

CONCEPCIONES DE LOS ALUMNOS Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN MECÁNICA

*Lilian C. McDermott, Department of physics, University of Washington, Seattle,
Washington, USA*

Introducción

Los resultados de investigaciones sobre la comprensión de la física por los alumnos indican que ciertas ideas erróneas sobre el mundo de la física son comunes a los alumnos de diferentes nacionalidades, originarios de medios socioculturales diferentes y de niveles de enseñanza y de edades diversas. Existen pruebas importantes sobre el hecho que los estudiantes de la universidad tienen frecuentemente las mismas dificultades conceptuales y de razonamiento que los ampliamente compartidos por los alumnos más jóvenes. Frecuentemente hay pocos cambios dentro de la comprensión conceptual antes y después de una enseñanza formal. Es más, los alumnos son frecuentemente incapaces de aplicar los conceptos que ellos han estudiado para las tareas de resolución de problemas cuantitativos que constituyen habitualmente la medida del éxito de los alumnos en un curso de física.

El número de estudios empíricos sobre la comprensión de los alumnos en mecánica sobrepasa el número total de los estudios en todos los otros temas. No intentamos resumir todas las investigaciones que han sido llevadas. Un criterio importante para la escogencia de los trabajos ha sido el grado de aplicación directa de los resultados para la formación de los maestrosⁱ. Para hacer esa escogencia, nos apoyamos en la larga experiencia de formador de docentes en la enseñanza de la física y de las ciencias físicas a nivel de la escuela primaria, del colegio y del liceoⁱⁱ. Otro criterio considerado en la selección de las referencias ha sido su relativo acceso a los físicos de todos los países. Las publicaciones en física han sido preferiblemente a las referencias de menos accesos. En razón de la expansión de la literatura de investigación, hemos limitado esta presentación a los estudios conducidos con los alumnos de la universidad, incluyendo a los futuros maestros y los maestros activos. Los resultados se aplican tanto a los alumnos de liceos, y en ciertos casos a los alumnos de las escuelas primarias.

Investigaciones sobre la comprensión de los alumnos

En esta parte presentamos un breve resumen del estado actual de la investigación sobre la comprensión conceptual y la resolución de problemas en mecánica. Esto es en el dominio de la mecánica donde se han llevado a cabo la mayor parte de las investigaciones sobre la comprensión de la física por los alumnos. A pesar de que los docentes han estado consciente de las dificultades que tiene esta materia para los alumnos, entender el problema no ha sido generalmente reconocido hasta que los físicos y los investigadores en didáctica comenzaron a conducir investigaciones sistemáticas y a producir los resultados.

Desarrollo de un concepto

Una revisión de las investigaciones sobre la comprensión conceptual en mecánica ha identificado los factores que deberían ser tomados en cuenta dentro de la interpretación de los resultados de investigación (McDermont, 1984). Las características de una investigación que incluyan esos resultados comprenden: la naturaleza del instrumento utilizado para evaluar la comprensión, el grado de interacción entre el alumno y el investigador, la profundidad del método de investigación, la forma de los datos, el cuadro físico, el tiempo, y los objetivos del investigador.

Cinemática

Un estudio realizado sobre la comprensión de los alumnos que seleccionaron el curso de introducción a la físicaⁱⁱⁱ, en una gran universidad, incluyendo los conceptos de posición, velocidad y de aceleración en una dimensión. Se trataba de saber si los estudiantes eran capaz de aplicar correctamente esos conceptos cuando interpretan movimientos efectivos de objetos reales (Trowbridge & McDermont, 1980; Trowbridge & McDermont, 1981). Después de las entrevistas, los estudiantes observaron dos movimientos y le solicitamos comparar las velocidades y las aceleraciones. Después de la enseñanza, una quinta parte de los estudiantes confundían los conceptos de velocidad y de posición. Cada fracaso podía estar atribuido a la utilización de un criterio de posición para determinar la velocidad relativa. La confusión entre los conceptos de velocidad y de aceleración eran cada vez más frecuente. La mayoría de los 200 estudiantes que participaron en este estudio no tenían la misma comprensión cualitativa de la aceleración como la relación $\Delta v / \Delta t$.

Otro estudio examinó el razonamiento “espontáneo” en cinemática de 700 estudiantes de primero y cuarto años de la universidad y de 80 niños de once años (Saltiel & Malgrange, 1980). Se le solicitó a los sujetos resolver los ejercicios a papel y lápiz utilizando los movimientos uniformes dentro de un referencial galileano. El análisis de sus soluciones del movimiento revelan que la mayoría de ellos utilizan de manera inapropiada un modelo causal (es decir invocando las fuerzas u otras “causas” de movimiento).

