

Estrategia enseñanza-aprendizaje basada en experimentos (ABE) para mejorar la comprensión de gráficas en Cinemática



Manuel Sandoval M¹, César Mora², Carmen del Pilar Suárez Rodríguez³

¹Universidad Politécnica del Golfo de México, Carr. Fed. MalPaso el Bellote KM171, Tabasco, México.

²Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Avanzada. Av. Legaria No. 694, Col. Irrigación, Del. Miguel Hidalgo.

³Coordinación Académica Región Huasteca Sur, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Morelos 412, Barrio del Carmen, Tamazunchale, San Luis Potosí, México.

E-mail: manuelsandoval804@gmail.com

(Recibido el 3 de enero de 2017, aceptado el 27 de agosto de 2017)

Resumen

Se presentan los resultados de la aplicación de una estrategia de enseñanza basada en experimentos para mejorar la comprensión de gráficas de cinemática, con estudiantes universitarios. Se trabajó con tres grupos tradicionales (control) y uno experimental (ABE). Se utilizó el test TUG-K para medir el nivel de comprensión de las gráficas, en pretest y postest. Encontramos que los grupos tradicionales no pudieron eliminar sus ideas erróneas acerca de la interpretación de las mismas; la ganancia de Hake tiene un promedio de 7% lo que indica que el método tradicional no es efectivo para estos casos. Sin embargo, con ABE los estudiantes del grupo experimental pudieron superar diversas deficiencias en la interpretación de las gráficas, pudieron relacionar la pendiente con la velocidad y la aceleración (según el tipo de gráfico), los modelos matemáticos con su interpretación física, así como el pasar de una representación gráfica a una textual y vic. La ganancia de Hake supera el 40%, el factor de concentración indica que las respuestas al postest caen las zonas HH y MM indicando un nivel alto para ABE. La prueba de hipótesis muestra que entre los grupos experimental y de control existen diferencias significativas en sus aprendizajes, lo que nos sugiere que la estrategia planteada ofrece mejores resultados que la tradicional.

Palabras clave: Enseñanza basada en experimentos, interpretación de gráficas, enseñanza tradicional, trabajo colaborativo, movimiento cinemático.

Abstract

We show results about a methodology named experiment-based learning (EBL) in order to improve kinematic-graph comprehension in university students. We worked with three traditional groups and one experimental group (EBL). We used TUG-K test to measure the graph comprehension level in pretest and posttest. WE found that traditional groups could not eliminate their misconception about graph interpretation; Hake gains average was 7% indicating that traditional teaching in not a good instruction for these topics. However, using EBL experimental group could eliminate some misconception about kinematic graph; they could link the slope with the velocity and acceleration (according the graph), the mathematic models with its physics interpretation, such as go from one representation graph to verbal interpretation and vic. For EBL, Hake gain is lager that 40%, concentration factor indicate that posttest result placed in MM and HH zone, and this is a good result for our strategy. Hypothesis test shows that between traditional groups and experimental group there are significant differences in their learning, and this point out that EBL offer better results than traditional instruction.

Keywords: Experiment-based learning, kinematic graph interpretation, traditional instruction, collaborative work, kinematic motion.

PACS: 01.40Fk, 01.40gb, 01.40fk

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

En el proceso del desarrollo de las teorías científicas para explicar los fenómenos del mundo real, los científicos a menudo usan representaciones visuales tales como mapas, símbolos, tablas, modelos, gráficas, etc. (Roth &

McGinn, [1]). Es de gran relevancia señalar que la elaboración de gráficas, así como su correcta interpretación, es una sección vital en las acciones experimentales, siendo esto el corazón de las ciencias naturales (McKenzie & Padilla, [2]). La importancia de estas habilidades, según Antwi [3], es porque que las gráficas son una parte de las

ciencias que se usan en todas partes, tanto en la industria, negocios, campos de la medicina, así como en las matemáticas, química, biología y física. La interpretación de las gráficas no solo es una parte de las ciencias, es una habilidad esencial para los estudiantes que deben dominar con claridad.

El propósito de la enseñanza de las ciencias en cualquier nivel educativo, consiste en crear un cambio significativo en el aprendizaje del estudiante. La enseñanza tradicional está centrada en el profesor, por lo que los estudiantes tienen un proceso de aprendizaje pasivo. Durante la última década, las instituciones educativas abogan por adoptar un modelo más dinámico en el cual el estudiante sea protagonista y más autónomo en su aprendizaje (Zohar & Ben David, [4]). Diversos profesores optan por esta forma de trabajo por qué:

1. Promueve habilidades del pensamiento.
2. Los estudiantes adquieren mayores responsabilidades.
3. Desarrollan experiencias positivas en el aprendizaje de la física.

