

Secuencias didácticas ABP para principios de la Dinámica y leyes de Newton en bachillerato



Adela Téllez Felipe^{1,2}, A. López Ortega³, César Mora²

¹Escuela Preparatoria Oficial No. 166. Calle Manuel Ávila Camacho No.100
Emilio Portes Gil, C.P. 50640, San Felipe del Progreso, Estado de México, México

²Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada.
Instituto Politécnico Nacional. Av. Legaria 694, Col. Irrigación, C.P. 11500, México D. F., México

³Escuela Superior de Física y Matemáticas. Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Edificio 9, C.P. 07738, México D. F., México

E-mail: adelatlz3@gmail.com, alopezo@ipn.mx, cempl36@gmail.com

(Recibido el 24 de Diciembre de 2012, aceptado el 27 de Febrero de 2013)

Resumen

El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) se ha usado en la enseñanza de diferentes áreas de la ciencia, los resultados obtenidos muestran que favorece el aprendizaje de las mismas. Tomando en cuenta los principios del ABP y los objetivos del programa de estudios del curso de Física I del Bachillerato del Subsistema de Bachillerato General del Estado de México, diseñamos tres secuencias didácticas ABP. Éstas secuencias fueron desarrolladas en dos preparatorias localizadas en el Estado de México, en cada una de estas preparatorias se tuvo dos grupos experimentales y un grupo de control. La efectividad de las secuencias didácticas ABP fue evaluada con el Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza (FCI). Nuestros resultados muestran que: el ABP es un método de enseñanza más efectivo que el método tradicional, el ABP fomenta la interacción y la participación activa de los estudiantes, también influye positivamente en el análisis y resolución crítica de los problemas de Física planteados, así como la autogestión del conocimiento a través de la investigación orientada.

Palabras clave: Secuencias didácticas ABP; Cuestionario del Concepto de Fuerza; aprendizaje de la Física en bachillerato.

Abstract

Problem Based Learning (PBL) has been used in teaching of different scientific areas; the obtained results show that it motivates the learning. Taking into account the PBL principles and the learning objectives of the Physics I courses in High Schools of the General High Schools of the México State, México, we designed three PBL didactic sequences. These sequences were explained in two High Schools at the Mexico State. In the two High Schools we have two experimental groups and one control group. The effectiveness of the PBL didactic sequences were evaluated with the Force Concept Inventory (FCI). Our results show that the PBL is a more effective method than the traditional one. We found that the PBL motivates: the interaction between students, their active participation, the analysis and the solution of the physics problems under study, as well as the self-management of the knowledge by means of the directed research.

Keywords: PBL didactic sequences; Force Concept Inventory; High School Physics Education.

PACS: 01.40.Fk, 01.40.-d, 45.20.d-, 01.40gb

ISSN 1870-9095

I INTRODUCCION

La enseñanza de las ciencias en el nivel preuniversitario es un factor fundamental en la formación de los estudiantes, “su desarrollo favorece acciones responsables y fundamentadas” [1]. Dentro del plan de estudios del nivel preuniversitario, la Física es una materia básica, orientada al conocimiento de conceptos, métodos y procedimientos para la resolución de problemas cotidianos y la comprensión racional del entorno.

Las Escuelas Preparatorias Oficiales del Subsistema de Bachillerato General del Estado de México (EPOEM), son instituciones del nivel preuniversitario en donde la enseñanza de la Física tiene como propósito que el estudiante logre “la comprensión del comportamiento físico

de la naturaleza; así como, la capacidad de entender y expresarse en un lenguaje científico y apropiado” [2]. Para ello se enfatiza que, “el docente deberá planear y programar actividades que desarrollen el aprendizaje colaborativo; así como, motivar que el alumno aplique en su vida cotidiana los conocimientos adquiridos [2]. Sin embargo, la experiencia diaria nos indica que las prácticas tradicionales de enseñanza aún siguen vigentes y limitan el logro de estos objetivos.

Uno de los principales objetivos de investigación en didáctica de las ciencias es lograr que la enseñanza de las mismas sea eficiente en el logro de aprendizajes. Entre las propuestas alternativas para lograr que la enseñanza sea dinámica, atractiva y eficiente está el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP en lo siguiente), también conocido

como PBL (de su nombre en inglés Problem Based Learning). El ABP se enfoca en desarrollar habilidades de trabajo colaborativo, fundamentar conclusiones, y mejorar las capacidades de análisis y deducción. El alumno debe utilizar constantemente sus conocimientos o adquirir nuevos, ya que existe una mejor integración del conocimiento y su aplicación [3].

De acuerdo con Campanario [3] *“los estudiantes tienen diversas dificultades en los procesos de aprendizaje de las ciencias”*. Se ha encontrado que entre los principales obstáculos para el aprendizaje de las ciencias está la estructura lógica de los contenidos conceptuales, los conocimientos previos y la falta de habilidad en la resolución de problemas [4, 5, 6]. Además es conveniente mencionar que la dificultad en el aprendizaje de la Física es uno de los principales problemas que atiende la investigación en la didáctica de las ciencias.

La resolución de problemas es uno de los principales aspectos que se valoran en el aprendizaje de la Física y un alto porcentaje de tiempo de los cursos de Física es dedicado a su instrucción y resolución. Sin embargo, éste es uno de los aspectos en donde se denota una problemática que aún es poco comprendida [3, 5].

En la investigación sobre didáctica de esta ciencia los trabajos teóricos y metodológicos sobre la solución de problemas de Física, publicados en las últimas décadas del siglo XX (documentados a partir de los 70's por Fávero y Gomes [7]) tuvieron como objetivo mejorar el rendimiento de los estudiantes en la resolución de problemas. En el periodo de 1970 a 1999 hemos encontrado que se publicaron al menos los resultados de 72 investigaciones sobre la solución de problemas en Física. Las líneas de investigación correspondían a la comparación entre expertos y principiantes o novatos, análisis de metodologías, propuestas didácticas y factores que influyen en la correcta solución de problemas en el aula [7].