Otro estudio sobre la comprensión de los estudiantes de los movimientos en dos dimensiones, se mostraba, a cinco estudiantes que seguían un curso de introducción a la física y a cinco profesores de física, los diagramas de trayectoria de los objetos que se desplazan (Reif & Allen, 1992). Se le preguntaba a los participantes si los objetos aceleraban, desaceleraban o se desplazaban a velocidad constante, seguidamente debían dibujar los vectores velocidad para los puntos indicados. Los principiantes habían sido medianamente exitosos en esta tarea; caso curioso, los expertos experimentaron las mismas dificultades. Un análisis detallado de la forma como esos dos grupos han tratado esas tareas permitió a los investigadores identificar los conocimientos subyacentes y el saber hacer exigido para obtener los resultados correctos.

Investigadores de diversos países han participado en algunos estudios en el cual los alumnos de liceos y de universidades fueron interrogados sobre su comprensión de desplazamiento, de la velocidad y del referencial (Bowden y al., 1992). Los resultados demuestran la naturaleza contextual del aprendizaje y muestran que, los problemas se vuelven más fáciles a resolver de manera cuantitativa, es más difícil diferenciar los alumnos a partir de su nivel de comprensión de los conceptos base.

Algunos estudios se centraron en la comprensión por los alumnos de las representaciones gráficas de la velocidad. Un estudio descriptivo que se llevó a cabo durante siete años y que utilizó centenares de estudiantes de la universidad ha contribuido a identificar un cierto número de dificultades encontradas por los estudiantes al hacer la vinculación entre los conceptos de cinemática, sus representaciones gráficas y los movimientos de objetos reales (McDermott y al., 1987).

Otro estudio permitió identificar las dificultades específicas de los alumnos relativas a las representaciones gráficas de velocidades negativas (Goldberg & Anderson, 1989).

La persistencia de ciertas dificultades en mecánica ha sido demostrada no solamente a partir de estudios detallados conducidos a escala, sino igualmente a partir de la utilización, en gran escala, de instrumentos concebidos para evaluar la comprensión conceptual. Esto ha servido de herramienta para informar a los profesores que numerosos alumnos que triunfan en los exámenes eminentemente cuantitativos, podrían tener serias dificultades conceptuales. El test descrito en este capítulo fue publicado en revistas muy accesibles.

Se concibió un instrumento de evaluación para medir la capacidad de los alumnos en la interpretación de las representaciones gráficas del movimiento: el test de comprensión de gráficos en cinemática (Test of Understanding Graphs in Kinematics (TUG-K)) (Beichner, 1994). Las cuestiones relativas al diseño y la interpretación de gráficos del movimiento fueron igualmente incluidas en evaluación de la fuerza y el movimiento (Force and Motion Conceptual Evaluation, FMCE) (Tornton & Sokoloff, 1996).

Dinámica

Resultados de investigación han demostrado que estudiantes salen frecuentemente del curso de introducción a la física con numerosas creencias incorrectas equivalentes a aquellas que tenían antes de la enseñanza. Las concepciones sobre las relaciones entre fuerza y los conceptos más complejos, tales como el trabajo, la energía y la cantidad de movimiento, son menos conocidas. Se señala a continuación un ejemplo sobre la comprensión de la dinámica por los alumnos.

Antes de la enseñanza, más de 100 alumnos de un curso de introducción a la mecánica debían responder a una pequeña prueba donde se le indicaba que sus respuestas debían ser cortas, y se trataba sobre los conceptos de fuerza y movimiento (Champagne y al., 1980). La prueba utilizaba la técnica de abreviación D.O.E. (demostración, observación, explicación). Los resultados revelaron que los alumnos que habían estudiado física precedentemente tenían muchas ideas erróneas: una fuerza produce un movimiento; una fuerza constante produce una velocidad constante con una intensidad de la velocidad proporcional a la fuerza; la aceleración es debida al aumento de la fuerza; en ausencia de fuerza los objetos que están en reposo o detenidos. Los resultados de otro estudio indican igualmente que antes y después del curso de introducción a la mecánica numerosos estudiantes parecen creer que el movimiento implica una fuerza (Clement, 1982). El estudio utilizó los tests escritos y entrevistas sobre un péndulo y una pieza de moneda lanzada al aire.

Otra investigación estudió en qué medida de los alumnos aplican de forma consistente diferentes concepciones sobre la fuerza (por ejemplo “el movimiento implica una fuerza”)

en contextos variados (por ejemplo en los cuerpos en movimiento y en los cuerpos en reposo) (Finegold & Gorsk, 1991). Más de 500 alumnos de la universidad y de las escuelas secundarias superiores de Israel respondieron a un test escrito, por otra parte se le hizo una entrevista a 35 alumnos. El test comprendían preguntas relativas a las fuerzas actuando sobre objetos variados, como un libro colocado sobre una mesa, una masa suspendida en un péndulo, una bola de cañón en vuelo, etc. Para las preguntas concernientes a los objetos en movimiento, los autores encontraron que los alumnos que utilizaban una fuerza en la dirección del movimiento, la usaban en ciertas situaciones y no en todas. La creencia que alguna fuerza no reacciona sobre un objeto en reposo se presentaba muy a menudo.

Un estudio llevado a cabo con alumnos europeos del último año del liceo (escuela secundaria superior) hasta el tercer año de la universidad (Viennot, 1979). Los alumnos respondieron preguntas de una prueba escrita relativa las oscilaciones de una masa fijada en un resorte. Los resultados indicaron que los alumnos suponen que la relación entre la fuerza y la velocidad es lineal.