Entre las ventajas del aprendizaje centrado en el estudiante es que da la oportunidad de explorar la conexión entre las habilidades para interpretar gráficas y el aprendizaje de conceptos científicos. Dentro de este tipo de propuestas, Biechner [5] señala que las habilidades para resolver problemas mejoran, la deserción disminuye y la comprensión de conceptos, así como la actitud también aumentan. Tebabal [6] encontró que con estas metodologías los estudiantes mejoran sus habilidades gráficas y eliminan algunos errores conceptuales que la instrucción tradicional no logra. Otros estudios (Berg, [7]; Vekiri, [8]) sugieren que la construcción e interpretación de gráficas requiere de un pensamiento operacional formal. Esto implica que estudiantes con un bajo nivel de razonamiento (y una baja habilidad espacial) no podrán extraer información ni interpretar adecuadamente una gráfica. Habre & Abboud [9] argumentan que la información visual es más difícil de comprender para los estudiantes y aun así la consideran menos “matemático”.

Por otro lado, Biechner [5] ha encontrado que los estudiantes tienen serias dificultades para construir, transformar e interpretar diversos gráficos en un contexto físico; por lo que la enseñanza debe estar centrada en el estudiante para que mejoren dichas habilidades y remover los errores conceptuales que traen consigo. McDermott *et al* [10] han mostrado que las dificultades de comprensión no deben ser atribuibles únicamente a problemas con la matemática, sino también a una escasa habilidad para establecer conexiones entre una representación gráfica y el concepto físico adecuado. De esta manera, el estudiante debe saber ir bidireccionalmente de una representación a otra. Más aún, Hale [11] apunta que algunos errores, tales como confundir la pendiente con la altura que tenga una gráfica no corresponde en sí a un error conceptual por parte de los estudiantes sino a un error de lectura de los ejes. Glazer [12] encontró que un error común entre los estudiantes es interpretar una gráfica como si fuera una fotografía, es decir si un objeto desciende sobre una colina,

su gráfica debe tener la forma de dicha colina. Eshach [13] señala que algunos de estos errores se deben a que los estudiantes tienden a utilizar reglas intuitivas para tratar de explicar algunos movimientos de partículas, por ejemplo, consideran que a mayor posición (distancia) mayor velocidad y viceversa, a menor posición menor velocidad, incluso de esta manera tratan de interpretar las gráficas.

Otros investigadores como (Gende, [14]) mencionan que en diversas áreas de la física parece haber una desconexión entre lo que los estudiantes aprenden en matemáticas y cómo aplican esos conocimientos en sus cursos de física; los casos más comunes de analizar son la interpretación de la pendiente de una curva en una gráfica posición-tiempo. Dichos autores consideran que los estudiantes tienen problemas para graficar datos, al parecer, porque no comprenden los fundamentos de una gráfica; tienen problemas para elegir las variables a graficar, etiquetan los ejes de manera incorrecta, tienden a conectar los puntos adyacentes, entre muchos otros. Planinic [15] asevera que, la mayoría de los estudiantes puede resolver un problema matemático relacionado con el cálculo de la pendiente, pero no pueden resolver su contra parte física, por lo que concluye que aun cuando los estudiantes tengan buenas herramientas matemáticas no es garantía de éxito en la solución de los problemas de física. Un estudio de Woolnough [16] fue particularmente interesante ya que reveló la existencia de una resistencia de los estudiantes para aplicar sus conocimientos de matemáticas en problemas de física, por ejemplo, cuando calculan la pendiente de una recta algunos estudiantes consideran que es inapropiado asignarle unidades a la pendiente porque su percepción es puramente matemática. En otras palabras, presentan problemas para transferir sus conocimientos de un campo a otro.

Por otra parte, en un experimento observado (McDermont *et al.*, [10]) sobre el movimiento de un objeto en un riel de baja fricción, los estudiantes no pudieron elaborar la gráfica cinemática que lo representa. Los problemas incrementan cuando aparece una velocidad negativa o bien si el objeto se mueve en dirección contraria a su movimiento inicial. En términos generales, tiene problemas para conectar las gráficas con el mundo real. Nemirovsky and Rubin [17] encontraron que los estudiantes esperan que la gráfica posición-tiempo de un objeto sea similar a su respectiva gráfica velocidad-tiempo. Çil [18] realizó una investigación en la cual señala que más de la mitad de alumnos (que se preparan para ser profesores de ciencias), no pudieron interpretar gráficas posición-tiempo de manera adecuada; los resultados son semejantes para el análisis de gráficas velocidad-tiempo. En este punto, cabe mencionar que de acuerdo a un estudio realizado por Jacobbe & Horton [19] es necesario que, para que los estudiantes puedan alcanzar las habilidades antes mencionadas, los profesores deben dominarlas adecuadamente; esta es una de las razones por las cuales los estudiantes que se preparan para ser profesores de física deben ser instruidos con técnicas no tradicionalistas.

Dentro de este contexto, algunas de las habilidades en las cuales los estudiantes (y profesores) deben ser competentes son las siguientes (Bowen & Roth, [20]):

- Describir y representar relaciones con tablas y gráficas.
- Colectar, organizar y describir datos.
- Representar situaciones y patrones numéricos con tablas, gráficas, reglas verbales, ecuaciones y explorar las relaciones entre ellas.