Las propuestas más recientes sobre la resolución de problemas de Física, se enfocan al desarrollo de metodologías sustentadas en el aprendizaje activo, las cuáles promueven el desarrollo cognitivo, la participación activa y el trabajo colaborativo de los estudiantes [6, 8, 9, 10]. Sin embargo McDermott [11] considera que *“muchos de los alumnos que han finalizado un curso de Introducción a la Física pueden resolver los problemas cuantitativos, 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.”*

Thornton y Sokoloff [12] aseveran que en los últimos años en la didáctica de la Física se ha promovido el uso de estrategias de aprendizaje activo, metodologías enfocadas a que el alumno construya su propio conocimiento de los conceptos físicos a través de observaciones directas del mundo físico.

Entre las propuestas alternativas para transformar la enseñanza de la Física está el ABP. El ABP es una propuesta para aprender resolviendo problemas del mundo real, aun cuando inicialmente se orientó a la enseñanza universitaria de la Medicina en la Universidad de McMaster, provincia de Ontario, Canadá, su aplicación se

ha ampliado a otras áreas de la educación superior y otros niveles educativos [10, 13].

En los resultados de investigación en didáctica de las ciencias existe amplia evidencia de que el ABP como estrategia didáctica favorece tanto la adquisición de conocimientos como el desarrollo de habilidades y actitudes positivas hacia el aprendizaje de la ciencia. Por otro lado, es importante señalar que su aplicación ha sido limitada en la enseñanza de la Física y sobre todo en el nivel bachillerato. En el caso de la enseñanza de la Física los estudios se han desarrollado principalmente en el nivel superior [3, 14, 15, 16]. Es conveniente mencionar que en nuestra búsqueda bibliográfica no encontramos reportes de la aplicación del ABP en el nivel preuniversitario de México.

El presente trabajo expone el proceso y resultados de la aplicación del ABP en la enseñanza de la Física a nivel preuniversitario. Se desarrollaron e instrumentaron tres secuencias didácticas tipo ABP sobre los temas de la Mecánica Newtoniana del curso de Física I del tercer semestre de Bachillerato: los principios de la Dinámica y las Leyes de Newton. La implementación de las secuencias ABP propuestas se realizó en dos instituciones del Bachillerato General del Estado de México, México: la Escuela Preparatoria Anexa a la Normal de Atlacomulco (Escuela A en lo siguiente) y la Escuela Preparatoria Oficial No. 166 (Escuela B en lo siguiente). En cada escuela hubo dos grupos experimentales y un grupo de control. El total de alumnos que participaron en esta investigación fue de 201. En la Escuela A participaron 109 estudiantes (72 en los grupos experimentales y 37 en el grupo de control), mientras que en la Escuela B participaron 92 estudiantes (61 en los grupos experimentales y 31 en el grupo de control).

El proceso fue evaluado con el Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza, usualmente conocido como FCI, abreviatura de su nombre en inglés, Force Concept Inventory. Éste es un test diseñado para determinar el nivel de comprensión del estudiante sobre los conceptos básicos de la Mecánica Newtoniana y en particular para determinar el nivel de conocimiento que tienen los estudiantes respecto al concepto de fuerza, elemento fundamental en la Mecánica Newtoniana de los cursos introductorios de Física [12, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

Generalmente, el FCI se ha usado como una *herramienta de diagnóstico* cuando se utiliza para evaluar las ideas previas de los estudiantes respecto al concepto de fuerza en la Mecánica Newtoniana. También puede ser utilizado como *examen de ubicación* para determinar el nivel de conocimiento de los estudiantes sobre la Mecánica Newtoniana y poder ubicarlos en grupos específicos. Otro de los usos que también se le han dado al FCI es la evaluación de la efectividad de una estrategia de enseñanza en cursos de Física clásica. Con este fin se aplica como un pre-test y después del desarrollo de una propuesta didáctica como un post-test [17, 23].

El objetivo principal de este trabajo fue aplicar la estrategia didáctica del ABP en la enseñanza de los temas de la Mecánica Newtoniana: los principios de la Dinámica y las Leyes de Newton. Esto con el fin de obtener

resultados de su factibilidad y eficiencia en el logro de aprendizajes de los estudiantes.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera. En la Sección II se describe en forma breve la metodología didáctica del ABP. En la Sección III se presenta la metodología desarrollada en la investigación, después, en la Sección IV, se exponen los resultados obtenidos para la ganancia de Hake en el FCI, y finalmente en la Sección V se exponen las conclusiones de este trabajo de investigación.

II. APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS

El método del ABP se enfoca en desarrollar habilidades de trabajo colaborativo, fundamentar conclusiones, y mejorar las capacidades de análisis y deducción [3]. La naturaleza de la propuesta metodológica didáctica del ABP es de corte constructivista, esta metodología es una alternativa innovadora basada en el uso de situaciones problemáticas reales que los alumnos resuelven desarrollando un aprendizaje colaborativo, ya que los estudiantes trabajan en equipos de tres a doce participantes en coordinación con un tutor [24].

En el ABP los estudiantes son enfrentados a problemas que se sitúan en el mundo real, los problemas que se presentan tienen la característica de ser complejos en su estructura, requieren de razonamiento e investigación y representan un desafío al intelecto [16]. La epistemología del ABP se basa en la formulación de una serie de cuestionamientos alrededor de una situación, fenómeno o hecho que requiere ser aclarado o resuelto bajo un fundamento conceptual. La planificación de la enseñanza no se orienta solo en contenidos y objetivos de aprendizaje, sino en los procesos de adquisición y construcción de conocimiento, se pretende que los estudiantes tengan una participación activa en el proceso de aprendizaje [25].

El modelo de trabajo del ABP considera un proceso integrado por fases o etapas, éstas presentan variaciones en cuanto a su número y estructura, y dependen del autor que las propone. Así, encontramos un modelo con siete pasos [13], un ciclo de tres fases [26], el modelo de ocho pasos [24], los cinco pasos básicos [27], etc. Sin embargo estas propuestas coinciden en los siguientes puntos: la identificación de lo que se conoce, lo que se necesita conocer (predicciones, hipótesis), la formulación de un plan para resolver el problema (discusión y asignación de tareas) y la presentación de la solución (valoración de resultados). En esta investigación, para desarrollar e implementar la metodología ABP se trabajó tomando como base el ciclo de las tres fases de Lasry y Abbott [26].

