

APLICACIÓN DE UN INSTRUMENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA MEDIR LA ACTIVIDAD COGNITIVA EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA ALREDEDOR DEL FENÓMENO SISTEMA MASA-RESORTE

Maximiliano De Las Fuentes Lara, José Luis Arcos Vega y Álvaro Encinas Bringas
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California México
maxito6782@hotmail.com, maxito6782@gmail.com, aencinasb1834@gmail.co
Campo de investigación: Tecnología avanzada Nivel: Superior

Resumen. *Se presentan los resultados de la aplicación de un instrumento de medición para establecer la eficiencia de dos métodos de enseñanza sobre las actividades cognitivas que logran estudiantes alrededor del fenómeno sistema masa-resorte, en un curso de ecuaciones diferenciales en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. La administración del instrumento se realizó con 48 estudiantes, 18 de los cuales enfrentaron el objeto de aprendizaje con un enfoque de enseñanza tradicional (Gerald, 2002), mientras que el resto de los estudiantes trabajaron con una estrategia didáctica que incorpora tecnología de la calculadora graficadora, y su diseño se basa en la teoría de las representaciones semióticas (Duval, 1993). Los resultados de la aplicación muestran de manera significativa, mayores niveles de eficiencia en cuanto a la competencia de representación para los estudiantes que abordaron el objeto de estudio mediante la estrategia didáctica que incorpora la calculadora.*

Palabras clave: Ecuaciones diferenciales, sistema masa-resorte

Introducción

Los cursos de matemáticas de nivel superior buscan que los estudiantes se apropien de conceptos matemáticos, los cuales deben ser aplicados en otros contextos diferentes al cual se aprendieron. También se espera que los estudiantes desarrollen competencias y habilidades en el manejo de dichos conceptos en sus diferentes representaciones: algebraico, numérico, gráfico e inclusive en el lenguaje natural, así como también que logren competencias para modelar, plantear y resolver problemas, representar y utilizar el lenguaje simbólico y formal. Esta acción presupone la plena comprensión de un concepto matemático, cuanto más si la situación de aprendizaje esta enmarcada en un contexto físico o de ingeniería.

Estudios muestran claramente que la enseñanza universitaria se centra en el funcionamiento dentro del cuadro analítico o algebraico, en una praxis algorítmica y en la evaluación de las competencias algebraicas correspondientes (Artigue, 1995). Al parecer sólo se prepara a los estudiantes con destrezas y capacidades algorítmicas, sin incorporar ni los avances en el conocimiento de cómo aprenden los estudiantes ni los recursos tecnológicos modernos.

En la formación del ingeniero se estima que el 20% de la carga curricular son cursos del área de matemáticas, a saber: álgebra lineal, cálculo diferencial, cálculo integral, cálculo multivariable, ecuaciones diferenciales, entre otras asignaturas más. Las ecuaciones diferenciales y el estudio y aprendizaje de las mismas nos permiten modelar, comprender y avanzar en el conocimiento de diversos fenómenos de la naturaleza; crecimiento y decrecimiento poblacional, variación de temperatura de los cuerpos, propagación de virus, sistemas masa-resorte, iluminación, circuitos, son ejemplos comunes de ello. Uno de los tópicos a estudiar durante el curso de ecuaciones diferenciales, es precisamente el denominado sistema masa-resorte, el cual tiene múltiples aplicaciones en las diversas áreas de ingeniería.

Una situación que impera actualmente en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California son los índices de reprobación estudiantil en los cursos de ecuaciones diferenciales del 23% en promedio (determinado desde el ciclo lectivo 2004-2), lo cual es preocupante, por tal motivo se rezagan o desertan más de 75 alumnos por semestre solamente debido a esta asignatura.