En un estudio sobre los movimientos curvilíneos y las trayectorias de los objetos en movimiento, se le solicitó a más de cincuenta alumnos de trazar el camino que seguiría una masa suspendida en un péndulo desde que el hilo se corta en cuatro posiciones diferentes de su trayectoria (Caramazza y al., 1981). Solamente un cuarto de los alumnos suministró una respuesta globalmente completa. Cerca del 65% de los alumnos dibujaron una línea recta desde que el hilo es cortado pasando por su posición de equilibrio.

Algunos estudios han tratado las dificultades de los alumnos relativas a situaciones donde interviene la gravitación. Un estudio en una gran cantidad de alumnos de primer año de la universidad en Australia, se refiere a la utilización de las demostraciones simples de cursos en vinculación con la gravedad (Gunstone & White, 1981). Por ejemplo, los alumnos debían comparar el tiempo de caída de bolas de acero y de tallas iguales y en plástico, cuando ellas eran lanzadas desde una misma altura. Los tres cuarto de alumnos predijeron tiempos diferentes. La mayoría de los alumnos creían que el objeto más pesado caía más rápido. Se presenció una tendencia a “observar las predicciones”. Las respuestas erróneas corrientes, ilustradas por las citas de los alumnos, son discutidas en detalle dentro del informe escrito de este estudio.

Otro estudio australiano se fundamentó en las preguntas de selección múltiple realizadas en un examen de física del último año del liceo presentado por 5500 alumnos (Gunstone, 1987). Las preguntas del test se referían a situaciones relativas a la gravedad, debido a que estas habían aparecido en un pequeño estudio realizado con anterioridad. (ver más adelante). Ciertas ideas erróneas se encontraron fuertemente expandidos entre esta población. Una de las preguntas del test se refería a la máquina de Atwood, con dos masas inicialmente en reposo desde la misma altura. Los alumnos debían predecir lo que se produciría si alguien mueve una de las masas hacia otra posición, la mantenía en esta posición, y después la soltaba. Más de la mitad de los alumnos predijeron que la masa se pondría en movimiento. Esta actividad fue propuesta nuevamente pero de una forma más abierta, la mayoría de los alumnos que habían respondido de forma incorrecta señalaron su creencia que las masas retornaban a sus posiciones “de equilibrio”.

En un estudio sobre la comprensión de la máquina de Atwood por los alumnos, muchos de ellos se encontraron en serias dificultades con la aceleración, las fuerzas internas y externas, y el rol del hilo (McDermont y al., 1987). El mismo grupo de investigación trabajó igualmente sobre las dificultades de los alumnos relativas a la aplicación de la relación fundamental de la dinámica del teorema de la energía cinética en el análisis del movimiento real (Dawson & Mc Dermott, 1987). Después de haber estudiado los elementos pertinentes, la mayoría de los alumnos fueron incapaces de poner en relación los formalismos algebraicos aprendidos en clase con los movimientos simples que ellos observaban.++++

El inventario del concepto de fuerza (“Force Concept Inventory” (FCI)) es un test de selección múltiple que evaluaba la comprensión de la dinámica Newtoniana por parte de los alumnos (Halloun & Hestenes, 1985; Hestenes y al., 1992). Este test tiene por objetivo determinar si los alumnos son capaces de distinguir una respuesta Newtoniana correcta de creencias populares erróneas provenientes del “sentido común”. Los mismos autores han desarrollado otro test de selección múltiple, el test de mecánica de base (“Mechanics Baseline Test” (MBT)), que cubre una variedad más grande de tópicos de la mecánica Newtoniana, que no es considerado por el FCI (Hestenes & Wells, 1992). fue realizada una encuesta a un número aproximado de 6000 alumnos de la escuela secundaria superior (liceo) y la universidad, que han pasado el FCI antes y después de la enseñanza de la mecánica. La mejora de los resultados se produjo por los alumnos que habían participado interactivamente en las actividades del curso en las cuales hubo un feed back inmediato por las discusiones con los pares o los profesores (Hake, 1996). Este informe fue sometido a publicación^{iv}.

A pesar de que los resultados obtenidos con los instrumentos de evaluación descritos anteriormente son alentadores, ellos deben ser interpretados con cuidado. Cualquiera que sea el test de selección múltiple, es imposible decir si una respuesta dada ha sido con las razones subyacentes erróneas (Sandin, 1985). Tales tests pueden ser utilizados como indicadores del estado inicial de los alumnos individualmente. Sin embargo, cuando son utilizados después de la enseñanza, un buen resultado de esos tests debería ser considerado como una condición necesaria pero no suficiente en la adquisición de una comprensión conveniente.