Con esta perspectiva, es necesario emplear metodologías de enseñanza centradas en el estudiante para mejorar la comprensión de las gráficas cinemáticas. En esta línea, Ellis [21] desarrolló una secuencia de actividades de laboratorio, discusiones grupales, tareas pre-asignadas basadas en el aprendizaje centrado en el estudiante. Los resultados indican que ese enfoque fue exitoso porque incrementó la comprensión conceptual de la cinemática, así como el interés por estudiar los fenómenos físicos. Mokros & Tinker [22] encontraron que un error conceptual como la interpretación de una gráfica como una fotografía puede eliminarse con una metodología como microcomputer- base lab. La literatura en general señala que cualquier metodología que se emplee para mejorar la enseñanza de la física debe tener una estructura sólida y bien diseñada para obtener resultados benéficos. Un caso importante a señalar es el de Redding [23] quien intentó trabajar con ILD (Sokolov & Thornton, [24]) pero realizó diversas modificaciones en la estructura central de la metodología; los resultados como consecuencia no fueron favorables. En este trabajo se presenta una propuesta metodológica para la enseñanza de la cinemática basada en experimentos, y se detalla en las siguientes secciones.

II. METODOLOGIA

A. Descripción del método utilizado

Se trabajó con cuatro grupos de estudiantes de diferentes carreras y universidades. En tres de ellos se llevó a cabo el método tradicional, y en el cuarto se aplicó una metodología de enseñanza basada en experimentos (centrada en el estudiante). Hubo tres grupos con el método tradicional en el Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco (ITSC); dos de la carrera ingeniería ambiental (primer año) y uno de ingeniería industrial (segundo año). En cada uno de estos grupos las clases fueron impartidas por tres profesores del ITSC los cuales tienen varios años de experiencia en impartir cursos de física. El cuarto grupo se encontraba en la Universidad Politécnica del Golfo de México (UPGM) de la carrera ingeniería petrolera (primer año), con ellos se trabajó con el aprendizaje basado en experimentos (ABE) cuyo ciclo se detalla en la Figura 1; las clases para este grupo fueron impartidas por el autor principal de este trabajo. Para el análisis estadístico no se hizo distinción de género, las edades oscilaban entre los 18 y 21 años de edad, los cuatro grupos se consideran independientes y con un nivel de comprensión de gráficas

muy semejantes entre sí al iniciar el curso (ver Análisis de datos).

B. Aprendizaje basada en experimentos (ABE)

Se diseñó una secuencia didáctica que permite analizar los temas del movimiento rectilíneo uniforme (velocidad constante) y el movimiento rectilíneo acelerado (aceleración constante). En cada sesión de clases los estudiantes trabajaron en equipos (4 personas) para analizar y discutir diversas actividades conceptuales, posteriormente ejecutaron diferentes experimentos con la intención de colectar datos, graficarlos (posición-tiempo), encontrar el modelo matemático, encontrar patrones e interpretarlos. Además, deben reconocer a través de la gráfica de sus datos, cuándo un objeto se mueve a velocidad constante, cómo cuantificarla y describir de manera global su comportamiento. Para la segunda parte (aceleración constante), se procede de manera semejante, tanto con actividades conceptuales como con experimentos; para esta sección se les pide elaborar gráficas posición-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo, encontrar los patrones, modelos matemáticos y describir su comportamiento de manera global.

A través de estos experimentos, se deducen algunas de las ecuaciones del movimiento acelerado, y con el análisis de las gráficas se puede pasar de un tipo de representación a otra. En total, se realizaron cinco experimentos y se les solicitó entregar un reporte de los mismos con base a una rúbrica, lo cual les permite auto-evaluación. Las sesiones fueron de 4hrs a la semana durante 4 semanas, recalando que al finalizar cada sección se realizó retroalimentación en el grupo con la intención de reafirmar lo comprendido o bien resolver dudas. En la Figura 1, se muestran los pasos a seguir en esta propuesta (en el Anexo se muestra un ejemplo concreto).

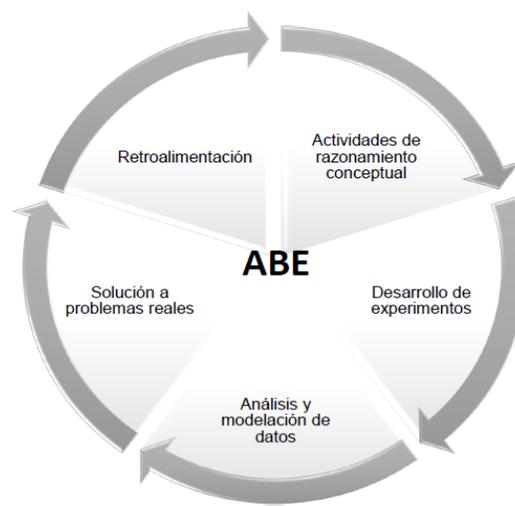


FIGURA 1. Ciclo ABE.

