

Acerca de la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de Fuerza y Trabajo



Antonio Lara-Barragán Gómez^{1,2}

¹*Departamento de Física, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, A Revolución 1500, Sector Reforma, Guadalajara, Jal. México.*

²*Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Panamericana campus Guadalajara, Circunvalación Poniente no. 49, Cd. Granja, Zapopan, Jal México.*

E-mail: alara@up.edu.mx

(Recibido el 24 de Junio de 2008; aceptado el 13 de Agosto de 2008)

Resumen

Se presenta una forma de acercarse a la enseñanza de los conceptos de fuerza y de trabajo para un curso introductorio de física basado en álgebra. Se hace un breve recuento de resultados obtenidos por otros investigadores en cuanto a su conceptualización. Uno de los aspectos tratados es la manera en que se usa el lenguaje, la cual puede ser definitiva para un adecuado aprendizaje de los conceptos, especialmente el de fuerza. Se describe la manera en que se aplica la metodología de enseñanza y los análisis cuantitativo y cualitativo de los resultados obtenidos en un curso regular de física para estudiantes de ingeniería y ciencias de primer ingreso al nivel superior.

Palabras clave: Fuerza, trabajo, enseñanza, aprendizaje, física.

Abstract

An approach to the teaching of force and work for an introductory, algebra-based course, and a brief review of results from others authors are presented. One main aspect is how language is used and how it is important for an adequate learning, specially the concept of force. The teaching methodology was tested in an introductory course for freshmen majoring in science and engineering and the results of research on learning the concepts are analyzed.

Keywords: Force, work, teaching, learning, physics.

PACS: 01.30.Ib, 01.40.gf, 01.50.Zv.

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de varios lustros, muchos proyectos de investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos de fuerza y trabajo han arrojado diversos resultados en estudiantes de primer ingreso al nivel superior. Específicamente sobre el concepto de fuerza, de las fuentes consultadas se resume en que muchos estudiantes piensan [1, 2, 3, 4, 5, 6]:

- Que solo los seres vivos pueden aplicar fuerzas. Por ejemplo, en el contexto gravitacional, les es difícil *entender* que una mesa aplica una fuerza hacia arriba a un objeto, o que cuando se golpea una pared, ésta aplica una fuerza a la mano.
- En general, que las fuerzas, tal como se entienden en física, son solamente alguna forma de *influencia* sobre el movimiento de un objeto; por ejemplo, la fricción es algo que hace que los objetos en movimiento se detengan.
- Que es una verdad incontrovertible lo que se ha denominado una *teoría del ímpetu del movimiento*. Por ejemplo, alrededor de un 75% piensan que un

objeto lanzado hacia arriba tiene una “fuerza de lanzamiento” o “fuerza de la mano” que lo mantiene en movimiento vertical hacia arriba aún *después* de estar en contacto con la mano que si no hay fuerzas aplicadas a un objeto, éste se encuentra en reposo o llega al reposo inmediatamente.

- Que, en general, la fuerza es proporcional a la rapidez de un objeto.
- Que la tercera ley de Newton es un enunciado meramente retórico, ya que está en franca oposición con el sentido común.

Por otra parte nuestra propia experiencia en el aula universitaria muestra que cuando se toca el tema de fuerzas –en el contexto de las leyes de Newton–, han de considerarse tres aspectos con los cuales dirigir la didáctica. Tales aspectos por un lado resumen los hallazgos enunciados en el párrafo anterior y, por otro, determinan la comprensión y el consiguiente aprendizaje del concepto [7]: (a) ¿Qué es una fuerza? (b) ¿cuál es la relación entre las fuerzas y el movimiento?, y (c) ¿qué sucede, en términos de fuerzas, cuando dos cuerpos interaccionan?

Un punto de acuerdo común entre los autores mencionados arriba –y, estamos seguros, entre los físicos de la comunidad científica–, es que el concepto de fuerza es fundamental para la estructura conceptual de la mecánica en el primer acercamiento dado por los cursos introductorios de física. A su vez, una formulación conceptual congruente de fuerza conducirá, de manera natural, a un desarrollo adecuado del concepto de trabajo.

