las correspondientes adecuaciones metodológicas para la enseñanza de esta metodología.

Una de estas adecuaciones puede consistir en la inclusión de una o varias asignaturas introductorias en cada nivel de enseñanza dedicadas específicamente al dominio de la metodología experimental por los estudiantes dentro del contexto de su aplicación a una selección de los contenidos propios de una o varias ciencias.

Otra adecuación puede ser la introducción paulatina de los elementos cognoscitivos de las distintas etapas de esta metodología en los sucesivos cursos de enseñanza: asignaturas, disciplinas, años, niveles, etc. (Delgado 1987). En este caso, las adecuaciones que se realicen no deben derivar en una ruptura esquemática del contenido metodológico que se persigue enseñar. La unidad de este contenido debe quedar siempre reflejada en la exposición global de cada tema de estudio. De lo que se trata es de que los elementos cognoscitivos de las distintas etapas se conviertan en objeto de asimilación consciente e independiente por los estudiantes durante el estudio de los distintos cursos. Por otro lado, en el plano científico, como ya se ha dicho, la experimentación es una de las actividades científico-investigativas de mayor importancia en el desarrollo de las ciencias experimentales y, de hecho, ocupa el papel central en este desarrollo. En

palabras de Einstein (1967): «Todo el conocimiento de la realidad parte del experimento y regresa a él [...] La teoría siempre es comprobada por un tribunal supremo: el experimento.»

Es por esto que se insiste tanto en el uso intensivo de la experimentación en todas las formas de organización docente que lo permitan, e incluso se planifica todo un sistema de clases con un contenido temático específico alrededor de uno o varios experimentos tomados como ejes de referencias.

A continuación procedemos a exponer algunos criterios acerca de las posibilidades que tienen distintos tipos de experimentos docentes para transmitir al estudiante elementos esenciales de la metodología experimental dentro del contexto pedagógico en que pueden ser enmarcados.

Tipos de experimentos de acuerdo con su función metodológica

1) Experimentos de observación

– Observar el comportamiento del objeto de investigación.

– Precisar los hechos científicos.

– Plantear el problema de investigación.

– Proceder al análisis teórico: nivel teórico.

– Solución teórica al problema planteado.

Función metodológica: Este tipo de experimentos es fuente de hechos científicos y base para la obtención de regularidades y leyes teóricas.

Uso didáctico: En clases expositivas o de conferencias. El docente juega el papel central en la realización del experimento y en el análisis teórico. Puede ser realizado también por pequeños grupos de estudiantes. Este tipo de experimento puede ser una primera etapa para la realización posterior del experimento de generalización empírica por los alumnos.

2) Experimentos de generalización empírica

– Observar el comportamiento del objeto de investigación.

– Precisar los hechos científicos.

– Plantear el problema de investigación.

– Proceder a la realización y análisis del experimento: nivel empírico.

– Solución empírica al problema planteado.

Función metodológica: Este tipo de experimento conduce a la obtención de regularidades y leyes empíricas.

Uso didáctico: En clases de trabajo de estudiantes en equipos. El estudiante juega el papel central en la realización y análisis del experimento hasta obtener la solución empírica. Este tipo de experimento puede ser utilizado bien como comprobación de la solución teórica obtenida a partir del experimento de observación, o bien como iniciador del proceso dirigido a la búsqueda de esa solución.

3) Experimentos de verificación

– Observar el comportamiento del objeto de investigación.

– Precisar los hechos científicos.

– Plantear el problema de investigación.

– Paso al nivel teórico: resultados teóricos.

– Paso al nivel empírico: resultados empíricos.

– Proceder al proceso de constatación.

– Solución al problema planteado.

Función metodológica: Este tipo de experimento es el más representativo de la investigación científica contemporánea: estrecho vínculo entre los resultados empíricos y el razonamiento teórico.

Uso didáctico: En un sistema de clases combinadas de exposición del docente y trabajo en equipos de estudiantes o bien como proyecto de trabajo investigativo de grupos de estudiantes u otras posibles variantes en que se combine adecuadamente el papel director del docente con la independencia de los estudiantes.

4) Experimentos de medición

– Determinar el objeto de medición.

– Precisar los métodos y medios de medición.

– Realizar el proceso de medición.

– Aplicar el procesamiento de los datos experimentales.