Para medir el nivel de interpretación de las gráficas se utilizó el test TUG-K (Bichner, [5]) el cual es un instrumento ampliamente utilizado por la comunidad científica en PER, aplicándolo al inicio y al final del curso. Para medir la efectividad de la secuencia didáctica se empleó, la ganancia normalizada de Hake [25] y el factor de concentración (Bao & Redish, [26]). De igual manera se realizó una prueba de hipótesis de dos poblaciones para determinar si existen diferencias significativas entre una metodología y otra (comparando el grupo experimental con cada uno de los grupos tradicionales). Para ello se utilizó la distribución normal con un nivel de significancia de 0.05, un valor crítico de 1.96, la población total fue de 133 estudiantes; siendo 31 de ellos del grupo experimental.

III. ANALISIS DE RESULTADOS

A. Análisis del pretest

El pretest se aplicó a cada grupo de estudiantes al inicio del curso, los datos revelan que el nivel de comprensión de las gráficas es muy similar entre los cuatro grupos, obteniendo promedios muy bajos (alrededor del 15% de respuestas correctas). Se encontró que los estudiantes tienen dificultades para calcular la aceleración de una partícula a partir de una gráfica velocidad-tiempo, lo que significa que no saben emplear la fórmula de la pendiente ni cómo relacionarla con la parte física. Otra dificultad es la interpretación del área bajo la curva en una gráfica velocidad-tiempo para encontrar el desplazamiento realizado por un objeto. Aunado a esto, no pueden relacionar un tipo de representación con otra, es decir no saben describir textualmente una gráfica o viceversa, la mayoría interpreta una gráfica como si fuera una fotografía; éste es uno de los errores conceptuales más comunes entre los estudiantes (Glazer, [12]). Recalcamos que los cuatro grupos presentan los mismos tipos de errores de interpretación y no encontramos diferencias significativas entre los resultados obtenidos (pretest) entre un grupo y otro, por lo que podemos considerarlos estadísticamente semejantes.

C. Análisis del postest

La secuencia didáctica se divide en dos fases, la primera es para analizar el movimiento rectilíneo uniforme de una partícula y calcular su velocidad; la segunda fase se enfoca al movimiento acelerado y se deben identificar la aceleración y la velocidad de la partícula a partir de la ejecución de diversos experimentos. En el grupo experimental, se llevó a cabo dicha secuencia con estudiantes de ingeniería petrolera de la UPGM (31 estudiantes) durante cuatro semanas, con sesiones de 4hrs a la semana. Resolvieron diversas actividades conceptuales (Van Heuvelen & Etkina, [27]), algunos problemas de libro de texto (Serway *et al.*, [28]) y se ejecutaron tres

experimentos para estudiar el movimiento rectilíneo uniforme (primera fase), donde el principal objetivo era reconocer un movimiento a velocidad constante por medio del concepto de la pendiente y, determinar la velocidad del objeto. Se analizaron también las características de una recta, su modelo matemático, sus parámetros y su relación con el concepto físico correspondiente (pendiente y velocidad).

Para el movimiento acelerado se ejecutaron dos experimentos con una pelota, se analizaron e interpretaron las gráficas posición-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo. Con ellas se buscaron las relaciones matemáticas y físicas entre los datos; se encontró una distribución cuadrática en el tiempo, una distribución lineal para la velocidad y una distribución lineal horizontal para la aceleración. Con estas gráficas se pueden deducir las ecuaciones: $x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$ y $V = v_0 + at$. Para encontrar estos modelos se hace uso de Excel, y posteriormente se interpretan físicamente. Cabe señalar que al finalizar cada tema se retroalimentó al grupo para recordar los conceptos estudiados, así como las características de las rectas y su relación con el movimiento de objetos.

Al finalizar de estudiar los temas descritos, se aplicó el postest a los cuatro grupos. Los resultados indican que aquellos que trabajaron de manera tradicional no alcanzaron a obtener resultados favorables, mientras que el grupo experimental logró obtener valores superiores a los otros grupos. En términos generales, los grupos tradicionales no lograron superar los errores conceptuales que traían consigo ya que en el postest siguen prevaleciendo las dificultades para calcular la aceleración de un objeto a partir de la gráfica de la velocidad-posición, las interpretaciones textuales de las gráficas siguen siendo erróneas, y continúan sin poder conectar la interpretación del área bajo la curva (velocidad-tiempo) con el desplazamiento de una partícula. La ganancia de Hake para estos tres grupos fue muy baja (alrededor del 12%), inclusive en un grupo hubo un retroceso en sus resultados finales. En los siete objetivos del TUG-K no hubo mejoras considerables en los tres grupos tradicionales, lo que implica que se deben buscar otras herramientas y estrategias para mejorar dichos resultados.