En el presente proyecto de investigación se diseña e implementa una estrategia didáctica, misma que es diseñada a partir de las teorías cognitivas (Duval, 1993, 2000) y (Hitt, 1991, 2003) toda vez que en las actividades que los estudiantes tienen que realizar en la estrategia se enfatiza en la habilidad para cambiar de un registro de representación a otro, además de promover el equilibrio de los distintos registros de representación (algebraico, numérico y geométrico) para no privilegiar en particular alguno de ellos; los avances logrados en el campo tecnológico (Kutzler, 2003), (Demana y Waits, 1998) rescatando dos aspectos de la enseñanza de las matemáticas, trivialización y visualización, calificados como fundamentales en los referentes teóricos citados, la trivialización en el sentido de no ser obstáculo (por la presencia y uso de la calculadora) en la complejidad algebraica de las ecuaciones diferenciales involucradas durante el proceso de modelización y resolución del fenómeno en cuestión, y la visualización en el sentido de ilustrar el objeto matemático desde sus diferentes representaciones, esta última consideración o estilo de enseñanza se le reconoce como “el poder de la visualización”. El Diseño de la estrategia didáctica considera la dialéctica herramienta – objeto, de acuerdo a (Douady R. 1985), en el cual los conceptos matemáticos van alternando el papel de instrumento o herramienta para afrontar o

resolver un problema, y de objeto tomando un lugar en la construcción de un conocimiento organizado.

De acuerdo a PISA (2003) la competencia matemática enfatiza en el uso funcional del conocimiento matemático en situaciones diversas de manera reflexiva y basada en una comprensión profunda, se aclara que la competencia y el conocimiento no son antagónicos, sino mas bien existe una dependencia y una interrelación entre ambos, el conocimiento matemático no debe verse solamente desde una perspectiva conceptual, es decir una persona no es competente solo por saber algo, o solo por saber hacer algo, sino por saber hacer algo, a partir del saber, es decir saber hacer a partir del saber comprendiendo lo que se hace, como se hace y porque se hace, en este sentido la teoría y la práctica no pueden estar desasociadas.

Se alude aquí a una enseñanza tradicional de acuerdo a Gerald (2002), en donde señala que el trabajo con la calculadora no tiene que enfatizarse hasta que las habilidades del cálculo estén bien establecidas, aunado a un proceso de evaluación que se distingue por pruebas de medición que se abocan especialmente a la eficiencia con que se utilizan las reglas y algoritmos matemáticos.

Se presentan los resultados tanto del diagnóstico como del comparativo de las competencias matemáticas logradas por los estudiantes a partir de la implementación de la estrategia didáctica y el post-test.

Desarrollo metodológico

Se evalúa la eficiencia de los conocimientos mediante las competencias matemáticas de los estudiantes en cuanto modelar, plantear y resolver problemas, representar, y utilizar el lenguaje simbólico, formal y técnico y ejecutar cálculos, puesto que tales competencias se involucran en general y de manera directa en el logro educativo y desempeño matemático de los estudiantes de ingeniería.

El estudio involucró a dos grupos de estudiantes inscritos en la materia “Ecuaciones Diferenciales” de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Autónoma de Baja California. Ambos grupos fueron seleccionados de manera aleatoria.

El diseño de investigación que se utiliza es el denominado experimento “puro” (Hernández, 2006), en virtud de que se manipula de manera intencional, variables independientes y se mide la variable dependiente, así como para el establecimiento de la comparación de los dos grupos. Con el objeto de comprobar si existe diferencia de la eficiencia de conocimientos que logran los estudiantes ante los dos enfoques de enseñanza se usa la prueba de medias (Walpole & Myers, 1989).

Con el propósito de establecer las condiciones de los estudiantes en cuanto a sus competencias matemáticas específicas (modelar, plantear y resolver problemas, representar, y utilizar el lenguaje simbólico, formal y técnico y las operaciones), logradas hasta el momento previo al inicio de abordar el estudio del fenómeno sistema masa-resorte, se diseñó y aplicó un instrumento de medición diagnóstico con la consideración de los criterios de Contreras (2004) para la generación de ítems en la construcción de exámenes del tipo criterial alineado con el currículum, a la vez es matricial ya que involucra amplitud en contenidos conceptuales y procedimentales, los cuales han sido estudiados y tratados por los estudiantes tanto en cursos de cálculo diferencial e integral, probabilidad y estadística y métodos numéricos previos, como en el propio de ecuaciones diferenciales

Participaron en la investigación 48 estudiantes de la Facultad de Ingeniería, 30 de ellos integraban el grupo experimental o piloto, y el resto trabajaron de manera tradicional, la experimentación tuvo una duración de 12 días incluyendo la aplicación de la posprueba. La calidad del experimento fue verificada mediante su validez interna (Hernández, 2006).

