



## Aprendizaje Activo de la Física para estudiantes de Ingeniería en la Ciudad de México

Rubén Sánchez Sánchez,<sup>a</sup> César Mora,<sup>b</sup> Lino Jesús Velázquez Arteaga<sup>c</sup>

<sup>a,b</sup>Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional.

Unidad Legaria, Legaria #694. Col. Irrigación, Del. Miguel Hidalgo, C.P. 11500, México, D.F.

Tel. (52)55572960067737

<sup>c</sup>Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 13, Ricardo Flores Magón.

Av. Taxqueña #1620, Del. Coyoacán, Col. Paseos de Taxqueña, C.P. 04249, México, D.F. Tel. (52)5557296000

### ARTICLE INFO

**Recibido:** 23 Sep. 2013

**Aceito:** 10 Oct. 2013

**Palavras chave:**

Educación Universitaria.  
Aprendizaje Activo de la Física.  
Ganancia de Hake.

**E-mail:**

rbnsnchz@yahoo.com.mx  
cmoral36@hotmail.com  
lino\_2309@yahoo.com.mx

ISSN 2007-9842

© 2014 Institute of Science Education.  
All rights reserved

### ABSTRACT

The *Active Learning of Physics* has been developed mainly in the US and Europe. With this method of study, applied in American and European Universities, high gain in learning process have been reached, as shown by the Hake's factor. In this paper, we have used a modified methodology of Active Learning at the Center for Science and Technology Studies No. 13 of National Polytechnic Institute, located in Mexico City. The results of Hake's gain are showed, for try to see the impact of this methodology in Mexico. This experiment represents one of the first testimonies taken into Mexico about Active Learning of Physics, putting it in a Latin American context.

El *Aprendizaje Activo de la Física* ha sido desarrollado principalmente en Estados Unidos y Europa. Con esta metodología de estudio, se han alcanzado dentro de universidades estadounidenses y europeas una alta ganancia en su aprendizaje, como lo han mostrado el factor de Hake. En este trabajo, se ha empleado una metodología modificada de Aprendizaje Activo en el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 13 del Instituto Politécnico Nacional, ubicada en la capital mexicana. Se muestran los resultados obtenidos de la ganancia de Hake, para tratar de ver el impacto que tiene esta metodología en México. Este experimento representa uno de los primeros testimonios que se tienen en México acerca del Aprendizaje Activo de la Física, poniéndolo dentro de un contexto latinoamericano.

## I. INTRODUCCIÓN

La educación en Física dentro de México se ha caracterizado por el rechazo generalizado de los estudiantes, que no precisamente estudian la materia para conseguir un título de físico. La historia de la educación en Física en nuestro país está lleno no sólo de logros, sino de trabajo y esfuerzo por parte de los profesores de Física, para llevar al aula la materia y tratar de conseguir que sus estudiantes aprendan lo suficiente, para que puedan aplicar estos conocimientos dentro del marco laboral de trabajo.

Los esfuerzos de los profesores de dicha asignatura, reportan el día a día de un esfuerzo generalizado para atender las demandas que tiene la sociedad mexicana para difundir este conocimiento que es necesario, no sólo para las carreras orientadas hacia un fin científico o tecnológico, sino para aquellas que requieren un uso más técnico de dichos conocimientos y que día a día se emplean en los trabajos de carácter técnico.

Para enseñar y llevar la materia de Física a las aulas es requerido que el profesor tenga y planee llevar consigo una estrategia didáctica. El éxito en la empresa educativa de la Física debe de tomar en cuenta la experiencia brindada por la investigación educativa para la rama de la Física.

Dentro de este contexto se encuentra la metodología estadounidense y europea llamada *Aprendizaje Activo de la Física*. Según sus defensores más populares, Sokoloff y Thornton, el Aprendizaje Activo de la Física es un auxiliar invaluable dentro del salón de clases y en el laboratorio, pues permite que el estudiante aprenda Física sin depender de forma drástica de un libro de texto o del profesor que ofrece la materia de Física. Dentro del contexto de la investigación en educación, el Aprendizaje Activo de la Física ocupa hoy un lugar importante y significativo dentro de las metodologías de aprendizaje de la Física.

Como es reportado por Sokoloff y Thornton (1998), la ganancia en el aprendizaje de la Física es muy significativo al menos dentro de sus Universidades. Tienen factores de Hake muy altos, cuando aplican Aprendizaje Activo, en cambio, el Aprendizaje Pasivo (como se le llama, al aprendizaje que tradicionalmente se llevaba en tiempos pasados), reporta en sus experimentos un bajo desempeño dentro del aprendizaje de la Física en sus alumnos.