La resolución de problemas

Es en el dominio de la mecánica donde han sido estudiadas más a fondo las capacidades de los alumnos para resolver problemas de física. La resolución de problemas ha sido utilizada por los psicólogos cognitivos y los investigadores en ciencias cognitivas como un contexto permitiendo analizar los procesos del pensamiento. Las investigaciones sobre la resolución de problemas que son directamente pertinentes para la enseñanza de la física han sido discutidas con anterioridad (Maloney, 1994). Dentro de los estudios discutidos a continuación, examinamos y analizamos los procesos con los cuales los individuos de niveles de experticias diferentes tienden a resolver los problemas en dinámica.

Un estudio tendiente a identificar las diferencias en las formas como los expertos y los novatos resuelven los problemas de física (Chi y al., 1981). Los sujetos fueron estudiantes de primer ciclo universitario que habían seguido un solo curso de mecánica, un estudiante especializado en física que había terminado su segundo ciclo, un estudiante en tercer ciclo

de física y un profesor de física. Uno de los resultados muestra una tendencia de los expertos a categorizar los problemas según una “estructura profunda”, mientras que los principiantes tienen la tendencia a categorizarlos a partir superficiales.

En otro estudio realizado, la resolución de problemas ha sido analizada a partir de tres etapas: descripción y análisis del problema, construcción de una solución, y control de la solución (Reif, 1983; Reif, 1995). El análisis de esas etapas mostró que los componentes de la resolución de problemas son muy complejos para ser aprendidos a partir de ejemplos y de la práctica. La capacidad de resolver problemas depende no solamente del aprendizaje de los procedimientos sino también de la capacidad de hacer uso de los saberes anexos apropiados (Reif, 1985).

Aplicación de la investigación en la enseñanza

Una de las motivaciones principales para conducir investigaciones sobre las dificultades de los alumnos es la de utilizar los resultados para guiar el desarrollo de los currículos que tomen en cuenta las necesidades y las capacidades de los alumnos. Los resultados de los estudios discutidos a continuación son compatibles con una perspectiva de enseñanza y de aprendizaje que puede ser categorizadas globalmente como “constructivista”. Dos elementos importantes, desde el punto de vista constructivista sobre la manera de adquirir el saber científico, pueden ser resumidos de la manera siguiente: todos los individuos deben construir sus propios conceptos, y el saber que ellos ya poseen (o que ellos piensan tener) influye significativamente en aquellos que pueden aprender. El alumno no es considerado como un agente pasivo de conocimientos, sino como un actor de su creación. Este punto de vista del aprendizaje está en contradicción con el “transmisor”, según el cual la información puede ser suministrada directamente a los alumnos pudiéndola utilizar directamente, sólo con ser enunciada de una manera suficientemente clara. La consecuencia sería que el hecho de hacer un curso, leer un manual escolar y de practicar la resolución de problemas debería permitir a los alumnos desarrollar una comprensión funcional de la física, es decir la capacidad de hacer el razonamiento necesario para aplicar los conceptos y principios apropiados en las situaciones hasta ahora memorizadas.

A continuación se dan algunos ejemplos de estrategias y de materiales de enseñanza que reflejan un punto de vista constructivista. Los ejemplos tomados de experiencias americanas tienen aplicaciones muy amplias. Los ejemplos ilustran la aplicación de la investigación en la enseñanza siendo igualmente pertinentes para la formación de maestros.

Construcción de los conceptos

Los materiales de enseñanza han sido concebidos especialmente para ayudar a los futuros profesores y a los profesores en ejercicio a desarrollar la comprensión conceptual y las capacidades de razonamiento necesarias para enseñar la ciencia como un proceso de investigación (Rosenquist & McDermott y al., 1996). Esta aproximación conceptual de la enseñanza de la cinemática vincula a los estudiantes en actividades estructuradas, basadas en el laboratorio^v, concebidas para ayudarles a desarrollar una comprensión cualitativa de la velocidad instantánea, la aceleración constante y la distinción entre estos dos conceptos. El

énfasis es puesto en la ayuda a los alumnos para que ellos desarrollen sus capacidades para establecer la relación entre los movimientos reales y sus representaciones gráficas. Esos materiales de enseñanza han sido desarrollados en un proceso interactivo de investigación, y de desarrollo de currículos de enseñanza (McDermott, 1991). Además de la investigación sistemática, la concepción inicial de los materiales sacó provecho de las ideas de un profesor experimentado que ha examinado la comprensión de los alumnos de una manera menos formal (Arons, 1977; 1994).

Un estudio realizado para examinar la diferencia entre la utilización precisa de los términos técnicos por los científicos y su utilización empírica por parte de los alumnos. Los resultados sugieren una estrategia de enseñanza general para minimizar las complicaciones lingüísticas en la enseñanza de la mecánica (Touger, 1991).

Las investigaciones que se están realizando en las clases guían el desarrollo de una estrategia de enseñanza que muestra las dificultades frecuentemente experimentadas por los alumnos para reconocer que una superficie inmóvil puede ejercer una fuerza perpendicular sobre un objeto con el cual está en contacto (Minstrell, 1982). Desde este punto de vista, es evidente la fuerza perpendicular ejercida por una mesa sobre un libro, poniendo a estudiar a los alumnos el libro en una serie de situaciones físicas más fácilmente aceptables desde un punto de vista intuitivo (por ejemplo, sobre una mano, sobre un resorte, sobre una superficie flexible, etc.). En un proyecto de desarrollo del currículo, las analogías son utilizadas como un puente entre las creencias incorrectas de los alumnos y las ideas Newtonianas (Clement, 1993).