III. METODOLOGIA

El método del ABP como estrategia de aprendizaje inicia con la lectura y el análisis de un problema real (normalmente definido por el docente y en ocasiones definido por los mismos estudiantes), se solicita a los

estudiantes que en grupos de trabajo estudien de manera sistemática el problema. A continuación mediante el trabajo coordinado de los alumnos y el profesor se desarrollan las diferentes fases de la resolución del problema tipo ABP [13, 24].

A. Secuencias didácticas ABP

Con base en los fundamentos del ABP se diseñaron tres secuencias didácticas con problemas tipo ABP, estas fueron el foco y motivación del aprendizaje, la solución del problema representó un desafío para los estudiantes, cada problema se estructuró sobre un contexto real. La situación problemática de cada secuencia incluye preguntas que orientan el análisis y generan la necesidad de aprender.

La solución de los problemas tipo ABP se formuló mediante tres fases [26]: en la fase I se plantearon hipótesis sobre los cuestionamientos planteados, se determinó lo que se conocía y lo que hacía falta por conocer; después, en la fase II se integró una estrategia de solución, se investigó y resolvió el problema; al final, en la fase III se presentó un informe con las conclusiones y análisis de todo el proceso desarrollado durante la secuencia didáctica ABP. (Véase el Apéndice 1 donde se presentan las secuencias diseñadas).

El estudio de la instrumentación de las secuencias didácticas se desarrolló a partir del análisis del contexto socioeducativo (características socioeconómicas) de los estudiantes de los grupos experimentales y de control de las dos escuelas preparatorias en las que se desarrolló la investigación. Uno de los principales objetivos de este trabajo fue comparar los resultados que obtienen los grupos experimentales y de control de ambas instituciones, por lo que se evaluó la eficacia de la estrategia con el Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza que se aplicó antes de la instrucción con la estrategia didáctica del ABP y después de la misma.

B. Implementación de la estrategia didáctica del ABP en la enseñanza de los fundamentos de Dinámica en el nivel medio superior

Inicialmente, para determinar el estado de conocimiento de los estudiantes respecto a los fundamentos de la Mecánica Newtoniana se aplicó el test del FCI (pre-test) a los seis grupos de estudio [17, 23], posteriormente se desarrollaron las secuencias didácticas basadas en el ABP. Finalmente se volvió a aplicar el test del FCI (post-test) para valorar el grado de avance en la comprensión de los fundamentos de la Dinámica con la implementación de las estrategias del ABP (esto es, analizar la efectividad de la estrategia de enseñanza del ABP en el aprendizaje de la Física) esto con fin de contrastar y comparar los resultados con la enseñanza tradicional de la Física.

La instrucción con la estrategia de aprendizaje ABP en los cuatro grupos experimentales del tercer semestre de nivel preuniversitario se desarrolló con una serie de secuencias didácticas y el manejo de la misma temática de las secuencias en un formato de enseñanza tradicional en los grupos de control de cada una de las instituciones sedes del estudio.

En los grupos experimentales se integraron equipos de 5 a 6 alumnos de manera aleatoria, se les presentó a los estudiantes de los grupos experimentales un problema tipo ABP a resolver durante las sesiones asignadas (de 4 a 5 sesiones de 50 minutos). A continuación se realizó la lectura del problema tipo ABP de manera individual, durante el proceso se investigaron y analizaron los temas de Física que permitirían la solución del problema de manera fundamentada. Con la orientación del docente responsable de la actividad, la fase inicial se realizó en un tiempo de 20-25 minutos, los alumnos discutieron sus predicciones sobre la solución del problema planteado; se estableció la información conocida y lo que se requería conocer.

En la fase siguiente, la de desarrollo, se determinó exactamente el problema a resolver y se diseñó la estrategia de solución. Se requirió especificar la magnitud física a calcular, las temáticas a estudiar para comprender el fenómeno y por lo tanto el proceso de solución y se investigó en libros de Física y en el internet. En cada equipo se organizó e interpretó la información útil para establecer la solución con fundamento en los principios de la Física. También, se estableció un espacio para analizar en forma grupal las predicciones de los equipos, la información conocida y desconocida que se piensa es necesaria para la solución del problema, la estrategia a desarrollar para resolver el problema, la solución del problema y el análisis del proceso al final de cada una de las tareas. Finalmente, en la fase de cierre, cada equipo presentó la solución del problema exponiendo el proceso y el resultado al grupo; en el material presentado se incluyó el esquema gráfico y modelo matemático utilizado como así como el proceso desarrollado en la secuencia didáctica.

Por otra parte, de manera simultánea, en los grupos de control de cada institución se desarrolló el formato de instrucción tradicional. Las actividades realizadas consistieron en el análisis de información de los fundamentos de la Dinámica, la solución de problemas de estructura similar a la que contienen los libros de texto de Física, la revisión de la respuesta correcta y la exposición del proceso de solución por parte del docente. En los grupos de control se usó el mismo número de sesiones que en los grupos experimentales en los cuales se desarrolló las secuencias didácticas con la estrategia ABP.

En los grupos experimentales se registró el proceso de análisis y solución del problema en la clase con la ayuda de un formato de control (véase Apéndice 2) que incluye las tres fases del ciclo ABP. El formato de seguimiento de las actividades en las diferentes fases de desarrollo de las secuencias ABP tuvo como objetivos: guiar las actividades de los estudiantes en la estrategia didáctica propuesta, así como facilitar el seguimiento de dichas actividades y tener evidencia del proceso llevado a cabo durante las sesiones de implementación de la estrategia bajo estudio.

El primer contacto con el proceso de la estrategia los estudiantes requirieron que la guía fuera directa, es decir, en cada actividad era necesario que el docente indicara cada aspecto a realizar e incluso orientar la participación de los estudiantes en los equipos. El desarrollo de las siguientes dos secuencias de actividades ABP fue más fluido e

independiente. Como mencionamos anteriormente la instrumentación del ABP se evaluó con el FCI.

