



Enseñanza tradicional vs aprendizaje activo para alumnos de ingeniería

Y. Benítez^{†,a}, César Mora^b

a) Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Estado de México; ybenitez@unam.mx

b) Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Avanzada, Ciudad de México; cmoral@ipn.mx

[†]autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 15/06/10.

Sumario. Se describen las deficiencias de la enseñanza tradicional investigadas por otros autores, seguidas de una explicación y aplicación de la estrategia de Aprendizaje Activo de la Física (AAF), estrategia basada fundamentalmente en considerar los conocimientos previos del alumno alrededor de los fenómenos de la Física y se les hace pensar sobre ellos durante la clase, posteriormente se pide a los estudiantes que efectúen Predicciones, Observaciones, Discusiones y Síntesis (PODS), a fin de que actúen y reporten sus propias conclusiones y resoluciones a las situaciones que se les presentan. Se comienza haciendo preguntas que les ayuden a pensar con mayor profundidad en los fenómenos físicos que ven y escuchan. Después se proporcionan ejemplos prácticos de la aplicación de esta estrategia para una clase modelo que contempla diferentes metodologías de instrucción a saber y la aplicación de otras investigaciones alrededor de los errores conceptuales de la caída de los cuerpos y el movimiento de los proyectiles, se contemplan: motivación del estudiante, análisis y solución de problemas, discusión en grupo, experimentación y ejemplos de aplicaciones en la ingeniería, entre otras actividades. Se efectúa la evaluación de la estrategia llegando a las conclusiones pertinentes y por último, se proponen las recomendaciones para la investigación futura usando este método educativo.

Abstract. The deficiencies of traditional education are described investigated by other authors, followed of an explanation and application of the strategy of Active Learning on Physics (ALP), strategy based essentially on considering the previous knowledge of the student around the phenomena of the Physics and we engaged them during the class, later it is asked the students who carry out Predictions, Observations, Discussions and Synthesis (PODS), in order that they act and they report his own conclusions and resolutions to the situations that appear to them. We start making questions that help them to think with greater depth about the physical phenomena that they see and listen. Later practical examples of the application of this strategy for a model class are provided that contemplates different methodologies from instruction and the application of other investigations around the misconceptions of the fall of the bodies and the movement of projectiles, are contemplated: motivation of the student, analysis and solution of problems, discussion in group, experimentation and examples of applications in engineering, among others activities. The evaluation of the strategy takes place reaching the pertinent conclusions and finally, the recommendations for the future investigation set out using these educative methods.

Palabras clave. Educación, 01.40.-d; Física Educativa, 01.40.-d; Ayudas educacionales en Física Educativa, 01.50.-I; Experimentos de laboratorio de Física Educativa, 01.50.Pa.

1 Introducción

Diversos investigadores educativos (Hake, 1998; Athanassios y Komis, 2001; Hänze y Berger 2007; Gita y Carr, 2008)^{1,2,3,4} han encontrado que la enseñanza tradicional tiene escasa efectividad en lograr un cambio conceptual aceptable de los conceptos de la Física, estas deficiencias han promovido la necesidad de un cambio en el tipo de enseñanza de la misma y se han propuesto diversas metodologías de enseñanza para incrementar la ganancia conceptual en el aprendizaje. Como resultado, varios autores a lo largo del tiempo han realizado investigación educativa de la Física (Halloun y Hestenes, 1985)⁵ y han podido comprobar la eficiencia de diferentes estrategias de enseñanza, de allí se deriva la necesidad de desarrollar materiales que apoyen la enseñanza de la Física e incrementen la calidad de la educación, aprovechando los resultados de investigación.

La trayectoria del movimiento de los cuerpos es la parte principal de los conceptos esenciales en el estudio de la Cinemática, así como de otras áreas de las ingenierías, las leyes y principios que describen el movimiento de los cuerpos forman parte del marco teórico fundamental de la Mecánica Clásica y sus aplicaciones en la ingeniería (Niño y Herrera 2006)⁶. Sin embargo; a pesar de la importancia que tal conocimiento tiene, diversas investigaciones (Van, 1988; Sierra, 2004; Stathopoulou y Vosniadou, 2007)^{7,8,9} muestran que el aprendizaje correcto de la trayectoria de los cuerpos puede contribuir a asimilar los contenidos de la mecánica en diversos niveles y en otras áreas de las ciencias, pues los alumnos llegan al nivel superior con un gran número de errores conceptuales acerca de las características del movimiento de los cuerpos y de los conceptos relacionados con ella (Santos y Gras, 2003; Giorgi y Pozzo, 2005)^{10,11}, para intentar solucionar estas deficiencias se diseñaron materiales educativos para este tipo de movimiento y se aplicaron la Investigación Educativa de la Física para evaluar los resultados obtenidos.