En este trabajo, se examina la posibilidad de llevar dentro de suelo mexicano la misma metodología de aprendizaje llevado por Sokoloff y Thornton en Universidades de Estados Unidos. De esta forma, tenemos los primeros resultados del Aprendizaje Activo de la Física pero en terreno mexicano.

Ofrecemos la metodología que llevo a cabo Lino Jesús Velázquez Arteaga (2012) dentro del CECyT (Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos) No. 13 unidad “Ricardo Flores Magón” del Instituto Politécnico Nacional, durante el año del 2011. Las clases de Física se dan a nivel Licenciatura y representan un primer esfuerzo por llevar este paradigma estadounidense y europeo a México.

En las siguientes páginas veremos la metodología del Aprendizaje Activo de la Física, tal y como lo llevó y lo adaptó Lino (Velázquez, 2012) para estudiantes de Física en México.

Los resultados, quizá no reflejen aquellos logrados por Sokoloff y Thornton (1990, 1998) en Estados Unidos, pero nos hacen reflexionar sobre la utilidad que tiene la metodología en un país latinoamericano que cuenta con unos recursos y apoyos económicos y tecnológicos mucho menores en sus laboratorios de Física, comparados a los laboratorios de un país de primer mundo como lo es Estados Unidos.

Esta investigación también fue parte del trabajo del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria del mismo Instituto Politécnico Nacional del Distrito Federal en México.

## II. LA PROPUESTA DIDÁCTICA DE LINO

Para hablar de cómo fue planteada la metodología estadounidense en México hace falta detallar un poco la forma en cómo se llevó a cabo el experimento educativo dentro del CECyT no. 13. En su tesis de Maestría en Ciencias, Lino nos habla de una propuesta didáctica que él aplicó a sus alumnos. Esta propuesta didáctica, consiste básicamente del Aprendizaje Activo de la Física llevada a las aulas, pero con cierto programa a la hora de su aplicación. Describimos como Lino llevó a cabo este programa evaluativo de la metodología dentro de su unidad académica.

1. Primera fase (Diagnóstico). Esta etapa de la aplicación metodológica tiene como objetivo identificar las ideas previas que tienen los alumnos sobre las leyes de Newton del movimiento. Se realiza un examen de diagnóstico a tres grupos del CECyT no. 13 para evaluar sus conocimientos e ideas previas.

2. Segunda fase (Aplicación). Esta sería la fase experimental de la propuesta de Lino, pues aquí es donde se tiene que aplicar la metodología del Aprendizaje Activo de la Física a los grupos. Se escoge un grupo como “grupo experimental” y se le aplica la metodología de Sokoloff y Thornton hasta cierto grado, haciendo las adecuaciones pertinentes para México, por ejemplo, en los materiales de apoyo didáctico. Así mismo a los otros dos grupos se les enseña de la manera tradicional con el aprendizaje pasivo, que consiste en la exposición por parte del docente de los temas, tal y como se ve en los libros de texto. Para el grupo experimental se toma en cuenta el hecho de realizar algunas preguntas previas, antes de realizar el experimento y luego se vuelven a realizar una vez hecho éste (Riveros, 2004). Tal y como se hace en la metodología del Aprendizaje Activo.
3. Tercera fase (Resultados). Esta es la fase de análisis de los resultados experimentales didácticos, y tiene como objetivo evaluar el aprendizaje obtenido tanto en la prueba de pretest como en la de posttest, tanto del grupo experimental como el de los de control (Díaz, 2000). Así obtenemos los resultados que nos guiarán hacia una apreciación de la eficiencia de la metodología en una sociedad de más bajos recursos que la estadounidense.

### III. ACERCA DE LOS RESULTADOS

Los resultados se tienen que analizar tomando en cuenta tanto los datos obtenidos durante la fase del pretest, como del posttest experimental y comparándolos entre sí. El instrumento o parámetro de medida estadístico que se emplea para tal rubro se llama *ganancia de aprendizaje normalizada* (Hoellwarth, C. and Moelter, M., 2011) o también conocida en la literatura como *ganancia de Hake* (1998).