En Tabla I, se muestran los resultados del grupo experimental del pre y pos test de cada objetivo del test, así como la ganancia alcanzada. Este grupo mejoró considerablemente en la interpretación de las gráficas cinemáticas, ya que de los siete objetivos a considerar sólo en el objetivo 4 el resultado es muy bajo (12%), lo que indica que los estudiantes no pudieron mejorar el cálculo de la velocidad con la gráfica aceleración-tiempo. Se puede observar que para la determinación de la velocidad y la aceleración por medio de la pendiente (objetivos 1 y 2) los resultados fueron buenos obteniendo ganancias superiores al 20%.

TABLA I. Ganancia por objetivos.

Objetivos	Pre	Post	G
1	0.196	0.362	0.206
2	0.166	0.362	0.235
3	0.181	0.475	0.417
4	0.18	0.28	0.122
5	0.182	0.525	0.419
6	0.113	0.518	0.456
7	0.21	0.612	0.508

En los objetivos restantes (3, 5, 6 y 7) se obtuvieron las ganancias más altas, por lo que pudieron calcular con facilidad el desplazamiento de una partícula a partir de su gráfica velocidad-tiempo, así como interpretar el significado del área bajo la curva. Por otra parte, en la sección que mayor mejora obtuvieron fue en relacionar una gráfica con su respectiva descripción textual y viceversa, mejorando así sus habilidades para pasar de una representación a otra. En este caso, consideramos que la elaboración de los reportes de los experimentos pudo haber ayudado a mejorar esta habilidad ya que en la rúbrica se consideran aspectos relacionados con la descripción textual de las gráficas y los modelos matemáticos, siendo éste un tema para futuras investigaciones.

Por otra parte, en la Tabla II se muestran los resultados del cálculo de la ganancia de Hake, el factor de concentración y la prueba de hipótesis para los cuatro grupos. Como se puede observar, los valores del pretest son muy cercanos entre sí y no encontramos diferencias significativas entre los cuatro grupos. No obstante, en el postest los resultados del grupo experimental son mejores que en los otros grupos; el porcentaje más alto entre los grupos de control lo tiene el 3A de industrial (27.5%) pero el grupo experimental alcanzó el 50% de respuestas correctas. El factor de Hake alcanzó un valor de 0.41 (experimental) lo que lo sitúa en el nivel "bueno", mientras para los grupos de control (12%) el nivel es "inadecuado". Esto nos indica que la enseñanza tradicional no es suficiente para erradicar las incorrectas interpretaciones de las gráficas analizadas, sin embargo, la estrategia propuesta basada en experimentos ha incrementado significativamente el nivel de interpretación de las mismas. Para comprobarlo, se realizó una prueba de hipótesis para dos poblaciones tomando un nivel de significancia del 5%, un valor crítico de 1.96 y se utilizó la distribución normal. La prueba de hipótesis se realizó para comparar el grupo experimental con cada uno de los grupos de control. La hipótesis nula y alternativa respectivamente son:

$H_0: \mu_e > \mu_t$: la estrategia basada en experimento produce mejoras significativas, en el análisis de gráficas en cinemática, que la enseñanza tradicional

$H_0: \mu_e < \mu_t$: la estrategia basada en experimentos no mejora el análisis de gráficas en cinemática.

Donde μ_e representa el escore promedio del grupo experimental, y μ_t representa el escore promedio del grupo tradicional.

TABLA II. Comparación de los grupos de control con el experimental.

No. Alum	Grupo	pre	post	Hake	Valor Estandar	Distancia Fc
31	Ambiental 2B	0.16 4	0.15 3	- 0.013 1	7.9720	0.017
31	Ambiental 2A	0.15 7	0.25 9	0.120 9	5.4618	0.141
40	Industrial 3A	0.18 3	0.27 5	0.112 6	5.6979	0.095
31	Petrolera 3A	0.14 9	0.50	0.411 2	-----	0.385

De la Tabla II, se deriva que los estudiantes del grupo experimental a pesar de estar en su primer año de preparación profesional pudieron obtener mejores resultados que aquellos que se encuentran en segundo año universitario, de quienes se esperaba un mejor desempeño y no ocurrió así. Esto también nos indica que las ideas erróneas pueden prevalecer en los estudiantes por años si no se emplea la estrategia adecuada. Cabe recalcar que el grupo experimental superó significativamente a sus similares de grado, es decir a los estudiantes de primer año del ITSC. La última columna de la Tabla 3 representa la distancia entre el pretest y el postest empleando el factor de concentración; entre mayor sea la distancia mejor será la estrategia utilizada, así como mejor será posición en las zonas permitidas (ver Figura 2). También se puede observar que el promedio del postest, la ganancia normalizada de Hake, el valor estandarizado y la distancia promedio del factor de concentración reafirman que el desempeño alcanzado por el grupo experimental ha superado significativamente a los grupos tradicionales.