Una estrategia general de enseñanza para ayudar a los alumnos a superar ciertas dificultades conceptuales es la utilización de actividades de laboratorio utilizando una computadora (Thornton & Sokoloff, 1990). Por ejemplo en cinemática, los alumnos crean en tiempo real los gráficos de la posición, velocidad y aceleración en función del tiempo a partir de su propio desplazamiento. Esas actividades como otras utilizando la computadora han sido incorporadas en de un curso introductorio basado totalmente en actividades de laboratorio (Laws, 1991).

La evaluación de esta enseñanza con la ayuda de los pre-tests y de los post-tests indica que el aprendizaje y la memorización son significativamente mejores que en los cursos donde se emplearon los métodos de enseñanza tradicionales. Desde un punto de vista diferente basado sobre las actividades de laboratorio, los alumnos realizan experiencias simples concebidas para constituir una base para un diálogo socrático (Hake, 1987; Hake, 1992).

Los cursos magistrales interactivos han sido cada vez más utilizados dentro de los cursos de introducción a la física como medio de implicar intelectualmente a los alumnos. En una enseñanza nueva, el profesor realiza un curso interactivo en el cual los alumnos analizan situaciones físicas con la ayuda de hojas de trabajo (Van Heuvelen, 1991^a; 1991^b). La primera vez que el estudiante aborda un tema, el análisis es cualitativo, seguidamente debe hacer un análisis cuantitativo. La enseñanza por los pares es otra aproximación que ha sido utilizada para obtener la participación activa de los alumnos en una clase magistral a gran escala (Mazur, 1996). En muchos momentos del curso, el profesor presenta una pregunta cualitativa y las respuestas múltiples que son concebidas para revelar las dificultades conceptuales corrientes. Después de haber dado su respuesta, los alumnos deben discutir con sus compañeros y proponer una nueva respuesta.

Una serie de preguntas cualitativas fueron utilizadas en los grupos de trabajo para completar los cursos, los manuales escolares y las actividades de laboratorio que caracterizan la enseñanza tradicional (Shaffer & McDermott, 1992). La investigación fue utilizada como una guía para desarrollar la enseñanza complementaria, concebida para beneficiar la comprensión conceptual y las capacidades de razonamiento. Para favorecer el cambio conceptual, los materiales de enseñanza utilizan frecuentemente una estrategia en la cual se favorece deliberadamente la posibilidad de producir un error particular para discutirlo explícitamente. El procedimiento puede ser resumido en una serie de etapas: actualizar, confrontar y resolver (McDermott, 1991).

El proceso a través del cual los alumnos pueden ser animados a realizar un cambio conceptual ha sido estudiado igualmente a partir de un cierto número de perspectivas teóricas. Un modelo de aprendizaje describe el cambio conceptual en términos de conflicto entre las concepciones existentes de un aprendiz y las nuevas concepciones (Hewson & Hewson, 1984). Se sugiere que el aprendiz pueda aceptar adoptar una nueva concepción, si ella es “inteligible, verosímil y útil”. Existe una cierta cantidad de factores importantes, como el grado en el que un alumno sigue siempre una coherencia interna.

Ello sugiere que los procesos de cambio conceptual pueden ser beneficiados en tres tipos: “diferenciación”, “extensión de clase”, y “reconceptualización” (Dyskstra, 1992). Para la diferenciación, los nuevos conceptos surgen de ideas más generales (por ejemplo el reposo y la velocidad constante). Para la extensión de clase, los conceptos diferentes aparecen como semejantes. Para la reconceptualización, se produce un cambio significativo (por ejemplo, una “fuerza implica un movimiento” se convierte en una “fuerza implica una aceleración”).

En otro modelo, los conocimientos de los alumnos son cortados en trozos o descritos en términos de “faceta” que pueden estar ligadas al contenido, las estrategias o el razonamiento (Minstrell, 1992). Un ejemplo de faceta es la noción “Cuando un objeto es mas pesado, más rápido cae”, una idea que es normalmente incorrecta pero que puede ser verdadera dentro de ciertos contextos. En ese modelo, la enseñanza persigue ayudar a los alumnos a modificar las facetas existentes y a agregar nuevas facetas. La enseñanza es considerada como un proceso de ayuda a los alumnos a fin de que ellos incorporen, dentro de una estructura conceptual correcta, las facetas existentes y las facetas nuevas.