IV. RESULTADOS DE LA GANANCIA RELATIVA DE APRENDIZAJE CONCEPTUAL

Con los resultados obtenidos en el FCI se determinó la ganancia de Hake o factor de Hake, establecida por Richard R. Hake en 1998 [28] y definida por

$$g = \frac{S_f - S_i}{100 - S_i}, \quad (1)$$

donde S_f y S_i son los resultados de obtenidos por los estudiantes en el post-test y pre-test. Esto es, el factor de Hake es la razón de la diferencia entre las calificaciones de los estudiantes en los cuestionarios ($S_f - S_i$) y la máxima mejora posible de las calificaciones de los cuestionarios ($100 - S_i$).

La ganancia de Hake se utiliza para determinar el aprendizaje conceptual logrado en la instrumentación de una estrategia didáctica, es decir, con los resultados de las evaluaciones (pre-test y post-test) se determina el impacto en la asimilación del conocimiento de tipo conceptual. Al implementar una estrategia didáctica el factor g permite establecer los cambios obtenidos en las diferentes dimensiones del FCI, ya que los niveles de logro (bajo $g \leq 0.3$, medio $0.3 \leq g \leq 0.7$, y alto $g \geq 0.7$) se relacionan con el nivel de dominio conceptual de las fases del FCI [29].

En las gráficas (Figuras 1 y 2) se muestran los resultados obtenidos por escuela para el factor g en la evaluación del FCI completo. En las Figuras 1 y 2 observamos que los estudiantes no superan la Fase I del FCI (en la que se indica que los estudiantes no distinguen la diferencia entre los conceptos de velocidad y aceleración, no consideran la velocidad como una cantidad vectorial, creen que existen otros factores que influyen en el movimiento -además de los diferentes tipos de fuerzas-, son incapaces de determinar la influencia de los agentes pasivos y activos de la fuerza sobre un objeto, tienen una noción parcializada e incoherente de los conceptos de la fuerza y movimiento [17]).

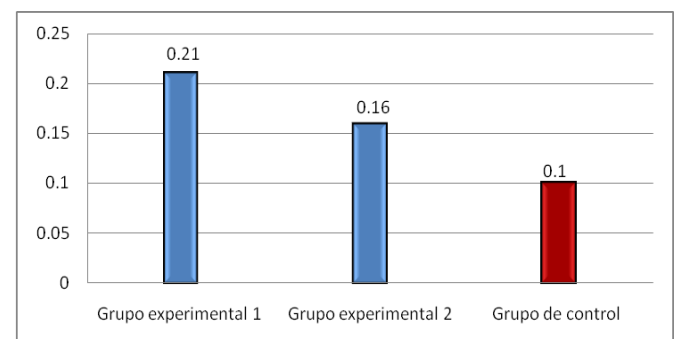


FIGURA 1. Resultados de ganancia g en la Escuela A de los grupos experimentales (azul) y el grupo de control (rojo).

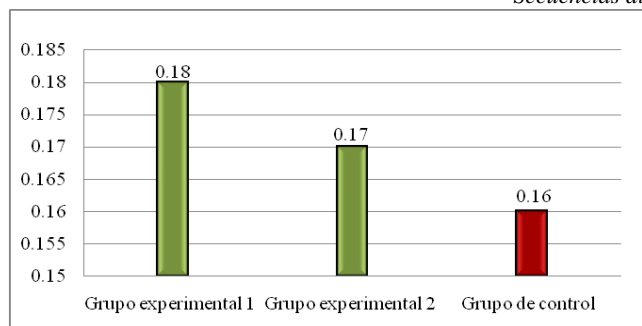


FIGURA 2. Resultados de ganancia g en la Escuela B de los grupos experimentales (verde) y el grupo de control (rojo).

En general, considerando el valor obtenido para la ganancia de Hake, el resultado es bajo, $g \leq 0.3$. Pero debemos considerar que la estrategia bajo estudio fue usada durante un periodo breve de tiempo, debido a que sólo se instrumentaron tres secuencias basadas en el ABP durante tres semanas. Esta es la razón de que la diferencia en los resultados en la ganancia de Hake fue poco significativa para todo el test FCI debido a que este test examina temas y conceptos que no fueron estudiados en las tres secuencias ABP desarrolladas en este estudio.

Las secuencias didácticas con problemas tipo ABP, que se desarrollaron en el curso de este trabajo, se enfocaron principalmente al análisis del concepto de fuerza, los tipos de fuerza, leyes de Newton y el principio de superposición de fuerzas. Esto significa que en nuestras secuencias ABP sólo se estudiaron algunos aspectos que evalúa el test FCI.

Así que para estudiar el grado de efectividad de la instrumentación de las secuencias ABP diseñadas en este trabajo se realizó el análisis de la ganancia relativa de aprendizaje conceptual de diez preguntas del FCI (preguntas 4, 6, 8, 10, 11, 15, 16, 22, 29 y 30). Pensamos que estas preguntas tienen relación con el contenido de los problemas planteados en las secuencias didácticas. Las preguntas refieren principalmente al estudio del concepto de fuerza, los tipos de fuerzas, las leyes de Newton y el principio de superposición de fuerzas. El conocimiento de estos aspectos enunciados es fundamental en la comprensión de los fenómenos físicos y para los cursos de Física que se llevan en el nivel medio superior.

Los resultados de la ganancia promedio de las diez preguntas enumeradas anteriormente se encuentran en la siguiente gráfica (Figura 3). En nuestros resultados observamos que el factor g es más grande para las preguntas del FCI que tienen una relación directa con las secuencias desarrolladas y notamos que en los grupos experimentales los resultados obtenidos para algunas preguntas que tienen relación directa con las secuencias ABP desarrolladas la ganancia que se logra está en el rango $0.3 \leq g \leq 0.7$.