En este documento se propone un procedimiento para la enseñanza de los conceptos de fuerza y de trabajo utilizado con éxito en las aulas de dos universidades de la zona metropolitana de Guadalajara, México. La manera en que organizamos el documento es la siguiente. En una primera sección se describe con cierto detalle la metodología utilizada en el presente estudio. En una segunda sección se explora el concepto de fuerza y su didáctica, y se proporcionan respuestas a las tres preguntas planteadas anteriormente. En la tercera sección se describe el concepto de trabajo y su didáctica y, enseguida, se presentan los resultados de la aplicación de la metodología.

II. METODOLOGÍA

Las hipótesis de trabajo son: a) la conceptualización que ordinariamente se utiliza, aún en libros de texto reconocidos, no es apropiada [8, 9]; y b) se puede desarrollar una técnica acorde con una concepción consistente con la física misma, capaz de mejorar los aprendizajes de los conceptos mencionados.

El estudio se realiza en dos universidades de la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México, con estudiantes de nuevo ingreso a carreras de ingeniería y ciencias. La propuesta de enseñanza y su contenido se refiere a un curso introductorio que no incluye cálculo, por lo que el nivel de profundidad en el concepto de trabajo no llega al uso de integrales de línea, ni tratamiento de cuerpo rígido. Los cuerpos que se consideran entran dentro del modelo de partícula.

Siguiendo a Cohen y Manion [10], el problema planteado da lugar a una metodología quasi experimental, en la que, en primer término, se eligen grupos experimentales y de control, para los que se sigue el esquema $O_i - X - O_f$, donde O_i representa la observación inicial (pretest), X la aplicación de la propuesta de enseñanza aprendizaje a la que se refiere este trabajo y O_f la observación final (postest). Tal esquema se aplica a los grupos experimentales y a los grupos de control en los que no se aplica la propuesta. Lo que se denomina observación consiste en un examen de diagnóstico, el cual consta de dos partes. La primera es una prueba conocida como *Force Concept Inventory*, muy utilizada en investigación de desarrollos conceptuales [3] que tiene 29 preguntas de opción múltiple, con las que se explora completamente el concepto de fuerza, y la segunda parte consiste en un examen de seis problemas numérico conceptuales y un análisis de caso que, en su conjunto, exploran las posibilidades de aplicación del concepto de trabajo. La naturaleza de la primera parte del examen de diagnóstico no permite un cálculo directo simple de la media en las respuestas correctas, por lo que se utiliza la

distribución binomial [11]. La aplicación de las fórmulas se realiza de la siguiente manera:

Para la media se tiene $\mu = np$, mientras que para la desviación estándar se tiene $\sigma = \sqrt{npq}$, donde p es la probabilidad favorable (o éxito), q la probabilidad desfavorable (o fracaso), tal que $q = 1-p$, y n el número de pruebas repetidas. En este caso, n representa el número total de reactivos del examen, esto es, $n=29$. La probabilidad p , se calcula dividiendo el número total de respuestas correctas – la que a su vez no es más que la suma de todas las respuestas correctas para un grupo dado- entre el número total de preguntas contestadas por ese grupo, que se calcula multiplicando n por el número de estudiantes.

Se trabaja con dos grupos experimentales y dos grupos de control, todos de estudiantes de primer ingreso a carreras de ingeniería. El total de estudiantes en los grupos experimentales fue de 49, mientras que los estudiantes en los grupos de control fueron 52.