C. Factor de concentración

Una herramienta que permite realizar un análisis cuantitativo más detallado sobre la eficiencia de la estrategia utilizada es el factor de concentración, la cual emplea los resultados del pre y postest aunado a un nuevo parámetro llamado factor de concentración (Fc). Los datos se grafican como Fc vs Escore (Sc) y deben caer dentro de la región limitada por las líneas naranja y azul (Figura 2), si la distribución de los datos tiende hacia la zona HH significa que la instrucción está generando buenos resultados. Combinando estos dos parámetros podemos tener diferentes tipos de respuestas y se clasifican de la siguiente manera: Un modelo.- la mayoría de las respuestas están concentradas en una opción (HH o LH) que puede ser correcta o incorrecta; Dos modelos.- la mayoría de las respuestas se concentran en dos opciones (LM o MM) que pueden ser dos modelos incorrectos o un modelo correcto y

un modelo incorrecto; Sin modelo.- las respuestas se distribuyen entre tres o más opciones (LL), las opciones se eligieron al azar.

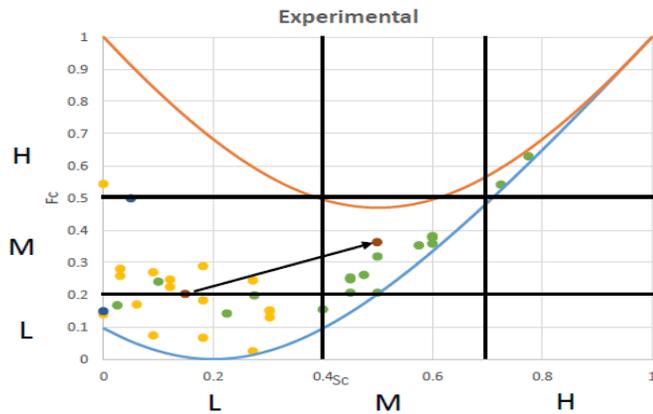


FIGURA 2. Factor de concentración del grupo experimental.

En la Figura 2, se muestra el gráfico F_c vs S_c para el grupo experimental, los círculos amarillos corresponden a las respuestas del pretest y los círculos verdes al postest. Puede observarse que la mayoría de los círculos verdes caen en la zona MM y HH; el promedio cae en la zona MM indicando con ello que los resultados obtenidos son muy buenos y la estrategia se encuentra en la dirección correcta. Podemos observar que el número de respuestas aleatorias disminuye considerablemente (alrededor de 4 ítems); en el pretest la mayoría de las respuestas (10 ítem) se eligieron al azar (zona LL). Por otro lado, el círculo rojo de la izquierda representa el promedio del pretest y el de la derecha representa el promedio del postest, la flecha negra representa la distancia entre un valor y otro, y de la Tabla 1 puede observarse que el grupo experimental presenta la distancia más grande entre el inicio y el final del curso.

Cabe señalar que, las respuestas del pretest de los grupos de control el 30% cae en la zona LL, 12% en la zona HH y 58% en la zona LH, lo cual representan resultados muy desfavorables; más aún para el postest los resultados no tuvieron cambios significativos. Estos datos nos indican que la enseñanza tradicional para la cinemática no provoca mejoras en la interpretación de las gráficas del comportamiento de algunos fenómenos físicos.

IV. DISCUSIÓN

Como podemos observar, la ganancia de Hake, el factor de concentración y la prueba de hipótesis indican que los resultados obtenidos con el aprendizaje basado en experimentos (ABE) ofrece mejores resultados en la interpretación del movimiento rectilíneo así como sus respectivas gráficas y, ayuda a eliminar algunas de las ideas erróneas que traen los estudiantes al inicio del curso, mejoran sus habilidades de interpretación y de conexión entre las relaciones matemáticas con las físicas, así también su habilidad de pasar de un tipo de representación a otro, es

decir, gráfico-textual y vic. Para la realización de los experimentos los estudiantes trabajaron fuera del aula, es decir ellos podían decidir si trabajaban en los pasillos del edificio, en los alrededores de los jardines, o en algún otro lugar que les permitiera realizar su trabajo de manera cómoda. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Wu & Krajcik [29], donde indica que estudiantes debidamente orientados en un ambiente de aprendizaje activo demuestran tener mejores competencias que en ambientes pasivos.