En los temas de la Dinámica Newtoniana sobre los que diseñaron e implementaron las secuencias didácticas ABP que estudiamos en este trabajo, aun cuando los resultados son bajos, para los grupos experimentales se obtuvo una mayor ganancia de Hake que en los grupos de control. La

ganancia de Hake en los grupos experimentales es mayor en la Escuela A, el promedio de ambos grupos para las diez preguntas en estudio es de 0.28, mientras que la ganancia promedio para los grupos experimentales de la Escuela B es de 0.24 (véase la Figura III). En tanto, la ganancia promedio para el grupo de control de la Escuela A es de 0.19 y para el grupo de control de la Escuela B es de 0.09.

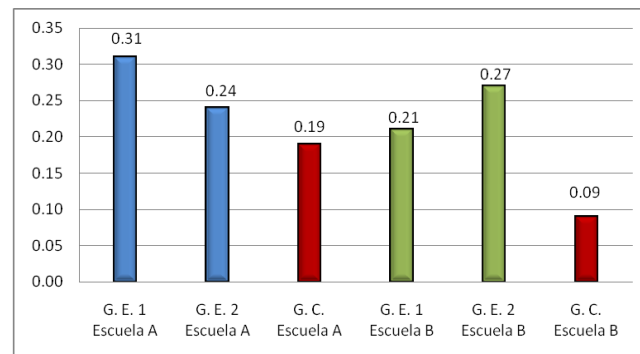


FIGURA 3. Resultados de ganancia de Hake promedio en la Escuela A y en la Escuela B (pre-test y post-test) de los grupos experimentales y el grupo de control obtenido en las preguntas 4, 6, 8, 10, 11, 15, 16, 25, 27 y 28 del FCI.

Para ampliar el análisis de los resultados, las preguntas se ordenaron de acuerdo a las dimensiones del FCI, para observar la correlación de las respuestas dadas por los estudiantes. Las preguntas corresponden a cuatro de las seis dimensiones que incluye el FCI: primera ley de Newton, tercera ley de Newton, superposición y tipos de fuerza. Esto se realizó debido a que el análisis por dimensiones del FCI provee información detallada de las fortalezas y debilidades de los estudiantes con respecto al concepto de fuerza y puede ser usado para planear la enseñanza a futuro [19]. En lo siguiente se muestran los resultados de la dimensión del FCI en la que los estudiantes tuvieron un mejor desempeño y los resultados dimensión del FCI en la que los resultados fueron más bajos.

TABLA I. Resultados de la ganancia de Hake de la dimensión del FCI sobre Tipos de fuerza de los grupos experimentales y del grupo de control de la Escuela A y la Escuela B.

Pregunta	Factor g en el G. E. 1 de la Escuela A	Factor g en el G. E. 2 de la Escuela A	Factor g en el G. C. de la Escuela A	Factor g en el G. E. 1 de la Escuela B	Factor g en el G. E. 2 de la Escuela B	Factor g en el G. C. de la Escuela B
11	0.31	0.37	0.14	0.15	0.48	0.04
27	0.13	0.24	0.06	0.35	0.09	0.21
Promedio	0.22	0.31	0.10	0.25	0.29	0.13

Para la dimensión *Tipos de fuerza* en la Tabla I observamos que el resultado en la ganancia de los grupos experimentales es mayor que la de los grupos de control. En la Figura 4 para la dimensión *Tipos de Fuerza*, se muestra

la ganancia de Hake promedio lograda por los estudiantes de las dos instituciones incluidas en el estudio. En esta dimensión del FCI se explora la concepción que tienen los estudiantes del término de fuerza, se analiza si los estudiantes consideran que los obstáculos ejercen resistencia u oposición al movimiento o sólo están como parte del camino y si la masa ejerce algún tipo de resistencia al movimiento del objeto (como el comportamiento de los sólidos en contacto), el resultado sugiere que el desarrollo de las secuencias didácticas tipo ABP tuvo un efecto positivo en la comprensión de las fuerzas de contacto entre sólidos (la fricción), ya que en una de ellas analizó este fenómeno en particular.

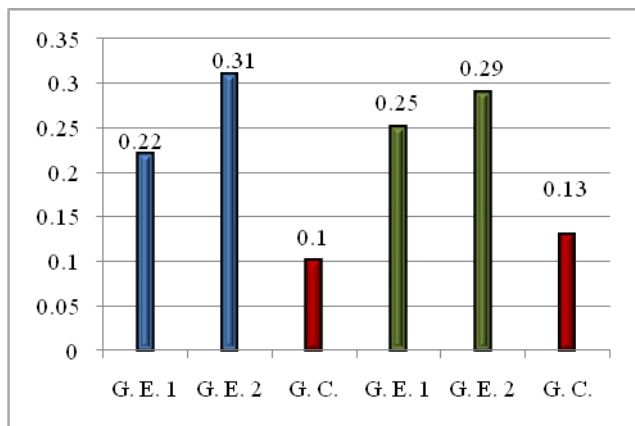


FIGURA 4. Ganancia de Hake para la dimensión de los Tipos de fuerza de los grupos experimentales y del grupo de control de la Escuela A y la Escuela B.

En los resultados obtenidos para la ganancia de Hake también notamos que en los temas relacionados con las secuencias didácticas, los estudiantes tienen dificultad en la comprensión de la interacción de las dos fuerzas opuestas de acción y reacción. (La dimensión de correspondiente del FCI es *Tercera Ley de Newton*.) Nuestros resultados para el factor g de esta dimensión reflejan esto (véase los datos de la Tabla II). La Figura 5 muestra en forma gráfica los datos de la Tabla II.

TABLA II. Resultados de la ganancia de Hake para la dimensión del FCI sobre la Tercera Ley de Newton de los grupos experimentales y del grupo de control de la Escuela A y la Escuela B.