Por otro lado, dentro de los estudios que se han realizado para evaluar los resultados de exámenes de diagnóstico análogos al que aquí se ha aplicado, existe el llamado factor de Hake, el cual representa una medida de la *ganancia posible* (mejora, adelanto). Richard Hake, de la Universidad de Indiana estudió los resultados de un examen de diagnóstico de características similares a las del examen aquí utilizado, aplicado de la misma manera que en el caso presente, pero a más de 6 500 estudiantes de 62 cursos dirigidos a estudiantes de nuevo ingreso a la universidad [12]. Hake encontró que los cursos en los que se utiliza algún método interactivo -basado en un programa educativo reformado con base en lo que se denomina Investigación Educativa en Física o, de sus siglas en inglés, PER (Physics Education Research)- obtuvieron muy altas ganancias posibles en comparación con cursos tradicionales. Encontró también que en diferentes instituciones con diferentes resultados en exámenes de opción múltiple estandarizados (que van desde el 25% al 75%), los cursos de Física con estructuras similares, alcanzan proporciones similares de ganancia posible. Entonces, el factor de Hake es un buen indicador del mérito académico de un método de enseñanza.

Los resultados generales en la Universidad de Indiana muestran que los grupos con enseñanza tradicional tienen un factor de Hake de 0.16 en el postest, mientras que los basados en cursos con métodos de enseñanza basados en PER, muestran factores de Hake que oscilan entre 0.35 y de 0.41, dependiendo de los métodos utilizados. El factor de Hake es:

$$h = \frac{\text{postest}(\%) - \text{pretest}(\%)}{100\% - \text{pretest}(\%)} \quad (1)$$

Para evaluar el modelo didáctico con el concepto de trabajo, se realiza un estudio semejante. Sin embargo, dado que tal examen no es de las mismas características que el examen para fuerzas, no se calcula el factor de Hake, sino que solamente se comparan los resultados de pretest con los de postest. En la sección IV se presentan los resultados obtenidos con ambos exámenes.

III. LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE FUERZA

La forma de acercarse al concepto de fuerza comienza con la caracterización de lo que se entiende por *Física* y su congruencia con todo el desarrollo del curso. La definición que utilizamos en nuestro curso es: *física es la ciencia que estudia todos los aspectos mensurables de la naturaleza*. Por consiguiente, se hace hincapié en que la física es, en esencia y por esencia, una ciencia experimental, de manera que las demostraciones (experimentos de cátedra) y el laboratorio forman una parte imprescindible en la enseñanza.

Caracterizar a las fuerzas es un proceso de refinamientos sucesivos durante algunas sesiones de clase hasta dar con una definición completa y consistente para el nivel en que se trabaja. Para este caso, la primera pregunta a contestar, esto es, la pregunta disparadora con que se inicia el tema es: ¿Qué es una fuerza? El primer acercamiento se hace por medio de una demostración. Se empuja y se jala un objeto, y por medio de un diálogo socrático [13], se lleva a que los alumnos infieran que *una fuerza es todo acto de jalar o empujar*. Esto conduce al caso aparentemente contradictorio de un objeto en reposo sobre una mesa. Es de hacer notar que para que el objeto no caiga, la mesa debe *empujarlo* hacia arriba, lo que puede comprobarse por experimentación directa al sostener en la mano cualquier objeto; la experimentación con uno mismo es de gran utilidad. Con esto, puede inferirse, además, que la aplicación de una fuerza no siempre produce un movimiento.

El segundo refinamiento se da con la segunda ley de Newton, para la que un acercamiento nuevamente fenomenológico conduce a la idea intuitiva de masa como medida de la inercia –suponemos que el tema de primera ley de Newton y el concepto de inercia se han tratado previamente–. La forma en que se ha procedido, es apelar a un experimento pensado: tenemos dos objetos del mismo material de diferentes tamaños, por lo que tienen diferentes masas, ambos en reposo. ¿Cuál de los dos es más fácil de mover? Ahora, pensemos que ambos se encuentran en movimiento con la misma rapidez; ¿cuál de los dos es más fácil de detener? De aquí se infiere que las fuerzas producen aceleraciones (o deceleraciones, según sea el caso). Es claro que en este caso se ha llegado al concepto de masa inercial. La propuesta contiene además una restricción: no se menciona este concepto ni el de masa gravitacional, pues no se ha visto la necesidad de introducir más conceptos, debido a que nuestra experiencia muestra que estos conceptos causan confusión a los y las estudiantes. Además, el curso que seguimos es introductorio; en el siguiente semestre el plan de estudios señala una materia específica de Mecánica, en la cual se profundiza sobre este tema.