2 Ganancia de Hake

Para lograr una medición de la ganancia conceptual, primero se debe tener una medida estandarizada del entendimiento conceptual de los estudiantes alrededor del material educativo evaluando los resultados de exámenes resueltos antes y después de la instrucción; posteriormente, se valoran los resultados con la *ganancia normalizada* (Hake, 1998)¹², ésta permite medir y comparar la ganancia conceptual desarrollada entre la en cursos de una misma índole; o bien, comparar entre cursos desarrollados con enseñanza tradicional y los métodos de enseñanza interactivos usados en las escuelas. Es importante mencionar que los estudiantes que ingresan a enseñanza a nivel superior tienen diversos niveles en el conocimiento de la Física, ésta forma de evaluar permite una comparación real entre ellos. Los resultados de las

dos evaluaciones (pre y postest) se reportan como un número llamado *ganancia normalizada* que es la razón del aumento entre el pretest aplicado al inicio del curso y el postest aplicado al final del mismo, con respecto al máximo aumento posible, tiene valores que cubren el intervalo de [0,1] y se calcula como:

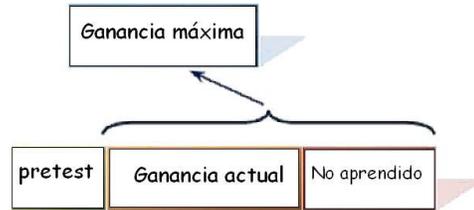


Figura 1. Estimación de la Ganancia Máxima.

$$\text{pretest efectivo} = \% \text{ pretest} - 20\% \quad (1)$$

$$g_{corr} = \frac{(\text{postest}\%) - (\text{pretest efectivo}\%)}{100\% - (\text{pretest efectivo}\%)} \quad (2)$$

donde:

g_{corr} = Ganancia Normalizada de Hake corregida.

pretest efectivo % = Resultados correctos en el examen antes del curso.

postest % = Resultados correctos en el examen posterior al curso.

La *máxima ganancia posible* se calcula mediante la expresión:

$$g_{m\acute{a}x} = 100 - \text{pretest efectivo}\% \quad (3)$$

La *ganancia normalizada promedio* g para el grupo se calcula determinando la ganancia para cada alumno y evaluando el promedio:

$$g_{prom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i \quad (4)$$

$$g_{prom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i \left[\frac{\text{post}_i - \text{pre}_i}{100\% - \text{pre}_i} \right] \quad (5)$$

Donde n es el número de estudiantes que resuelven el pre y el postest y la sumatoria se efectúa sobre los n estudiantes. Se obtiene así el aumento real llamado ganancia normalizada promedio para el grupo.

3 Aprendizaje activo de la física

El *Aprendizaje Activo de la Física* (AAF) es un conjunto de estrategias y metodologías para la enseñanza-aprendizaje de la Física, en donde “los alumnos son guiados a construir su conocimiento (...) mediante observaciones directas del mundo físico” (Mora, 2008)¹³. Mediante estas estrategias los alumnos logran aprender haciendo. Exige que los estudiantes efectúen predicciones, observaciones, discusiones y síntesis (PODS) (Sokoloff *et al.* 2006)¹⁴ a fin de que actúen y reporten sus propios enfoques y resoluciones a las situaciones que se les presentan. La estrategia se basa en el aprendizaje cooperativo, el cual ha demostrado ser muy eficaz como herramienta de formación. En la tabla I se dan algunas

características comparativas entre el aprendizaje pasivo y el aprendizaje activo.

4 Metodología

Se aplican los criterios de la Investigación Educativa de la Física (IEF) para elaborar materiales de aprendizaje para la enseñanza de la Cinemática basados en el Aprendizaje Activo de la Física y en estudios precedentes sobre ideas previas de los alumnos sobre el movimiento de los cuerpos. Se incrementó la ganancia en el aprendizaje y se midió a través de test de evaluación antes y después del curso. Se encuestaron 50 alumnos, a los cuales se les impartió una clase basada en los materiales educativos diseñados de acuerdo a la técnica de Aprendizaje Activo de la Física.