Informar del resultado de la medición.

Función metodológica: Aplicación de métodos, técnicas y medios de medición y de técnicas de procesamiento de datos experimentales para obtener el valor (y el error) de la magnitud medida.

Uso didáctico: En clases de trabajo individual o por parejas de estudiantes con orientaciones detalladas del docente. Este tipo de experimento persigue el entrenamiento de los estudiantes en el uso, protección y conservación de los medios técnicos y en la aplicación de métodos de medición y técnicas de cálculo como etapa preparatoria para su utilización independiente en experimentos posteriores de otros tipos.

5) Experimentos de aplicación

- *Diseño* de dispositivo experimental.
- *Construcción o montaje* del dispositivo.
- *Funcionamiento* del dispositivo.
- *Información de resultados obtenidos.*

Función metodológica: Producción o reproducción de dispositivos y equipos técnicos y su funcionamiento en condiciones de laboratorio.

Uso didáctico: En clases de trabajo por equipos de estudiantes con orientaciones generales del docente o bien como proyectos en especialidades técnicas. Este tipo de experimento entrena a los estudiantes en elementos del diseño, montaje y funcionamiento de equipos técnicos que se construyen basados en resultados de la actividad investigativa.

De acuerdo con la incidencia de estos tipos de experimentos en el grado de generalidad de la aplicación de la metodología experimental, los tres primeros pueden ser considerados como experimentos centrales y los dos últimos como experimentos colaterales.

Conclusiones

La enseñanza de las ciencias experimentales basada en la orientación general

que ofrece el conocimiento de la metodología experimental posibilita la preparación de un estudiante con un pensamiento más independiente y creador.

La adecuada combinación de los componentes teóricos y empíricos durante el proceso de búsqueda científica posibilita también que el estudiante se apropie de conocimientos confiables y profundos acerca de aquella parte de la realidad objeto de estudio.

Un curso de ciencia experimental basado en estos fundamentos metodológicos y desarrollando un contenido específico de la ciencia particular en cuestión, debe lograr una adecuada armonía entre método y contenido, tan necesaria en el proceso de formación del pensamiento científico contemporáneo. En esta dirección ha trabajado el autor en los últimos diez años.

Referencias bibliográficas

Álvarez, C., 1989. *Fundamentos teóricos de la dirección del proceso docente educativo en la Educación Superior cubana*. (Editorial del Ministerio de Educación Superior: La Habana).

Colectivo de autores, 1975. *Metodología del conocimiento científico*. (Editorial Ciencias Sociales: La Habana).

Delgado, C., 1988. *Sistematización de la enseñanza del método experimental en la disciplina Física General*. Tesis de grado científico de candidato a doctor en Ciencias Pedagógicas, La Habana.

Einstein, A., 1967. *Obras completas. Tomo 4*. (Editorial Nauka: Moscú).

Gil, D., 1986. *La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: una*

relación controvertida, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), pp. 111-121.

Klingberg, L., 1978. *Introducción a la didáctica general*. Traducción del alemán. (Editorial Pueblo y Educación: La Habana).

Lerner, I. y Skatkin, M., 1980. *Didáctica de la Escuela Media*. Traducción del ruso. (Editorial Libros para la Educación: La Habana).

Martínez, M., 1986. *Categorías, Principios y Métodos de la Enseñanza Problemática*. (Editorial del Ministerio de Educación Superior: La Habana).

Omelianovsky, M. et al., 1981. *La dialéctica y los métodos científicos generales de investigación*. (Editorial Ciencias Sociales: La Habana).

Reshetova, Z., 1987. *Realización de los principios del enfoque sistemático en las asignaturas*. (Editorial Conocimiento: Moscú).

Riveros, H., 1988. «The role of laboratory in the teaching of physics», *Cooperative networks in physics education*. (American Institute of Physics: Nueva York).

UNESCO, 1976. «The role of experimental work in physics education», *New trends in physics teaching*. Vol. III. (Editorial UNESCO: Francia).

Valdés, P., 1979. La formación de la concepción científica del mundo, *Educación*, Año IX, 32, pp. 109-115.

Woolnough, B., 1988. «The nature and purposes of practical work in physics teaching», *Cooperative networks in physics education*. (American Institute of Physics: Nueva York).