En el curso del desarrollo del concepto ha de enfatizarse que el contenido de la segunda ley de Newton es el de una relación causa-efecto y no una definición de fuerza como masa por aceleración o, peor, una definición de aceleración. Se ha tenido la experiencia de que la mejor manera de evitar esto es definir, primero, el momento ($p = mv$) o cantidad de

Acerca de la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de Fuerza y Trabajo movimiento, para enunciar la segunda ley en términos del cambio de momento:

$$F = \frac{\Delta p}{t} \quad (2)$$

y, posteriormente, deducir de ella la conocida relación $F = ma$, para la cual se enfatiza igualmente su carácter de relación causa-efecto y su concepto operativo. Es claro que debe hacerse notar, por medio de ejemplos y ejercicios, que la fuerza a que se refieren las ecuaciones anteriores es una fuerza neta o tal, es decir es la suma de todas las fuerzas aplicadas al cuerpo de interés, que es el cuerpo que se estudia. Este acercamiento rompe con la concepción tradicional de enseñar primero cinemática y después dinámica. La aceleración aparece como un concepto que es consecuencia natural de la formulación de la segunda ley de Newton en términos del momento. Así, queda claro que *aceleración* no es más que el nombre que le damos al hecho de la variación de la velocidad por unidad de tiempo y no la causa de esta variación. Toda esta discusión responde la segunda pregunta planteada en la introducción.

Finalmente, el siguiente refinamiento del concepto de fuerza se obtiene de la tercera ley de Newton, con lo que se contesta la tercera pregunta de la introducción. La tercera ley de Newton se conoce, generalmente, como la ley de la acción y la reacción y es fácil constatar que prácticamente todo estudiante que ingresa a la universidad conoce el enunciado. Sin embargo, son muy pocos los que entienden su significado y su contenido conceptual, de manera que para lograr que los estudiantes lleguen a comprender el significado de la ley, se necesitan las cuatro definiciones previas que presentamos a continuación [14]: el *objeto*, que es el cuerpo a que se le aplica la fuerza; el *agente*, que es el cuerpo que aplica la fuerza; la *acción*, que es la fuerza que el agente le aplica al objeto y la *reacción*, que es a fuerza que el objeto le aplica al agente. Estas definiciones se presentan como postulados *antes* de analizar el enunciado de la ley. Es importante enfatizar el hecho de que acción y reacción son *nombres* que se les da a las fuerzas descritas por la tercera.

Otro aspecto que ha de hacerse notar es que la tercera ley describe las interacciones entre dos cuerpos, ya que se presenta, implícitamente, en términos de cómo un cuerpo interactúa con otro. De aquí que la tercera ley proporciona el refinamiento final a la definición de fuerza. La manera de proceder ha de conducir a los y las estudiantes a que infieran lo siguiente: a) las fuerzas son el producto o resultado de una interacción; b) las fuerzas siempre aparecen en pares, denominados pares acción-reacción (en el contexto newtoniano); c) la acción y la reacción son fuerzas aplicadas *a cuerpos diferentes*.

Cabe aclarar que en esta propuesta las tres leyes de Newton se estudian una detrás de otra sin hacer mención de la cinemática. Desde el punto de vista de lo que entendemos por coherencia conceptual, la cinemática parece ser una serie de postulados que no permiten un acercamiento fenomenológico al desarrollo de la mecánica. Hasta donde sabemos, la mecánica fue construyéndose sobre la dinámica, basta con leer cualquier libro sobre historia de la física y revisar los *Principia* de Newton. Pensamos que la cinemática es un producto emergente que no tiene una real razón de ser, salvo el modelo pedagógico que la hizo nacer.