Resolución de problemas

Una enseñanza ha sido especialmente elaborada para mejorar las competencias en la resolución de problemas de los alumnos. Han sido desarrolladas una serie de investigaciones sobre las capacidades necesarias para comprender una relación tal como una definición o una ley. (Reif y al., 1976; Reif, 1981). Fue desarrollada una estrategia de enseñanza para enseñar el método general para comprender tal relación. Se enseñó una estrategia explícita de resolución de problemas utilizando la aplicación de la relación. Los resultados de un estudio sobre los efectos de la organización de los conocimientos en la

realización de una actividad sugieren que una presentación jerárquica de informaciones mejora las capacidades de los alumnos para resolver ciertos tipos de problemas. (Eylon & Reif, 1984).

En un grupo de trabajo cooperativo fue desarrollada una estrategia para la enseñanza de las competencias en la solución de problemas. En esta estrategia, las sesiones de resolución de problemas han reemplazado las recitaciones tradicionales como complemento de las actividades de laboratorio y de los cursos (Séller y al., 1992; Séller & Hollabaugh, 1992). Los problemas con un contexto preciso fueron distribuidos entre los grupos de trabajo. Esos problemas difieren considerablemente que aparecen en los capítulos de los libros escolares tradicionales. Ellos colocan al alumno en una situación real en la cual la física debe ser utilizada para concebir una solución al problema. Las informaciones suministradas a los alumnos pueden tener hechos no pertinentes o ser incompletas. Este forma ha sido utilizada para identificar un cierto número de factores importantes que la hagan más eficaz, incluyendo la estructura de los grupos y la formación suministrada a los asistentes de la enseñanza.

Otro tipo de estrategia de enseñanza para la resolución de problemas fue concebida para ser utilizada en los cursos con alumnos numerosos. Se enseña a los alumnos a comenzar la resolución de un problema realizando una descripción cualitativa. Estos identifican los conceptos y los principios pertinentes y justifican su selección. Describen seguidamente cómo aplicar los conceptos y principios para encontrar la solución (Leonard y al., 1996).

Comentarios

Algunos de los estudios experimentales discutidos anteriormente están centrados en la identificación y el análisis de las dificultades de los alumnos, mientras que otros toman en cuenta la concepción y el análisis de las estrategias de enseñanza para abordar estas dificultades. Los resultados del conjunto de estudios conducen a las generalizaciones sobre el aprendizaje y la enseñanza (McDermott, 1993).

La facilidad para resolver los problemas cuantitativos no es un criterio apropiado para la comprensión funcional.

Las preguntas relativas a un razonamiento cualitativo y a las explicaciones verbales son esenciales.

Muchos de los alumnos que han finalizado un curso de introducción a la física pueden resolver los problemas cualitativos, como los de final de capítulo de un manual escolar estándar. Sin embargo, los éxitos sobre tales problemas no garantizan que los alumnos puedan desarrollar una comprensión funcional, es decir, la capacidad de realizar un razonamiento necesario para aplicar los conceptos y principios apropiados dentro de las situaciones hasta ahora no memorizados. Para muchos alumnos, la resolución de problemas es una experiencia pasiva. Los problemas que exigen un razonamiento cualitativo y una explicación verbal demandan un nivel de implicación intelectual más elevada. Existen pruebas surgidas de investigaciones en la cual los alumnos que han hecho la experiencia de la resolución de problemas cualitativos resuelven con más facilidad los problemas cuantitativos, que aquellos que han pasado más tiempo resolviendo los problemas

tradicionales (Shaffer & McDermott, 1992; Thacker y al., 1994). Lo que es todavía más importante es que, los alumnos que han trabajado con los problemas cualitativos resuelven mejor este tipo de problemas y son capaces de dar mejores explicaciones físicas.

Ese resultado sugiere la secuencia siguiente de enseñanza. El estudio de un nuevo sujeto debe comenzar por ayudar a los alumnos a desarrollar una comprensión cualitativa del material a partir de la experiencia o de la observación. Las matemáticas son frecuentemente enseñadas desde muy temprano a través de una presentación típica. Lamentablemente, una vez que las ecuaciones aparecen, los alumnos tienen tendencia a evitar analizar cualitativamente las situaciones. El formalismo matemático debería ser retenido hasta que los alumnos tengan una cierta práctica de razonamiento cualitativo concerniente al fenómeno estudiado.

Es más, se debería solicitar a los alumnos de hacer la síntesis de los conceptos y de las matemáticas, y de articular las relaciones según sus propios términos.

Una estructura conceptual coherente no es un resultado típico de la enseñanza tradicional.

Los alumnos tienen necesidad de participar en el proceso de construcción de modelos cualitativos, eso que puede ayudarlos a comprender las relaciones y las diferencias entre los conceptos.

El desarrollo de un concepto es un proceso interactivo de refinamientos sucesivos. El primer encuentro con un nuevo concepto debería estar íntimamente ligado a las observaciones y a la experiencia de los alumnos. Los refinamientos sucesivos deberían producirse en espiral, los alumnos reconocen la necesidad de explicar los nuevos fenómenos.

Ciertas dificultades conceptuales no son superadas con una enseñanza tradicional.

Las dificultades conceptuales persistentes deben ser explícitamente tratadas por los problemas variados dentro de los contextos diferentes.