En nuestra investigación se aplican el pre y el pos test de acuerdo a las sugerencias reportadas (Hake 2001)^{15,16} con la finalidad de facilitar la aplicación, el análisis y la comparación de resultados. El pretest se aplicó durante la primera semana de clases en un tiempo de aproximadamente 35 minutos, mayor cantidad de tiempo tiene escasa efectividad en los resultados promedio. No se dio ningún crédito al curso en el pretest; de esta forma, se evitó fraude en su solución proporcionando un resultado real, éste fue de carácter confidencial y devuelto con la instrucción necesaria para cubrir las deficiencias en entendimiento conceptual. En éste caso, los resultados obtenidos del pretest se tomaron en consideración para efectuar la instrucción. No se mencionó a los alumnos la aplicación de otra prueba (pos test) al final del curso. El análisis de 'comparación' pre-postest de los datos obtenidos mediante el promedio de clase se realizó considerando solamente a aquellos alumnos que resolvieron am-

bos exámenes, esto permitió un cálculo más riguroso de la ganancia normalizada promedio.

5 Diseño de unidades de aprendizaje activo

Es frecuente encontrar profesores que se han formado con aprendizaje tradicional y les es difícil enseñar de una manera con la que no han experimentado anteriormente. Por decir algo, en la metodología de tutoriales, el profesor no debe dejar trabajando a sus alumnos en la actividad sin ninguna guía, necesita que el profesor tenga un papel activo en el salón de clases, visitando los grupos de trabajo y discutiendo con ellos. Esto significa que el profesor debe conocer no sólo los conceptos que enseña (Redish, 2003)¹⁷, sino también las ideas previas y las dificultades que podrían tener sus estudiantes para saber cómo interactuar con ellos y proporcionar la guía adecuada, pues es sabido que los estudiantes van a clase con ideas previas, formadas por años de experiencia y de aprendizajes anteriores, esto afecta sus interpretaciones.

Para que un profesor esté preparado para enseñar con métodos de Aprendizaje Activo, debe haber experimentado el aprendizaje tal como sus estudiantes lo experimentarán, deberá participar en grupos cooperativos con otros profesores, y aprovechar la experiencia que ellos tienen, e identificar cómo la actividad aborda las ideas previas, errores conceptuales y dificultades en el aprendizaje. También es importante que los profesores conozcan los estudios que hay detrás de cada una de las actividades desarrolladas basadas en investigación. Se debe considerar pues:

Transmitir contenidos	Enseñar a aprender
Formación técnica	Formación integral
El profesor y/o los libros de texto son la autoridad y la única fuente de conocimiento.	El profesor y/o los libros de texto son una guía en el proceso de aprendizaje. Las observaciones del mundo físico real son la autoridad.
Las concepciones de los estudiantes son raramente analizadas y comprendidas.	El Aprendizaje Activo de la Física permite el cambio conceptual a través del compromiso y la participación.
Las asignaturas son el eje principal del proceso enseñanza-aprendizaje	El alumno es el centro del proceso de enseñanza-aprendizaje.
No existe un cambio conceptual de forma abierta.	Se generan cambios conceptuales cuando los estudiantes confrontan las diferencias entre sus predicciones y lo observado.
Los estudiantes pueden nunca reconocer las diferencias entre sus concepciones y lo que se dijo en clase.	Los estudiantes reconocen las diferencias entre sus ideas previas y lo observado.
El profesor construye el conocimiento del alumno, asume la responsabilidad del aprendizaje.	Los estudiantes construyen su propio conocimiento y asumen la responsabilidad de su aprendizaje.
No es posible el trabajo colaborativo.	El trabajo colaborativo permite realizar el análisis conceptual de forma cuidadosa.
Las lecturas presentan frecuentemente preguntas de Física con una pequeña referencia al experimento.	Los resultados experimentales reales son entendibles de forma clara en diversas formas.
El trabajo de laboratorio, es utilizado para confirmar las teorías leídas.	El trabajo de laboratorio se usa para aprender conceptos básicos.

1. *Manejo de los recursos didácticos.* Es necesario efectuar capacitación docente por medio de talleres que permitan a los profesores conocer la estrategia y materiales. En éstos talleres los profesores colaboran con otros profesores, tal como lo harán sus estudiantes en el salón de clase, el profesor deberá aprender a conducir las discusiones de manera apropiada.

2. *Capacitación de profesores y alumnos.* En cada una de las actividades que se llevan a cabo en el salón de clases o en los laboratorios.