Las discusiones anteriores llevan a lo que denominaremos *concepción de transición*, de las fuerzas. Tal denominación se debe a que es una manera de entender el concepto que va de un nivel elemental, muchas veces equivocado, producto de la educación media y media superior, a un nivel avanzado correspondiente a los estudios superiores de una carrera profesional en física o en ingenierías. La concepción de transición tiene los siguientes aspectos que son válidos en el contexto de la física newtoniana:

- a) Toda fuerza se describe por, y cumple con, las tres leyes de Newton sin excepción.
- b) Las fuerzas no tienen existencia en sí mismas, sino son siempre resultado de una interacción.
- c) La interacción consiste en todo acto de jalar o empujar que un agente realiza sobre un objeto y que, bajo ciertas circunstancias, producen un cambio en el momento, de la misma magnitud, tanto en el agente como en el objeto; en otras palabras, se produce una aceleración (o deceleración) en el agente y en el objeto proporcional a la masa de cada uno de ellos.

Con esta caracterización, la enseñanza del concepto de fuerza debe considerar un lenguaje apropiado. Frases como: “una fuerza actúa sobre un cuerpo...” han de evitarse, utilizando en su lugar: “*se aplica* una fuerza sobre un cuerpo...”. Ha de recordarse constantemente que las fuerzas no actúan, sino que se aplican, concepción que facilita la comprensión de fenómenos mecánicos, ya que su análisis solamente requiere identificar las interacciones y los cuerpos que interaccionan. A continuación transcribimos, en forma resumida, una clase típica en la que los estudiantes infieren la causa del movimiento circular.

En la exploración inicial de los conceptos previos el profesor pregunta por la causa de que, por ejemplo, una piedra atada a una cuerda puede mantenerse en movimiento circular en un plano horizontal por encima de la cabeza. Una respuesta recurrente incluye la presencia de una “fuerza centrífuga” que es la reacción a una fuerza centrípeta. Cuando se les cuestiona sobre estos conceptos, o se les pide que los expliquen, otra respuesta común es “porque así me lo enseñaron en la preparatoria”. Después de esto, el profesor les hace recordar las características que definen las fuerzas con base en las leyes de Newton y que lo primero es establecer un sistema de referencia. La forma elegida es con el origen en el centro del círculo formado por el movimiento. En seguida, se enfatiza que el cuerpo de interés para el análisis es la piedra y que se están buscando únicamente las fuerzas aplicadas a tal cuerpo. Acto seguido, el profesor les pregunta por las interacciones; después de algunas discusiones, los estudiantes infieren que existen dos interacciones: cuerda-mano y cuerda-piedra, por lo se concluye que la segunda de ellas es la interacción que interesa. A invitación del profesor, se identifica ahora a la cuerda como el agente y a la piedra como el objeto, de donde la acción es la fuerza que la cuerda aplica a la piedra y la reacción es la fuerza que la piedra aplica a la cuerda. Finalmente, la conclusión es que solamente hay una fuerza aplicada a la piedra, cuya dirección es sobre la cuerda hacia el centro, razón por la que se denomina *centrípeta*. Algunos

estudiantes no están convencidos, e insisten en la presencia de una “fuerza centrífuga” *aplicada a la piedra*. Se les cuestiona por la interacción que da lugar a tal fuerza, y después de algunas discusiones, llega a convencerse de que, en el contexto newtoniano, con respecto al sistema de referencia inercial elegido, no puede existir tal fuerza *aplicada a la piedra*. La reacción a la fuerza centrípeta es, en efecto, una fuerza centrífuga, pero *está aplicada a la cuerda*. El punto sutil de la tercera ley de Newton es que la acción y la reacción están aplicadas a cuerpos diferentes.