En los casos donde es conocido, a través de una investigación o una experiencia de enseñanza, que los alumnos van ciertamente a superar las dificultades, es importante permitir deliberadamente de cometer un error particular y que ese error sea seguidamente tratado explícitamente. Una vez que el error es evidenciado a partir de una tarea apropiada, se puede ayudar al alumno a reconocer y a hacer frente a esta dificultad. En ese punto, es crucial que el profesor intervenga para que la dificultad sea resuelta. Si eso no es hecho, la dificultad tendrá tendencia a quedar latente, y a surgir más tarde dentro de otro contexto.

La investigación y la experiencia adquirida en la formación de maestros han mostrado la necesidad de cursos especiales para la formación de docentes (McDermott, 1990). Dos generalizaciones son particularmente pertinentes en la preparación de los profesores. Ambas son producto de la investigación y de la experiencia en la formación de docentes.

Enseñar recitando es un modo ineficaz de enseñanza para la mayoría de los alumnos.

Los alumnos deben ser intelectualmente activos para desarrollar una comprensión funcional, y la mayor parte de los profesores tienen la tendencia a enseñar como ellos han sido enseñados.

Se debería dar la oportunidad a los profesores de aprender el contenido que ellos tendrían que enseñar y de la manera como ellos deberían enseñar.

Referencias bibliográficas

- Arons, A. (1977). *The Various Language: An Inquiry Approach to the Physical Sciences*. New York: Oxford University Press.
- Arons, Arnold (1994). *A Guide to Introductory Physics Teaching*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Beichner, R. (1994). Testing student understanding of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62, 750-762.
- Bowden, J., G. Dall'Alba, E. Martin, D. Laurillard, F. Marton, G. Masters, P. Ramsden, A. Stephanou, E. Walsh (1992). Displacement, velocity and frames of reference: Phenomenographic studies of students' understanding and some implications for teaching and assessment. *American Journal of Physics*, 60, 262-269.
- Caramazza, A., M. McCloskey and B. Green (1981). Naive beliefs in 'sophisticated' subjects: Misconceptions about trajectories of motion. *Cognition*, 9, 117-123.
- Champagne, A., L. Klopfer, J. Anderson (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, 48, 1074-1079.
- Chi, M.T.H., Feltovich, P.J. and Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in Introductory Mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1241-1257.
- Dykstra, D.I. (1992). Studying conceptual change: Constructing new understandings. In R.F. Duit, F. Goldberg and H. Niedderer (Eds.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies, Proceedings of an International Workshop*, Bremen, Germany, March 4-8, 1991 (pp. 40-58). (Kiel Germany: IPN).
- Eylon, B. and F. Reif (1984). Effects of knowledge organization on task performance. *Cognition and Instruction*, 1, 5-44.
- Finegold, M. and P. Gorsky (1991). Students' concepts of force as applied to related physical systems: A search for consistency. *International Journal of Science Education*, 31, 97-113.
- Goldberg, F.M. and J.M. Anderson (1989). Student difficulties with graphical representations of negative values of velocity. *The Physics Teacher*, 27, 254-260.
- Gunstone, R.F. and R. White (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, 65, 291-299.
- Gunstone, R.F. (1987). Student understanding in mechanics: A large population survey. *American Journal of Physics*, 55, 691-696.
- Hake, Richard R. (1987). Promoting student crossover to the Newtonian World. *American Journal of Physics*, 55, 878-884.

- Hake, R.R. (1992). Socratic Pedagogy in the Introductory Physics Laboratory. *The Physics Teacher*, 33, 1-7.
- Hake, R.R. (1996). Interactive engagement vs. traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. (To be published.)
- Halloun, Ibrahim A. and David Hestenes (1985). The initial state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53, 1043-1056.
- Heller, Patricia, Ronald Keith and Scott Anderson (1992) Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving. *American Journal of Physics*, 60, 627-636.
- Heller, Patricia and Mark Hollabaugh (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 2: Designing problems and structuring groups. *American Journal of Physics*, 60, 637-644.
- Hestenes, D., M. Wells and G. Swackhammer (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Hestenes, D. and M. Wells (1992). A Mechanics Baseline Test. *The Physics Teacher*, 30, 159-166.
- Hewson, Peter W. and Mariana G. A'Beckett Hewson (1984) The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13, 1-13.
- Laws, Priscilla W. (1991) Calculus-based physics without lectures. *Physics Today*, Dec. 1991, 24-31.
- Lawson, R.A. and L.C. McDermott (1987). Student understanding of the work-energy and impulse-momentum theorems. *American Journal of Physics*, 55, 811-817.
- Leonard, William J., Robert J. Dufresne and Jose P. Mestre (1996). Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. *American Journal of Physics*, (to be published 1996-1997).
- Maloney, David P., (1994). Research on Problem Solving: Physics. In Gabel, Dorothy L. (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, New York: MacMillan Publishing Company.
- Mazur, Eric (1996). *Peer Instruction: A User's Manual*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- McDermott, L.C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, 37 (7), 24-32.
- McDermott, L.C., M.L. Rosenquist and E.H. van Zee (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55, 503-513.
- McDermott, L.C. (1990). A perspective on teacher preparation in physics and other sciences: The need for special science courses for teachers. *American Journal of Physics*, 58, 734-742.
- McDermott, L.C. (1991). Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned—Closing the gap. *American Journal of Physics*, 59, 301-315.
- McDermott, L.C. (1993). Guest Comment: How we teach and how students learn—A mismatch? *American Journal of Physics*, 61, 295-298.
- McDermott, L.C., P.S. Shaffer and M.D. Somers (1994). Research as a guide for teaching introductory mechanics: An illustration in the context of the Atwood's machine. *American Journal of Physics*, 62, 46-55.