### IV. DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS EXPERIMENTOS DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

Algunos de los experimentos que se realizaron para poder enseñar las leyes de movimiento de Newton, fueron propuestos y aplicados por Lino en sus grupos del Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos (CECyT) no. 13. No detallamos aquí todos los experimentos sino sólo unos que nos servirán de guía para entender como con experimentos sencillos el Aprendizaje Activo de la Física puede ser adaptado en circunstancias donde no se cuenta con ricos recursos, como sucede en universidades de Estados Unidos. En México, el gobierno cuenta con menos recursos económicos, por eso, es necesario que el investigador en educación cuente con bastante imaginación para el diseño de experimentos que puedan llevarse a cabo con éxito ya sea en el salón de clase o en el área del laboratorio. Nuestra intención aquí es ilustrar este punto, para que quede ejemplificado.

A continuación mostramos tres experimentos de bajo costo, para mostrar las leyes de Newton del movimiento de los cuerpos rígidos:

1. En el primer experimento, se dispone en la mesa de laboratorio un vidrio y sobre del hielo seco en forma de un bloque de cierta masa “m”. De tal forma que el bloque pasa a ser el objeto observado, se le amarra a un hilo elástico de donde se le jala para aplicarle una fuerza externa. Sobre el bloque se sitúa una mampara de vidrio que contiene en su interior a un péndulo. Se le aplica al bloque una fuerza por muy breve tiempo, de manera que se simula la aplicación de una fuerza instantánea sobre el bloque, y se deja que el bloque se mueva libremente sobre el vidrio. Para que los estudiantes observen las

características del movimiento. Aquí se analiza entonces la primera ley de Newton del movimiento de los cuerpos.

2. En el segundo experimento se dispone del mismo material y de la misma configuración inicial que en el primero. Sólo que esta vez se tira de la cuerda asida al bloque de manera constante y sin variar la intensidad de la fuerza aplicada durante todo su movimiento. Obviamente aquí las condiciones experimentales cambian, a las de una fuerza aplicada de forma continua durante todo el trayecto, y la fuerza permanece constante durante el mismo. Este experimento es adecuado para analizar la segunda ley de Newton del movimiento de los cuerpos sólidos.
3. Se dispone a dos estudiantes sobre patinetas en el salón de clase. Las alumnas tienen diferentes masas. En la situación inicial las estudiantes están de frente una con la otra sobre sus respectivas patinetas, pero se encuentran en reposo, sin interacción alguna. Posteriormente, se les pide a las estudiantes que se apliquen de forma simultánea un “empujón” mutuo. Acto seguido se observará como ambas estudiantes se mueven sobre una misma línea recta sobre el piso del salón, y en direcciones contrarias. Como las masas de las estudiantes son diferentes el efecto, se observará con diferentes características en cada una de las estudiantes. Este experimento es uno de los efectuados para ilustrar la tercera ley de Newton del movimiento.

## V. FORMA DE APLICAR LA PROPUESTA DIDÁCTICA

La manera de la aplicación de la propuesta didáctica se conoce como el ciclo PODS (que viene de las iniciales de los pasos básicos: Predicción, Observación, Discusión y Síntesis) que Sokoloff y Thorton (2004, 2006, 1997, 1998) han expuesto, y que consta en general de los siguientes pasos

- Se realizan algunas preguntas previas. Estas son discutidas y analizadas por cada uno de los equipos antes de la realización del experimento.
- Se realiza el experimento propuesto. Aquí los estudiantes pueden comparar los resultados del experimento con sus conjeturas o “predicciones” que habían elaborado antes del experimento.
- Secuencias de preguntas a discutir, por parte de los equipos de trabajo. Estas se efectúan posteriormente al experimento, para así, observar si hubo cambios de las explicaciones previas.
- Se efectúan las Reflexiones, Observaciones, Síntesis y Conclusiones de los experimentos, para reafirmar el conocimiento adquirido.

En todos y cada uno de estos pasos de la secuencia pasada, los alumnos discuten entre ellos y analizan los resultados del experimento o los experimentos exhibidos. El papel del profesor del curso de Física se restringe demasiado pues casi no toma parte en las actividades educativas y sólo se restringe a ser el guía de las actividades. Esto contrasta bastante con la enseñanza tradicional, donde prácticamente es el profesor el que lleva casi toda la actividad de enseñanza y los estudiantes se limitan a “escuchar” percibir y aprender los conceptos.