IV. LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE TRABAJO

El trabajo se define en términos algebraicos, usualmente en los siguientes términos: “el trabajo W , efectuado por una fuerza constante F que mueve un cuerpo por un desplazamiento s en dirección de la fuerza, es el producto de la magnitud de ésta y del desplazamiento.” [15, 16]. Más adelante la definición se generaliza al producto punto o producto escalar entre la fuerza y el desplazamiento. Tal forma de definir el trabajo, tiene dos problemas: no presenta un carácter físico fenomenológico, y es inconsistente con la caracterización anterior de fuerzas.

En primer lugar, los estudiantes han de comprender que las matemáticas son el lenguaje de la física y que las expresiones algebraicas siguen a la conceptualización intuitiva, observacional o experimental y, en segundo lugar, si las fuerzas no tienen existencia en sí mismas, tampoco pueden realizar algo que se llama trabajo; de hecho no pueden efectuar acto alguno, sólo pueden ser aplicadas por algún agente [8, 17, 18].

Una manera efectiva de lograr un mejor entendimiento de este concepto es comenzar con el mismo lenguaje utilizado para la tercera ley de Newton: Un agente le aplica una fuerza a un objeto y, como consecuencia, el objeto se mueve para recorrer una distancia. En el caso del trabajo, la condición a satisfacer es considerar el movimiento del objeto *mientras se le aplica la fuerza*. Esto es consecuencia del estudio anterior. Entonces, se postula una definición general, de la cual, en sesiones posteriores se pueden obtener resultados generales como los teoremas de trabajo y energía. Nuevamente, por el uso del diálogo socrático se puede llevar a que los estudiantes lleguen a una definición de trabajo en los siguientes términos: *Decimos* que el agente realiza trabajo sobre un objeto, cuando éste se mueve en dirección de la fuerza y recorre una cierta distancia *mientras se le aplica la fuerza*.

Debe hacerse hincapié, antes de seguir adelante, que la definición anterior es solo válida con el modelo de partícula y con las leyes de Newton. Por otra parte, tal definición conduce de manera natural al concepto de trabajo termodinámico, e implica toda una serie de conceptos anteriores, los cuales son reforzados y aplicados directamente. Ahora, se puede decir que, para medir (o calcular) el trabajo realizado *por el agente*, sobre *el objeto*, debe utilizarse una expresión algebraica que contenga a la fuerza total o una componente de ella en la misma dirección del movimiento. Para llegar a ella se realiza un experimento

de cátedra en el que se puede jalar un carrito con una cuerda para sentir la diferencia al jalar a diferentes ángulos. Ha de enfatizarse la diferencia entre dirección y sentido. Para el caso de iniciar un movimiento a partir del reposo el intervalo de valores posible es $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ haciéndose ver el significado de los valores intermedios. La expresión a que debe llegarse directamente es:

$$W = (F \cos \theta)s = Fs \cos \theta \quad (3)$$

Lo siguiente es analizar la definición y su expresión algebraica de la siguiente manera. Del experimento es evidente que el ángulo es el comprendido entre la fuerza y la *dirección del movimiento*. Esto puede probarse teóricamente y se destacan tres casos importantes: a) $\theta = 0^\circ$, b) $\theta = 90^\circ$ y c) $\theta = 180^\circ$. El primer caso recupera la expresión algebraica $W = Fs$, que es un concepto que ya existe en la memoria de el/la estudiante y no requiere mayores discusiones. Sin embargo, los dos siguientes casos son difíciles para ellos y ellas. El tercer caso implica que $W = -Fs$, el agente realiza un trabajo *negativo* sobre el objeto. Esta conclusión es confusa, ya que ¿cómo es posible realizar un trabajo negativo? La comprensión cabal de este concepto sólo puede lograrse cuando se ha discutido y entendido el concepto de energía [19, 20]. La recomendación aquí es dejar este caso hasta entrar a la discusión del concepto de energía y el trabajo como un proceso de transferencia de energía. No es recomendable utilizar ideas como que es, por ejemplo el aire el agente que realiza el trabajo por medio de la resistencia, puesto que, de acuerdo con la definición construida, tanto la fricción como la resistencia no realizan trabajo, lo cual es un hecho reconocido y un error frecuente encontrado en libros de texto [8].