Es importante señalar que la retroalimentación en el aula es de suma importancia para el éxito de la estrategia, ya que los estudiantes tienden a olvidar los temas vistos en las clases previas; con la retroalimentación los conceptos estarán presentes al inicio de cada sesión y facilitará el avance en ella. Finalizada la colección de los datos experimentales, se procedía a analizarlos, graficarlos y deducir algunas ecuaciones del movimiento, así como su interpretación y conexión entre las matemáticas y la física. De esta manera se pudo mantener activa la atención de los estudiantes en los fenómenos analizados y enfocados en los temas de interés. Por otro lado, los problemas a resolver en las siguientes clases ya no pertenecían a los libros de texto, sino que se basaban en los datos experimentales; una vez obtenidos los modelos matemáticos se hacían preguntas como: ¿con qué velocidad se mueve el objeto?, ¿cuánta distancia habrá recorrido a los 5s?, ¿cuál es su aceleración?, etc, de esta manera los estudiantes trabajan con problemas reales y pueden encontrar la utilidad de los modelos encontrados. Mediante estas acciones, podemos enlazar lo real con lo abstracto. En términos generales, el ciclo ABE presentado en esta propuesta permite adentrar a los estudiantes a un ambiente muy cercano al que realizan los científicos ya que aprenden a observar, coleccionar datos, graficarlos, encontrar patrones y explicarlos. Este ciclo puede repetirse para cada tema que desee estudiar, pero debe quedar claro que previo a su aplicación es necesario tener bien identificados los experimentos a realizar para cada caso.

V. CONCLUSIÓN

El análisis de gráficas es una habilidad de gran importancia para los estudiantes de cualquier carrera de ingeniería ya que, por medio de ellas se puede resumir una gran cantidad de información. Más aún, uno de los aspectos más importantes es la correcta interpretación de ellas y sobre todo qué se puede hacer con los datos obtenidos. Con nuestra propuesta metodológica se ha logrado mejorar significativamente el análisis de las gráficas de cinemática, interpretar los modelos matemáticos y hacer predicciones concretas a través de ellos. La ganancia normalizada de Hake ha mostrado que la estrategia, en términos globales, tiene un valor aceptable ($G=0.41$) lo que significa que la estrategia es buena (el promedio del postest es 0.50). El factor de concentración permite realizar un análisis más detallado de la estrategia, así como de la evolución de las respuestas al test. Los resultados indican que en el pretest,

tanto el grupo experimental como los tradicionales respondían en su mayoría de manera aleatoria (zona LL) o bien erróneamente (LH); no obstante después de realizar las actividades encomendadas al grupo experimental, los resultados del postest mejoraron notablemente ya que la mayoría de los ítem caen en la zona MM y HH (59% de los ítems), que son las zonas hacia las que deben evolucionar las respuestas de los ítems de un test para considerar la estrategia como buena; dentro del análisis de estos datos se calculó la distancia entre el pre y pos test siendo más grande el valor del grupo experimental comparada con la de los grupos tradicionales.

El análisis de los datos nos indica que los estudiantes del grupo experimental pudieron mejorar notablemente en 4 de 7 objetivos del TUG-K, con lo que se pudieron eliminar algunas ideas erróneas que traían consigo. Por otro lado, la prueba de hipótesis confirma que con esta propuesta las diferencias entre el grupo experimental y los de control son estadísticamente significativas ya que, al hacer el comparativo entre el experimental y cada uno de los grupos tradicionales, el valor estandarizado es mayor que el valor crítico por lo que, la estrategia basada en experimentos ofrece mejores resultados que la tradicional.

Por último, esta forma de trabajar permite evaluar a los estudiantes según el modelo basado en competencias ya que, dentro del ciclo ABE pueden evaluar desempeño (ejecución de los experimentos), producto (reporte de los experimentos) y conocimientos (solución de problemas reales) por lo que puede incorporarse con gran facilidad en este modelo educativo.

REFERENCIAS

[1] Roth, W. M. McGinn, M. K., *Toward a theory of representing as social practice*, Rev. Educ. Res. **68**, 35 (1998).

[2] McKenzie, D. L. Padilla, M. J., *The construction and validation of the test of graphing in science*, J. Res. Sci. Teach. **23**, 571 (1986).

[3] Antwi, V., *Impact of the use of MBL, simulation and graph samples in improving Ghanaian SHS science students' understanding in describing kinematics graphs*, Advance in life science and thecnology **31**, 24-33 (2015).

[4] Zohar, A., Ben David, A., *Explicit teaching of meta-strategic knowledge in authentic classroom situation*. Metacognition and Learning **3**, 59-82 (2008).

[5] Beachner, R., *Testing student's interpretation of kinematics graph*. Am.J.Phys. **62**, 750-762 (1994).

[6] Tebabal, A., Kahssay, G., *The effect of students centered-approach in improving students' graphical interpretation skill and conceptual understanding of kinematical motion*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **5**, 374-381 (2011).

[7] Habre, S. About, M., *Students' conceptual understanding of a funtion and its derivate in an experimental calculus course*, The Journals of Mathematics Behavior **25**, 57-72 (2006).

[8] Berg, C. Phillips, D., *An investigation of the relationship between logical thinking structure and the ability to construct and interpret line graph*, Journals of Research in Science Teaching **31**, 323-344 (1994).

[9] Vekiri, I., *What is the value of graphical display in learnign?*, Educational Psychology Review **14**, 3, 261-312 (2002).

[10] Bouen, M. Roth, W., *Data and graph interpretations practice among preservice science teacher*, Journals of Research in Science Teaching **42**, 10, 1063-1088 (2005).