Aquí, como se ve, no se menosprecia el papel del estudiante como un agente “activo” dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje. Esto es así, ya que de otro modo, el estudiante estaría muy limitado y “trataría” sólo de aprender los conceptos “poniendo atención” a lo que el profesor hace en el laboratorio o escribe en el pizarrón o bien explica con sus palabras durante la clase. Aquí se enfrenta el sentido común del estudiante y sus preconcepciones, directamente con los resultados del experimento, un proceso que confrontación, que según las pautas del Aprendizaje Activo de la Física, debe de resultar en un proceso de modificación y construcción de ideas, ideas que ya organizadas van a ser el soporte del aprendizaje de la

Física. Por lo tanto, según esta tesis, el mantener “activos” a los estudiantes resulta en un índice de aprendizaje mejor, al comparado al que se llega teniendo a los estudiantes pasivos y “atentos” a la clase. Claro este paradigma educativo, debe de ser evaluado con un “índice” o “indicador” apropiado de aprendizaje. La herramienta de aprendizaje que vamos a evaluar es como ya dijimos el *factor de aprendizaje* o *ganancia de Hake*. Una vez que comparemos los factores de Hake del Aprendizaje Activo de la Física, con el obtenido aplicando la Enseñanza Pasiva Tradicional, podemos plantear las conclusiones y los resultados de esta investigación.

## VI. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Como ya dijimos antes, la propuesta didáctica para implementar el Aprendizaje Activo de la Física en la escuela, el CECyT No. 13 del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en la ciudad de México, se llevó a cabo con tres grupos del investigador, grupos que llamaremos categóricamente con las letras del alfabeto: A, B y C. El grupo B es el grupo experimental, esto es, es el grupo donde se aplica la propuesta didáctica. Los otros dos grupos A y C, son grupos de control, lo que quiere decir, que a los estudiantes de dichos grupos se les dio la clase de Física de la manera habitual, tal y como se acostumbra a hacer en el CECyT No. 13, sin adicciones de una enseñanza activa.

Nuestro parámetro a observar es el factor de Hake (1998)  $h$  cuya fórmula, nos recuerda que es un indicador estadístico de que *tanto* han aprendido los estudiantes de la clase de Física dentro del contexto de una metodología didáctica en particular. La fórmula para evaluarla viene dada de acuerdo a la siguiente expresión matemática:

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

La población de cada grupo para realizar el experimento variaba, y se resume dentro de la tabla I.

Por otro lado, los porcentajes de conocimientos que tenían antes de que se les impartiera clase a los estudiantes y el porcentaje que adquirieron después de la clase, para cada uno de los grupos del experimento didáctico, se resumen en la tabla II. También se muestra en la tabla la diferencia en el promedio de conocimientos de antes y después de darles la clase de Física.

Nuestro parámetro estadístico a medir, el factor de Hake, para cada grupo se muestra en la tabla No. 3. En ella se muestra el impacto que tiene en la enseñanza una propuesta didáctica basada en el Aprendizaje Activo de la Física. El factor puede calcularse fácilmente a partir de los datos y la fórmula (1).

Existe el siguiente criterio general para apreciar estos resultados cuantitativos. El criterio que se puede tomar, es el siguiente:

Una ganancia de Hake baja se encuentra considerada entre 0.0 y 0.4, una ganancia de Hake media se encuentra entre 0.4 y 0.7, y una ganancia de aprendizaje alta está comprendida entre 0.7 y 1.0.

**TABLA I.** Alumnos participantes de cada grupo.

Grupo	No. De Alumnos
A (control)	26
B (experimental)	27
C (control)	13

**TABLA II.** Resultados en promedio durante las evaluaciones del pretest y postest para cada grupo. Únicamente al grupo B se le aplicó la propuesta didáctica. A los otros dos grupos se les enseñó de acuerdo al procedimiento tradicional.

Grupo	Pretest (promedio)	Postest (promedio)	Diferencia
A (control)	2.80	4.31	1.51
B (experimental)	2.04	6.48	3.44
C (control)	2.15	3.85	1.70

**TABLA III.** Aquí tenemos los resultados de la ganancia de Hake, para los grupos del CECyT No. 13 del IPN en la ciudad de México, de Lino Jesús Velázquez Arteaga.

Grupo	Factor de Hake
A (control)	0.21
B (experimental)	0.49
C (control)	0.22

Como podemos observar del experimento del profesor Lino, la ganancia de aprendizaje indicada por el factor de Hake, para el Aprendizaje Activo de la Física, al menos en algunos estudiantes de la ciudad de México para el Instituto Politécnico Nacional (IPN) en la enseñanza superior, tiene un régimen considerado como de índice “regular”. En cambio, la enseñanza habitual con el método de aprendizaje tradicional, para el mismo tipo de población estudiantil tiene un índice de aprendizaje o factor de Hake que se considera “bajo”. Estos resultados fueron efectuados durante el año del 2011 en el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 13 “Ricardo Flores Magón” del IPN.