El caso $\theta = 90^\circ$ implica que el trabajo realizado por el agente es cero. Este caso puede ser tan confuso como el anterior, pero puede ejemplificarse tanto con el carrito del experimento anterior, como con el experimento de la piedra atada a una cuerda en movimiento circular donde es posible entender cómo es que un agente que aplica una fuerza centrípeta no realiza trabajo.

Un aspecto importante del método es, como en el caso anterior de la fuerza, el uso del lenguaje. Generalmente por costumbre los y las estudiantes tienden a utilizar con ligereza los términos técnicos. Frase como “una fuerza realiza trabajo”, “se realiza trabajo para mover una ...”, o semejantes, han de corregirse continuamente para cambiarlas por “un agente (o un cuerpo) realiza trabajo sobre un agente...” El hecho de que dos cuerpos interaccionan nunca debe obviarse. En el contexto de las leyes de Newton ese tipo de interacciones conforman la base fundamental sobre la que descansa tanto el concepto de fuerza, como el de trabajo.

IV. RESULTADOS

Como se describió en la sección de metodología, se aplica el examen de diagnóstico a los grupos de control y a los grupos experimentales al inicio y al final del ciclo escolar

Acerca de la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de Fuerza y Trabajo correspondiente (un semestre). Los resultados de la primera parte del examen así obtenidos se encuentran resumidos en la tabla I. Los factores de Hake para estos resultados son:

Grupos experimentales: 0.39
Grupos de control: 0.14

Puede observarse que en los grupos experimentales hubo un aumento del 82.8% en el promedio de respuestas correctas, mientras que en los grupos de control se observa un aumento del 37%. Aunque para los grupos experimentales es un buen aumento, todavía no alcanza niveles completamente satisfactorios, ya que en términos de acreditación grupal, obtienen una calificación de 58.6, que en una escala estándar de 0 a 100, continúa siendo reprobatoria.

En cuanto al factor de Hake, se observa que el valor obtenido para los grupos experimentales cae dentro del intervalo reportado en la literatura como un valor satisfactorio. El modelo de enseñanza es, entonces, adecuado dentro de parámetros estandarizados aceptados.

En cuanto a la segunda parte del examen de diagnóstico referente al concepto de trabajo, se observa que en los problemas numérico conceptuales los grupos experimentales mejoraron notablemente su desempeño en cuanto a la forma de plantear y proponer la solución del problema; es decir, mostraron una mejor capacidad de análisis de la situación, con lo que en algunos casos pudieron emitir hipótesis que los guiaron en la aplicación de conceptos y ecuaciones. En estos aspectos, los estudiantes de los grupos de control continuaron con su aplicación mecánica y rutinaria de fórmulas; no se observa, en general, un avance significativo en la forma de abordar y resolver problemas. Por ejemplo, en uno de los problemas de la segunda parte del examen, se pide calcular el trabajo realizado por el agente que aplica una fuerza centrípeta sobre un objeto, mientras éste describe una circunferencia de radio R y da una vuelta completa en 1 s. La respuesta es cero, sin necesidad de realizar cálculos; sin embargo cerca del 65% de los estudiantes de control realizó el cálculo con la ecuación $W = Fd$, utilizando el perímetro (la longitud de la circunferencia) para la distancia d en el postest.

TABLA I. Resultados de pretest y postest para los grupos experimentales y los grupos de control.

	Grupos experimentales		Grupos de control	
	Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.
Pretest	9.3	2.5	8.3	2.4
Postest	17.0	2.7	11.4	2.6

VI. CONCLUSIONES

Uno de los problemas clave en la enseñanza de las ciencias es la manera en que los cursos pueden utilizarse para que los y las estudiantes desarrollen habilidades de pensamiento y hábitos intelectuales básicos. Para un país como el nuestro,

lograr esto ha de convertirse en una prioridad impostergable, dados los pobres resultados obtenidos en el examen internacional del PISA de la OCDE [21].