Pregunta	Factor g en el G. E. 1 de la Escuela A	Factor g en el G. E. 2 de la Escuela A	Factor g en el G. C. de la Escuela A	Factor g en el G. E. 1 de la Escuela B	Factor g en el G. E. 2 de la Escuela B	Factor g en el G. C. de la Escuela B
4	0.15	0.24	0.20	0.14	0.19	-0.32
15	0.56	0.21	0.27	0.20	0.38	0.08
16	0.35	0.32	0.47	0.06	0.30	0.02
28	0.39	0.36	0.17	0.33	0.38	0.17
Promedio	0.36	0.28	0.28	0.10	0.31	-0.01

En los resultados para la dimensión de la Tercera Ley de Newton se manifiesta una gran confusión, las preguntas refieren al mismo fenómeno y los resultados en las cuatro preguntas son variables. Un alto porcentaje de los estudiantes considera que el cuerpo de mayor dimensión ejerce mayor fuerza. Las ganancias bajas en esta dimensión se deben a que los estudiantes consideran que la magnitud de la fuerza depende del peso, tienen dificultad para comprender la Tercera Ley de Newton, en ellos persiste la idea de que un cuerpo de mayor dimensión, con mayor masa o mayor impulso ejerce mayor fuerza al estar en contacto con otro [17].

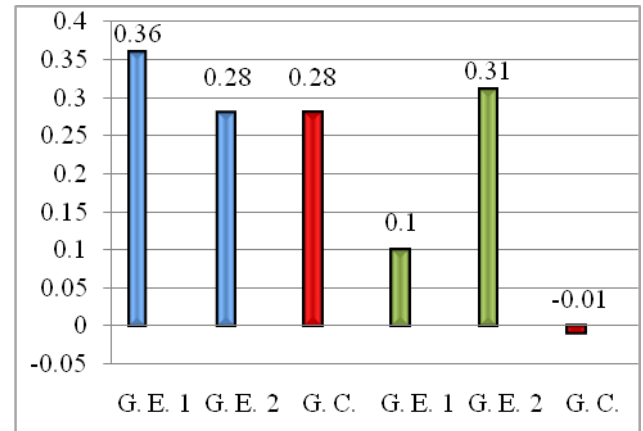


FIGURA 5. Ganancia de Hake para la dimensión de la Tercera Ley de Newton de los grupos experimentales y del grupo de control de la Escuela A y la Escuela B.

En el seguimiento de las secuencias didácticas ABP utilizadas, las predicciones realizadas en una de las secuencias didácticas, el 100% de los estudiantes manifiesta que un camión de mayor peso también ejerce mayor fuerza, ésta idea no cambió de manera significativa debido a que el análisis se enfocó en el efecto de la fricción.

Lara y Gómez [30] en su estudio sobre la Enseñanza-Aprendizaje de fuerza y trabajo dicen que “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”. En este trabajo, los resultados del análisis de las preguntas de FCI incluidas en esta dimensión muestran claramente que se requiere de un análisis más profundo de estas dificultades y del rediseño de algunas secciones de las secuencias ABP debido a que no se enfatizó lo suficiente en el estudio de la interacción de fuerzas de acción-reacción.

Considerando las diez preguntas en estudio, los resultados para la ganancia promedio de los grupos experimentales de cada institución y los grupos de control muestran una diferencia entre de ellos (véase Figura 3). La ganancia de Hake es mayor en los grupos experimentales que en los grupos de control.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por CONACYT-México, EDI-IPN, COFAA-IPN y por los proyectos de investigación SIP-20120773 y SIP-20131715.

REFERENCIAS

- [1] SEP, "Acuerdo número 444", *Diario Oficial de la Federación, tercera sección*, Octubre 17, (2008). Consultado el 22 de Marzo del 2009. <http://www.reforma-jiems.sems.gob.mx/work/sites/riems/resources/FileDownload>
- [2] EPOEM, "Programa de la materia de Física I", *Departamento del Bachillerato General del Estado de México* (2009).
- [3] Campanario, J. M. y Moya, A., *¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas*, *Enseñanza de las Ciencias* **17**, 179-192 (1999).
- [4] Maloney, D. P., *Rule-governed approaches to physics-Newton's third law*, *Physics Education* **19**, 37-42 (1984).
- [5] Buteler, L., Gangoso, Z., Brincones I. y González M., *La resolución de problemas en Física y su representación: Un estudio en la escuela media*, *Enseñanza de las Ciencias* **19**, 285-298 (2001).
- [6] Gangoso, Z., Truyol, M. E., Brincones, I. y Gattoni, A., *Resolución de problemas, comprensión, modelización y desempeño: un caso con estudiantes de ingeniería*, *Latin American Journal of Physics Education* **2**, 233-240 (2008).
- [7] Fávero, M. E. y Gomes C. M., *Una resolución de problemas de Física: examen de la investigación, metodología de análisis y propuesta*. Consultado el 17 de Octubre de 2008, de http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol6/n2/v6_n2_a3.htm
- [8] Carcavilla, A. y Escudero, T., *Los conceptos en la resolución de problemas de física «bien estructurados»: aspectos identificativos y aspectos formales*, *Enseñanza de las Ciencias* **22**, 213-228 (2004).
- [9] Sierra, J. y Barojas, J., *Planeación y evaluación del trabajo colaborativo*. Consultado el 22 Junio del 2009, de <http://www.alexandria21.net/arts/art06.pdf>
- [10] Pino, M. G. y Ramírez, I., *Estrategia que favorece la comprensión de problemas y la planificación de su resolución, durante la enseñanza de la Física*, *Latin American Journal of Physics Education* **3**, 55-61 (2009).
- [11] McDermott, L. C., *Concepciones de los alumnos y Resolución de problemas en mecánica*. Consultado el 8 de Septiembre de 2009, de http://icar.univ-lyon2.fr/gric3/ressources/ICPE/espagnol/PartC/C1_chap_p1-11.pdf
- [12] Thornton, R. y Sokoloff, D., *Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and Evaluation of Active Laboratory and Lecture Curricula*, *American Journal of Physics* **66**, 338-352 (1998).
- [13] Morales, P. y Landa, V., *Aprendizaje basado en problemas*, *Theoria* **13**, 145-157 (2004).

También consideramos conveniente mencionar que al final del desarrollo de las secuencias ABP aplicamos una encuesta en la cual los estudiantes manifestaron sus opiniones sobre las secuencias didácticas y el método ABP. En dicha encuesta los estudiantes expresaron que con las secuencias ABP: "hay un mejor entendimiento", "es más fácil aprender", "se aprende mejor", "es divertido", "se obtiene un mejor desempeño", "se fomenta el razonamiento", "es interesante", "es más dinámica y divertida la clase", "es posible compartir ideas y conocimientos" y "hay un análisis profundo del tema".