En la estrategia se recomienda tener un instructor para grupos pequeños (3 ó 4 estudiantes como máximo); con la finalidad de que el aprovechamiento se incremente, también se capacita a los asistentes para el aprendizaje activo. La actividad deberá ser monitoreada con diagnósticos estandarizados que permitan evaluar la efectividad de la implementación, mediante exámenes pretest y postest diseñados para el efecto con anticipación.

4 Resultados

Se muestra la ganancia de Hake corregida (Hake, 1988, 1998)^{18,19} en la Tabla II.

Con los resultados anteriores podemos mostrar los siguientes rendimientos: Ningún alumno logró el 100% en el pretest, por lo no hubo necesidad de descartarlos, evitando una ganancia infinita. El promedio de clase del pretest efectivo (Cohen, 1988)²⁰ fue de 0.1267 con una desviación estándar de 0.0447, el promedio de clase del postest fue de 0.7155 con una desviación estándar de 0.0722 y la ganancia normalizada promedio de clase fue de 0.7155 de un valor máximo de uno, con una desviación estándar de 0.0787, de una máxima ganancia posible de $g_{\text{máx}}=0.8733$.

4 Conclusiones

Los estudiantes adquirieron una mayor comprensión y habilidad en la adquisición de conocimientos, los resultados obtenidos por Hake para cursos con enseñanza tradicional (conferencia) señalan que normalmente aumentan los resultados pre y pos en un 20%, mientras que los cursos que usan métodos interactivos de enseñanza aumentan la ganancia normalizada es de hasta un 70%, con los materiales que se diseñaron se obtuvo una ganancia promedio del grupo del 71.55%, y recordando que es nuestra primera aproximación al diseño de materiales educativos basados en el AAF e ideas previas del estudiante, se puede ver que a futuro podremos obtener mejores resultados. Consideramos que se debe efectuar *Investigación educativa* sobre las ideas previas, y dificultades en el aprendizaje de la Física, esto permitirá desarrollar actividades propias para crear, diseñar e implementar materiales adecuados que involucren el Aprendizaje Activo.

El aprendizaje resultó profundo y duradero, pues se aplicaron los exámenes al final del curso con los resulta-

dos obtenidos, el alumno se vio implicado activamente en su aprendizaje y pudo efectuar el ciclo PODS, generando conocimiento. El aprendizaje cooperativo se presentó como un proceso necesario para alcanzar la máxima eficiencia en el aprendizaje, se promovió la discusión mediante la tormenta o lluvia de ideas, uso de mapas conceptuales y de las tecnologías de la información y de la comunicación, por mencionar algunas estrategias, aprovechado las características de aprendizaje de cada estudiante (kinestésico, auditivo o visual). Se promovió el descubrimiento de los principios y aplicaciones de la ciencia a partir de lo conocido; es decir, la transferencia a situaciones y soluciones semejantes. Los materiales diseñados permitieron a docentes y estudiantes aprender correctamente superando las concepciones equivocadas, y para conocer las ideas previas y dificultades en el aprendizaje se requiere continuar con la investigación presente y ampliando la cantidad de elementos educativos.

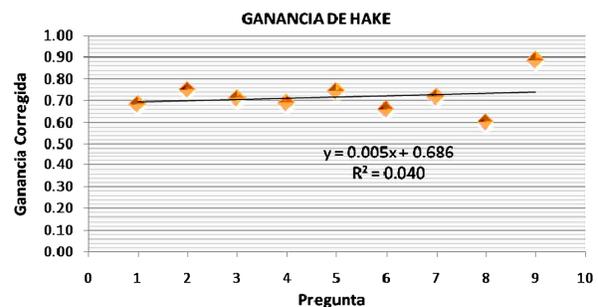


Figura 2. Gráfico de la Ganancia de Hake.

Pregunta	Pretest efectivo % aciertos	Postest % aciertos	Ganancia de Hake Corregida
1	18.0	74.0	0.6829
2	12.0	78.0	0.7500
3	10.0	74.0	0.7111
4	10.0	72.0	0.6869
5	22.0	80.0	0.7436
6	12.0	70.0	0.6591
7	8.0	74.0	0.7174
8	10.0	64.0	0.6000
9	12.0	90.0	0.8864
Promedios	12.67	75.11	0.7155

Actualmente se cuenta herramientas para conocer las ideas previas de los estudiantes, y se considera necesario trabajar para conocer las mismas en otras áreas de la enseñanza de la Física pues los elementos con los que se cuenta son insuficientes y es necesario diseñar materiales educativos, sugiriendo que sean métodos activos.