[11] McDermont, L. Rosenquist, M. Van Zee, E., *Students difficulties. In connecting graph and physics: example for kinematics*, Am. J. Phys. **55**, 503 (1987).

[12] Hale, P., *Kinematics and graph: students' difficulties and CLBs*, The Mathematics Teacher **93**, 414-417 (2000).

[13] Glazer, N., *Challenge with graph interpretation: a review of the literature*, Studies in Science Education **47**, 183-210 (2011).

[14] Eshach, H., *The use of intuitive rules in interpreting student's difficulties in reading and creating kinematics graph*, Canadian J. of Physics **92**, 1-8 (2013).

[15] Gende, D., *Proffesional Developmet Workshop materials. Special focus: Analysis graph*. CollegeBoard. AP. Physics. (2007). On line: <https://www.coursehero.com/file/16716279/AP-Physics-Graphical-Analysis>. Fecha de consulta: 13/09/2017.

[16] Planinic, M. Milin-Zipus, Z., Katic, H., Susac, A., Ivanjek, I., *Comparison of students understanding of line graph slope in physics and mathematics*, International Journals of Sciences and Mathematics Education **10**, 1393-1414 (2012).

[17] Woolnough, J., *How do students learn to apply their mathematical knowledge to interpret graph in physics?*, Research in Science Education **30**, 259-267 (2000).

[18] Nemirovski, R., Andee, R., *Students tendency to assume resemblance between a function and its derivate*, TERC Communication, Working paper **2**, 92 (1992).

[19] Cil, E., *Pre-service science teacher understanding of one dimentional motion graph in kinematic concept*, Procedia Social and Behavioral Science **191**, 1812-1822 (2015).

[20] Jacobbe, T. Horton, R. M., *Elementary school teacher's comprehension of data display*, Statistics Education Research Journals **9**, 27-45 (2010).

[21] Ellis, G. Turner, W., *Imroving the conceptual understanding of kinematics through graphical analysis*, Proceeding of the 2002 American Society for Engineering educational annual conference and expositon (2002).

[22] Mokros, J. Tinker, R., *The impact of microcomputer-based lab on children's ability to interpret graphs*, Journlas of Research in Science Teaching **24**, 369-383 (1987).

[23] Redding, C. W., *Efect of predicting motion on students understanding of kinematics graph*, LSU Master's Thesis, 135 (2014).

[24] Sokolov, D., Thornton, R., *Using interactive lecture demonstration to create an active learning environment*. AIP, Conference Proceeding **399**, 1061 (1997).

[25] Hake, R., *Interactive engagement versus traditional method: A six-thousand student survey of mechanic test data for introductory physics course*, American Journals of Physics **66**, 64-74 (1998).

[26] Bao, L., & Redish, E., *Concentration analysis: A quantitative assessment of student state*, American Journal of Physics **69**, 7 (2001).

[27] Etkina, E. Van Heuvelen, A., *The Physics Active Learning Guide*, (Pearson Addison Wesley, USA, 2006).

[28] Serway, R., Jewtt, J., Soutas-Little, R., Inman, D., & Balint, D., *Physics and Mechanics Engineering*, (Cengage Learning, Querétaro, 2010).

[29] Wu, H. Kracij, J., *Inscriptional practice in two inquiri-based classroom: A case study of seventh grader's use of data table and graph*, Journal Res. Science Tech. **43**, 63-95 (2005).

ANEXO 1

Ciclo Aprendizaje Basado en Experimentos (ABE)

Análisis conceptual. Laura ha creado un diagrama de puntos para su mascota (perrito). Use dicho diagrama para describir el movimiento del perrito.



Diagrama de Laura

Desarrollo del **Experimento**. Medida del cambio de velocidad.

Utilice una pelota de Voleibol o basquetbol. Colóquela en una superficie horizontal lisa, láncela y observe su movimiento. Al momento de lanzarla, coloque una bolita de

plastilina a un lado de la pelota cada 2s, de esta manera se obtiene la posición de la pelota, hasta que se detenga. Proceda a medir la distancia que hay entre cada par de bolita (con respecto al origen), regístrelos en una tabla y proceda a graficarlos. Los datos se toman hasta que la pelota se detenga.

Modelación de los datos.

- ¿Qué tipo de comportamiento presentan los datos?
- ¿Qué modelo matemático podría describir los datos?
- ¿Qué puede decir de la velocidad?
- Encuentre el modelo matemático.
- Calcule la velocidad para cada par de datos y gráfquelos. ¿Cuál es el significado de la pendiente?
- Encuentre el modelo matemático para los datos de la velocidad.

Solución a problemas reales. Con los datos previos indique:

- ¿Cuál es la velocidad de lanzamiento de la pelota?
- ¿Cuál es su aceleración?
- ¿Cuál será la distancia recorrida por la pelota a los 7s?
- ¿Cuál será su velocidad en ese tiempo?

Retroalimentación