## VII. CONCLUSIONES

El Aprendizaje Activo de la Física en varias escuelas de un país de primer mundo como lo es Estados Unidos parece rendir frutos muy positivos y abundantes como nos lo muestran Sokoloff y Thornton (1990, 1998) en sus reportes.

Sin embargo, la enseñanza de la Física debe de extenderse a todos los rincones de la Tierra, no sólo a los países de economía élite como los Estados Unidos y Europa. Dentro de los países de habla hispana por ejemplo, la metodología del Aprendizaje Activo de la Física ha sido escasamente aplicado y adaptado. A

pesar de esto, esta breve investigación realizada por el profesor Lino, ha mostrado al menos dentro del CECyT No. 13 de la ciudad de México, que el Aprendizaje Activo de la Física, necesita una buena adaptación para el caso de las escuelas con bajos recursos económicos. En particular, si bien los resultados de la ganancia de Hake, tienen una tendencia positiva, ellos muestran que todavía falta por hacer más e implementar más recursos didácticos, cuando no se cuenta con un soporte económico de primer mundo.

No obstante, el Aprendizaje Activo de la Física ha demostrado su potencial de mejoría con respecto a la enseñanza tradicional. Hay que tomar en cuenta, que los problemas de enseñanza en los países de América Latina deben de ser más acentuados debido a la escasez de recursos económicos y de tecnología.

Dicho esto, hay que intentar realizar más investigación en el área educativa en México, y tratar de implementar las estrategias de acuerdo a nuestros niveles económicos y de recursos tecnológicos. Esto es un verdadero reto, para países como el nuestro, pero no hay que rendirse y hay que trabajar todavía más duro en el futuro, para poder alcanzar niveles de aprendizaje mejores.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren dar su agradecimiento por el apoyo brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México y por aquel dado por la COFAA del IPN, y agradecer además por los apoyos de los proyectos de la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional de México, D.F., proyecto de investigación número 20144659 *Empleo de Tecnologías de la Información y la Comunicación para la enseñanza de la ley cero de la termodinámica a nivel medio superior*, y al proyecto de investigación número 20141373 *Prototipos de dinámica para ingeniería basados en aprendizaje por proyectos*.

## REFERENCIAS

Díaz, B. A. (2000). Estadística Aplicada, Administración y la Economía. México: McGraw-Hill.

Díaz, B. A. (2002). Estrategias Docentes para un Aprendizaje Significativo. México, D.F: McGraw-Hill.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six- thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66 (1), 64-74.

Hoellwarth, C., Moelter, M. J. (2011). The implications of a robust curriculum in introductory mechanics. Department of Physics, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California 93407: *Am. J. Phys.* 79 (5), 540.

Laws, P. W., (2004). Workshop Physics, Activity Guide, Module 2, Mechanics II, The Physics Suite. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.

Sokoloff, D. R., Thornton, R. K., Laws, P. W. (2004). Real Time Physics, Active Learning Laboratories, Module 1, Mechanics, The Physics Suite. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.

Sokoloff, D. R., Thornton, R. K., Laws, P. W. (2004). Real Time Physics, Active Learning Laboratories, Module 3, Electric Circuits, The Physics Suite. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.

Sokoloff, D. R., Thornton, R. K., Laws, P. W. (2004). Real Time Physics, Active Learning Laboratories, Module 4, Light and Optics, The Physics Suite. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.

Sokoloff, Thornton. (1997). Using Interactive Lecture Demonstrations to Creative and Active Learning Environment, The Physics Teacher. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.

Sokoloff, Thornton. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation of Active Laboratory and Lecture Curricula, *Am. J. Phys.* 66, 338-352.

Sokoloff, D.R., Thornton, R. K., (1990). Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools, *Am. J. Phys.* 58 (9), 858-867.

Sokoloff, D. R., Thornton, R. K., (2006). Interactive Lecture Demonstrations, Active Learning in Introductory Physics, The Physics Suite. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.

Riveros, H. J. (2005). Experimentos Impactantes. México, D.F: Trillas.

Riveros, H. J. (2008). Como mejorar mi clase de Física. México, D.F: Trillas.

Velázquez A., L. J. (2012). Aprendizaje Activo para las leyes de Newton a nivel Medio Superior. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Unidad Legaria. México, D.F.