Agradecimientos

Y. Benítez agradece el apoyo de la Cátedra de Investiga-

ción IN3-09 Tecnología Informática para la Investigación Educativa y la Enseñanza de la Mecánica en la Facultad de Estudios Superiores de la Universidad Nacional Autónoma de México. C. Mora agradece el apoyo otorgado por el Instituto Politécnico Nacional mediante el proyecto de investigación SIP-20082788 y CONACYT-91335.

Referencias

1. R. R. Hake, "Interactive engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses", Consultado el 30 de enero de 2008 disponible en <http://physics.ius.edu/~kyle/Argentina/Apuntos/Hake.htm>, Am. J. Phys. Vol. 66 (1). pp. 64-74. (1998).
2. A. Jimoyiannis, V. Komis, "Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion", Computers & Education. Vol. 36 pp. 183-204 (2001).
3. M. Hänze, R. Berger, "Cooperative learning, motivational effects, and student characteristics: An experimental study comparing cooperative learning and direct instruction in 12th grade physics classes", Learning and Instruction Vol. 17, pp. 29-41 (2007).
4. G. Taasoobshirazi, M. Carr, "A review and critique of context-based physics instruction and assessment", doi:10.1016/j.edurev.2008.01.002, Educ Res Rev (2008),
5. I. A. Halloun and D. Hestenes, "Common sense concepts about motion", Am. J. Phys. Vol. 53, p. 11 (1985).
6. J. Virgilio Niño, W. J. Herrera y Sh. Gómez, "Acerca de la Enseñanza de la Física en las Carreras de Ingeniería", Revista Colombiana de Física. Vol. 38, p. 4 (2006).
7. Y. Van, "Student Misconceptions in Mechanics: An International Problem?", The Physics Teachers Vol. 35, pp. 498-502 (1988).
8. J. Sierra, "Estudio de la influencia de un entorno de simulación en el aprendizaje por investigación de la física en el bachillerato", Tesis doctoral. Ministerio de Educación y Ciencia Secretaría General de Educación. Dirección General de Educación, Formación Profesional e Innovación Educativa. Centro de Investigación y Documentación Educativa (CIDE). (2004).
9. C. Stathopoulou, S. Vosniadou, "Exploring the relationship between physics-related epistemological beliefs and physics understanding", Contemporary Educational Psychology Vol. 32, pp. 255-281 (2007).
10. J. V. Santos Benito, Albert Gras-Martí, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol.2, p. 2 (2003).
11. G. R. Pozzo, "Cuerpos en Movimiento: Un estudio de investigaciones publicadas y de las representaciones de los estudiantes universitarios. Investigación Ciencias Exactas y Naturales - Ingenierías y Tecnologías", Ciencia, Docencia y Tecnología N° 31, Año XVI. pp. 199-218 (2005).
12. R. R. Hake, "Interactive-engagement methods in introductory mechanics courses". Consulted on 14 October 2008, available online at <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/>, Physics Education Research Supplement to AJP (PERS). (1998).
13. C. Mora, "Fundamentos del aprendizaje activo de la Física", Memorias del V Congreso Internacional Didáctica de las Ciencias y X Taller Internacional sobre la Enseñanza de la Física. La Habana, Cuba. Marzo 17-21 (2008).
14. D. Sokoloff et. al., "Active Learning in Optics and Photonics", 1th edition. UNESCO. Paris, France. (2006).
15. R. R. Hake, "Suggestions for Administering and Reporting Pre/Post Diagnostic Tests", available online at <http://www.physics.indiana.edu/~hake/TestingSuggestions051801.pdf>. Consulted on 21 October (2008).
16. R. R. Hake, "Lessons from the Physics Education Reform Effort". Consulted on 21 October 2008, available on <http://www.ecologyandsociety.org/vol5/iss2/art28/>, Conservation Ecology (2001).
17. E. F. Redish, "Teaching Physics. A Theoretical Framework for Physics Education Research: Consulted 31 January 2008 on <http://arxiv.org/abs/physics/0411149>. Modeling Student Thinking", (2003).
18. R. R. Hake. available as [Errors-g.pdf, 32K] by request, "Errors in the Normalized Gain," (2001).
19. R. R. Hake, "Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses", available online at <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/>. Consulted on 14 October 2008, Am. J. Phys. Vol. 66, pp. 64-74 (1998).
20. J. Cohen, "Statistical power analysis for the behavioral sciences", available on <http://www.questia.com/library/book/statistical-power-analysis-for-the-behavioral-sciences-by-jacob-cohen.jsp>., Consulted on 21 October (2008). Lawrence Erlbaum, 2nd ed. (1988).