Finalmente es conveniente mencionar que un análisis más detallado de los resultados obtenidos en el curso de este trabajo de investigación puede consultarse en la Tesis de Maestría de Adela Téllez Felipe [31].

V. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en la instrumentación de las secuencias didácticas ABP en la enseñanza de la de Mecánica Newtoniana en la Escuela A y Escuela B, se puede establecer que es posible aplicar la estrategia didáctica del ABP en la enseñanza de la Física a nivel bachillerato mediante secuencias didácticas con problemas tipo ABP que se diseñan a partir de problemas contextualizados en la vida del estudiante. Para la elaboración de las secuencias usadas en este trabajo se consideraron las características de la estrategia didáctica del ABP y temas los principios de la Dinámica y Leyes de Newton del curso de Física I.

La instrumentación de las secuencias didácticas ABP en el aula permitió obtener un mejor aprendizaje conceptual de los temas estudiados de Mecánica Newtoniana. En la Figura 3 de la Sección 4 se muestra que los grupos experimentales de Escuela A y la Escuela B tuvieron una ganancia de Hake mayor en el FCI. El promedio en los grupos experimentales de la Escuela A fue de 0.19 y en la Escuela B fue de 0.18, mientras que en los grupos de control de la Escuela A fue de 0.1 y el de la Escuela B fue de 0.16.

Durante el desarrollo de las secuencias didácticas tipo ABP se logró que los estudiantes analizaran de manera crítica la situación problemática en las sesiones regulares del curso, investigaran la información necesaria para resolver el problema y establecieran sus resultados con fundamento en la Mecánica Newtoniana. El ABP además de favorecer el aprendizaje también apoya el desarrollo de la metacognición, aspecto clave en el aprendizaje (al entender el proceso de aprendizaje).

Otro aspecto que es importante resaltar, es que durante el análisis e interpretación de los resultados, del pre-test y post-test del FCI, se deben estudiar los datos apropiados. Esto es, instrumentar un proceso de análisis acorde al objetivo de estudio, el desarrollo del estudio y los resultados obtenidos como producto. En el caso de esta investigación para hacer un análisis más detallado y preciso fue necesario considerar solamente una parte de las preguntas del test FCI que tienen relación directa con los temas de las secuencias didácticas usadas en este trabajo.

Adela Téllez Felipe, A. López Ortega, César Mora

- [14] Jian, Wu, *Improvement of Physics teaching with problem based learning*, The China Papers, 1-4, (2004).
- [15] Aznar, E., Lahoz, C., Montañés, A., Porta, L. y Seguí, R., *Aplicación del aprendizaje basado en problemas a la enseñanza de la teoría de circuitos*. Consultado el 26 de julio de 2009, de http://www.unizar.es/eees/innovacion06/COMUNIC_PUB_LI/BLOQUE_I
- [16] Raine, D. y Symons S., *A Physical Sciences Practice Guide. The Higher Education Academy Physical Sciences Centre*. Consultado el 27 de Mayo de 2009, de http://www.heacademy.ac.uk/assets/ps/documents/practice_guides/ps0080_possibilities_problem_based_learning_in_physics_and_astronomy_mar_2005.pdf
- [17] Hestenes, D., Wells M. y Swackhamer, G., *Force Concept Inventory*, The Physics Teacher **30**, 141-158 (1992).
- [18] Henderson, C., *Common Concerns About the Force Concept Inventory*, The Physics Teacher **40**, 542-547 (2002).
- [19] Colleta, V. P. y Phillips, J. A., *Interpreting force inventory scores: Normalized gain and SAT scores*, Physical Review Special Topics – Physics Education Research **3**, 010106(5) (2007).
- [20] Cohen, R. A., *Measuring the Effect of Formative Assessment Techniques in Physics at East Stroudsburg University*. Consultado el 3 de Agosto de 2009, de <http://www.esu.edu/~bbq/cetp/cetp07.pdf>
- [21] Stewart, J., Griffin, H. y Stewart G., *Context sensitivity in the force concept inventory*, Physical Review Special Topics **3**, 010102(6). (2007).
- [22] Savinainen, A. y Viiri, J., *The Force Concept Inventory as measure of student's coherence*, International Journal of Science Mathematics Education **6**, 719-740 (2008).
- [23] Benegas, J., *Tutoriales par Física Introductoria: Una*

- experiencia exitosa de Aprendizaje de la Física*, Latin American Journal of Physics Education **1**, 32-38 (2007).
- [24] ITSEM, *El aprendizaje basado en problemas como técnica didáctica*. Consultado el 4 de Junio de 2008, de <http://www.ub.es/mercanti/abp.pdf>
- [25] Huber G. L., *Aprendizaje activo y metodologías educativas*, Revista de Educación, Número Extraordinario, 59-81 (2008).
- [26] Lasry, N. y Abbott, J., *Problem-Based Learning for College Physics*. Consultado el 11 Junio 2009, de <http://www.ccdmd.qc.ca/ressources/?id=1241>
- [27] Pross, H. Queen's University MD Program Phase II Problem-Based Learning Student / Tutor Handbook. Consultado el 21 de Mayo de 2009, de <http://meds.queensu.ca/pbl/assets/pblhn>
- [28] Hake, R., *Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses*, American Journal of Physics **66**, 64-74 (1998).
- [29] Savinainen, A., *High School Students' Conceptual Coherence of Qualitative Knowledge in the Case of the Force Concept*, University of Joensuu. Department of Physics. Dissertations **41**, 106 (2004).
- [30] Lara, A. y Gómez B., *Acerca de la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de Fuerza y Trabajo*, Latin American Journal of Physics Education **2**, 253-258 (2008).
- [31] Téllez, A., *Secuencias Didácticas ABP para Principios de la Dinámica y Leyes de Newton en Bachillerato*. Tesis de Maestría (2010). Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional, México.