En este trabajo se ha presentado una metodología de concepción cuyos resultados son acordes a los estándares encontrados en la literatura. Los resultados de su aplicación en estudiantes de primer ingreso al nivel superior son satisfactorios, también de acuerdo con el instrumento de medición representado por el factor de Hake, además de que cualitativamente, se observa que el método presenta ventajas sobre la enseñanza tradicional de los conceptos a que nos referimos en el presente estudio.

El método, tanto como la concepción, puede aplicarse directamente a cursos de nivel secundario y bachillerato, ya que se ha diseñado para cursos en los que no se utiliza cálculo. Se cree que podría mejorar notablemente el desempeño académico de los y las estudiantes y evitaría el frecuente choque conceptual en el ingreso a la universidad.

REFERENCIAS

[1] Clement, J., *Students' preconceptions in introductory mechanics*, American Journal of Physics **50**, 66-71 (1982).
[2] Halloun, I. A. and Hestenes, D., *The initial knowledge state of college physics students*, American Journal of Physics **53**, 1043-1055 (1985).
[3] Hestenes, D., Wells, M. and Swackhamer, G., *Force Concept Inventory*, The Physics Teacher **30**, 141-158 (1992); Hestenes, D. and Wells, M., *A mechanics baseline test*, The Physics Teacher **30**, 159-166 (1992).
[4] Knight, R., *The Vector Knowledge of Beginning Physics Students*, The Physics Teacher **33**, 74-80 (1995).
[5] Knight, R., *Five Easy Lessons. Strategies for Successful Physics Teaching*. (Addison Wesley, San Francisco, USA. 2004)
[6] Jewett, J. W., *Energy and the confused student I: Work*, The Physics Teacher **46**, 38-43 (2008).

[7] Lara Barragán Gómez, A., Cerpa Cortés G. y Núñez Trejo, H., *Estudio analítico del rendimiento escolar en estudiantes de nuevo ingreso al nivel superior*, Reporte Interno, Departamento de Física, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara (2007).
[8] Bauman, R. P., *Physics that textbook writers usually get wrong: I. Work*, The Physics Teacher **30**, 264-269 (1992).
[9] Jordan, R. G., *Work reworked*, The Physics Teacher **40**, 526-527 (2002).
[10] Cohen, L. y Manion, L., *Métodos de investigación educativa*. (La muralla, Madrid, 1990)
[11] Walpole, R. E., Myers, R. H. y Myers, S. L., *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. (John Wiley and Sons, San Francisco, 1998)
[12] Redish, E. F. and Steinberg, R. N., *Teaching Physics: figuring out what works*, Physics Today **52**, 24-30 (1999).
[13] Julian, G.M., *Socratic dialog-with how many?*, The Physics Teacher **33**, 338-339 (1995).
[14] Touger, J.S., *When words fail us*, The Physics Teacher **29**, 90 ss (1991).
[15] Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K. S., *Física, Volumen 1*. (Compañía Editorial Continental, México, p. 230, 2005).
[16] Hewitt, P. G., *Física Conceptual*. (Pearson Educación, 10a Ed., México, p. 111, 2007).
[17] Mallinckrodt, A. J. and Leff, H., *All about work*, American Journal of Physics **60**, 356-365 (1992).
[18] Sherwood, B. A., *Pseudowork and real work*, American Journal of Physics **51**, 597-602 (1983).
[19] Lawson, R. and McDermott, L. C., *Student understanding of the work-energy and impulse-momentum theorems*, American Journal of Physics **55**, 811-817 (1987).
[20] Mungan, C. E., *A primer on work-energy relationships for introductory physics*, The Physics Teacher **43**, 10-16 (2005).
[21] OECD (2007). *PISA 2006: Science competencies for tomorrow's world*. <www.oecd.org> Consultado el 20 de diciembre de 2007.