- McDermott, Lillian C. and the Physics Education Group at the University of Washington (1996). *Physics by Inquiry* Vols. 1 and II. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- McDermott, Lillian C., Peter S. Shaffer and the Physics Education Group at the University of Washington. (1991-present). *Tutorials in Introductory Physics*.
- Minstrell, J. (1982). Explaining the 'at rest' condition of an object. *The Physics Teacher*, 20, 10-14.
- Minstrell, J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In R.F. Duit, F. Goldberg and H. Niedderer (Eds.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies, Proceedings of an International Workshop*, Bremen, Germany, March 4-8, 1991 (pp. 110-128). Kiel Germany: IPN.
- Rosenquist, M.L. and L.C. McDermott (1987). A conceptual approach to teaching mechanics. *American Journal of Physics*, 55, 407-415.
- Reif, F., J.H. Larkin and B.C. Bracket (1976). Teaching general learning and problem solving skills. *American Journal of Physics*, 44, 212-217.
- Reif, F. (1981). Teaching problem solving—A scientific approach. *The Physics Teacher*, 19, 310-316.
- Reif, F. (1983). Understanding and teaching problem-solving in physics. In G. Delacote, A. Tiberghien, and J. Schwartz (Eds.), *Research on Physics Education: Proceedings of the First International Workshop*, La Londe les Maures, France, June 26-July 13, 1983 (pp. 15-53). Paris France: Éditions du CNRS.
- Reif, F. (1985). Acquiring an effective understanding of scientific concepts. In L.H.T. West and L. Pines (Eds.), *Cognitive Structure and Conceptual Change*. (pp. 133-151). Orlando, FL: Academic Press .
- Reif, F., and Sue Allen (1992). Cognition for interpreting scientific concepts: A study of acceleration. *Cognition and Instruction*, 9, 1-44.
- Reif, Frederick (1995). Millikan Lecture 1994: Understanding and teaching important scientific thought processes. *American Journal of Physics*, 63, 17-32.
- Saltiel, E. and J.L. Malgrange (1980). 'Spontaneous' ways of reasoning in elementary mechanics. *European Journal of Physics*, 1, 73-80.
- Sandin, T.R. (1985). On not choosing multiple-choice. *American Journal of Physics*, 53, 299-300 (letter).
- Shaffer, P.S. and L.C. McDermott (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part II: Design of an instructional strategy. *American Journal of Physics*, 60, 1003-1013.
- Thacker, Beth, Eunsook Kim, Kelvin Trefz and Suzanne M. Lea (1994). Comparing problem solving performance of physics students in inquiry-based and traditional introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 62, 627-633.
- Thornton, R.K. and D.R. Sokoloff (1990). Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics*, 58, 858-867.
- Thornton, R.K. and D.R. Sokoloff (1996). Assessing and improving student learning of Newton's laws. Part I: The force and motion conceptual evaluation and active learning laboratory curricula for the first and second laws. (To be published.)
- Trowbridge, D.E., and L.C. McDermott (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 48, 1020-1028.
- Trowbridge, D.E., and L.C. McDermott (1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American Journal of Physics*, 48, 242-253.

- Touger, Jerold S. (1991). When words fail us. *The Physics Teacher*, 29, 90-95.
- Van Heuvelen, A. (1991a). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59, 891-897.
- Van Heuvelen, A. (1991b). Overview, Case Study Physics. *American Journal of Physics*, 59, 898-907.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1, 205-221.

Notas del traductor

ⁱ En los Estados Unidos de Norteamérica la formación de maestros tiene lugar en la universidad, en Francia en los IUFM (Institutos Universitarios para la formación de maestros).

ⁱⁱ En Francia la enseñanza secundaria comprende dos tipos de escuela: los colegios (4 años), los alumnos entran en una especie de escuela primaria (5 años) luego los liceos (3 años).

ⁱⁱⁱ Aquí y en la continuación del documento, nosotros hemos traducido “introductory physics” o “introductory physics course” por introducción a la física o curso de introducción a la física. Se trata de curso de física propuesto al inicio de la universidad.

^{iv} El sitio correspondiente a esos proyectos: <http://modeling.la.asu.edu/modeling/R&E/Research.html> es interesante

^v Nosotros hemos traducido “laboratory based” por basado sobre el laboratorio, esto significa una enseñanza a lo largo del cual los estudiantes hacen las experiencias, pudiéramos decir los TP-cursos.