APÉNDICE 1

Secuencia didáctica I

Curso: FÍSICA I

Unidad didáctica I. Dinámica

Tema: Los principios de la Dinámica. Conceptos de masa, peso, inercia y fuerza.

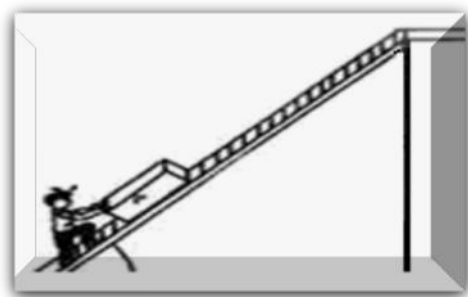
Objetivo de aprendizaje: Comprender la dinámica de los sistemas de fuerzas.

El personal de mantenimiento de una empresa requiere mover una caja de 50 kg a lo alto de una plataforma de 3 metros. Ellos han pensado: utilizar una rampa de 15 m sobre la cual deslizar la caja, consideran montar la caja sobre un carro que minimiza la fricción hasta hacerla despreciable; otra idea para realizar el trabajo asignado, es usar una polea móvil de dos cables que pueden instalar en el techo.

¿Qué fuerza mínima se requiere para que el personal de mantenimiento pueda deslizar dicha caja sin problemas?

Si la caja está sobre la rampa ¿qué requiere menor esfuerzo, empujar la caja o jalarla?,

¿Qué mecanismo ofrece una mayor ventaja mecánica al personal de mantenimiento?



Secuencia didáctica II

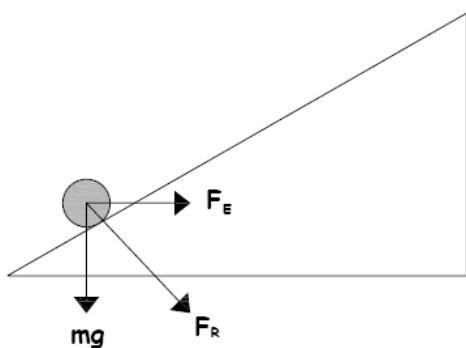
Curso: FÍSICA I

Unidad didáctica I. Dinámica

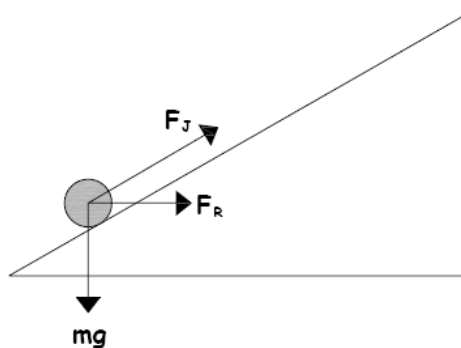
Tema: Los principios de la Dinámica y las Leyes de Newton

Objetivo de aprendizaje: Comprender el equilibrio y el efecto de la fricción en el movimiento de los cuerpos.

La carretilla es una tecnología de uso común en diversas actividades cotidianas, su utilidad se basa en la aplicación de una fuerza en el manubrio, sabemos que es más fácil empujar una carretilla para transportar cierta carga que tirar de ella al subir sobre una pendiente; sin embargo al hacer una análisis del sistema de fuerzas encontramos que:



A) Sistema de fuerzas al empujar la carretilla.



B) Sistema de fuerzas al jalar la carretilla.

Si tuvieras que transportar una roca de 50 kg en una carretilla y pasar sobre una pendiente de 6 metros cuya inclinación es de 45° .

- Calcula la fuerza resultante cuando empujamos la carretilla.
- Calcula la fuerza resultante cuando la jalamos.
- ¿Cuándo es más fácil subir la piedra? Explique su respuesta.

Secuencia didáctica III

Curso: FÍSICA I

Unidad didáctica I. Dinámica

Tema: Leyes de Newton

Objetivo de aprendizaje: Comprender el efecto de la aplicación de fuerzas en los cuerpos.

En una tradicional zona turística de México el encargado de vigilancia de la entrada observa la llegada de los vehículos y autobuses que tienen que ascender por una pendiente muy pronunciada para acceder a la zona de estacionamiento, en un día mientras hace su ronda matutina vio entrar un autobús escolar al estacionamiento; para el vigilante es un día normal, se le acerca una familia en una camioneta 4x4 preguntando por la ubicación de los sanitarios, les indica que se encuentra un módulo al costado del estacionamiento y otro al interior de las instalaciones, mientras brinda información a los visitantes repentinamente dirige la mirada hacia la entrada del estacionamiento y observa que al tratar de subir por la pendiente un automóvil se desliza peligrosamente cuesta abajo.

Desconcertado el vigilante trata de analizar ¿qué está pasando con el automóvil?, ¿por qué el autobús subió sobre la pendiente sin ningún problema? Un ocupante de la camioneta, estudiante universitario, se da cuenta de la situación y dice:

- Seguramente tiene sus llantas muy lisas y el rozamiento con el concreto de la calle no es suficiente para permitir al automóvil subir la pendiente. Observa detenidamente la escena y comenta que la lluvia ya ha humedecido la carretera y eso también disminuye el rozamiento entre las llantas y el piso, así que es improbable que ascienda.



El vigilante pensativo le pregunta:

¿Por qué el autobús ascendió por la pendiente sin ningún problema?

El estudiante responde:

Debido a que sus llantas están muy rugosas, razón por la que el rozamiento con la superficie de la carretera es suficiente para impedir que el autobús se deslice hacia abajo y considerando que subió cuando estaba seca la superficie de la carretera le fue posible subir sin ningún problema.

¿Cuál debe ser la fuerza de rozamiento mínima para que el automóvil pueda subir por la pendiente?

APÉNDICE 2

Formato de seguimiento de las secuencias didácticas ABP

Equipo. _____
Alumno: _____
Secuencia didáctica. _____
Fecha. _____
Grado. _____
Grupo. _____

Predicciones	Lo que conocemos	Lo que no conocemos	Estrategia de solución	Conclusiones	¿Cuál es la clave de la diferencia entre las predicciones y las conclusiones?