El instrumento de medición post-test o posprueba esta constituido por 21 reactivos y se ha diseñado bajo las mismas consideraciones que el diagnóstico, a diferencia que se aboca a determinar la eficiencia de conocimientos adquirido por los estudiantes en cuanto a sus competencias matemáticas, alrededor de los conceptos matemáticos del fenómeno sistema masa-resorte. Con el objeto de ejemplificar los reactivos del instrumento, a continuación se muestra la tarjeta descriptiva del reactivo número 18 de la posprueba.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| No. de Reactivo: 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Competencia: 3. Representar | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Indicador: 3.1 Decodificar, interpretar y distinguir entre diferentes tipos de representación de objetos matemáticos y situaciones, así como las interrelaciones entre las distintas representaciones. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No. de identificación: 3.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>18. La tabulación que se te presenta responde al conjunto de parejas ordenadas tiempo contra posición, de un sistema masa resorte.</p> <p>Determina en base a su análisis el tipo de movimiento al que corresponde.</p> | <p style="text-align: center;">$t \quad x(t)$</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr><td>0.0000</td><td>1.0000</td></tr> <tr><td>.25000</td><td>.09312</td></tr> <tr><td>.50000</td><td>-.5282</td></tr> <tr><td>.75000</td><td>-.5010</td></tr> <tr><td>1.0000</td><td>-.1013</td></tr> <tr><td>1.2500</td><td>.21864</td></tr> <tr><td>1.5000</td><td>.24542</td></tr> <tr><td>1.7500</td><td>.07392</td></tr> </tbody> </table> | 0.0000 | 1.0000 | .25000 | .09312 | .50000 | -.5282 | .75000 | -.5010 | 1.0000 | -.1013 | 1.2500 | .21864 | 1.5000 | .24542 | 1.7500 | .07392 |
| 0.0000 | 1.0000 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| .25000 | .09312 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| .50000 | -.5282 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| .75000 | -.5010 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.0000 | -.1013 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.2500 | .21864 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.5000 | .24542 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.7500 | .07392 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>A) No amortiguado B) Sobreamortiguado C) Críticamente amortiguado D) Subamortiguado</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Contenido matemático involucrado en el reactivo: Movimiento libre no amortiguado, movimiento sobreamortiguado, movimiento críticamente amortiguado, movimiento subamortiguado, factor de amortiguamiento, rigidez. Se considera que la complejidad de la comprensión es estructural, y la actividad cognitiva es de tratamiento. El registro original se considera que es numérico y el registro final es en el lenguaje natural.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |

La posprueba se administró a ambos grupos al finalizar el estudio y tratamiento del fenómeno sistema masa-resorte, de manera que la comparación de los resultados permite determinar si existe diferencia de la eficiencia de conocimientos de los estudiantes.

La determinación de la eficiencia de los conocimientos que logran los estudiantes se lleva a cabo mediante competencias matemáticas (enlistadas en párrafos anteriores), asumiendo el modelo que PISA-OCDE utiliza para las evaluaciones internacionales.

Análisis de resultados

El diagnóstico permitió establecer la uniformidad previa en cuanto a las competencias matemáticas de los estudiantes que participaron en la investigación, toda vez que una prueba de

hipótesis de medias con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ evidencia que no hay diferencia en las competencias matemáticas de los estudiantes de los grupos participantes antes de iniciar la experimentación. Se encuentra en De Las Fuentes y Arcos (2008) que las competencias de modelado y planteamiento y resolución de problemas es en donde se obtuvieron los valores de más baja eficiencia (0.45 y 0.47) por parte de los estudiantes de los grupos de investigación, a diferencia de las competencias de representación y la utilización del lenguaje lógico, formal y técnico y ejecución de los cálculos, en donde se presentó un rendimiento mayor (0.56 y 0.55).

La confiabilidad del instrumento de medición post-test es establecida a partir del coeficiente de Kuder – Richarson (KR21), cuyos parámetros involucrados son el número de ítems, media y desviación estándar de los resultados de los estudiantes, la confiabilidad calculada es 0.72, considerado como aceptable para Lfourcade (1971) para el caso de exámenes no estandarizados.

Los cálculos y resultados de la prueba de igualdad de medias para las competencias se llevaron a cabo mediante los índices promedio de dificultad. Los instrumentos de medición diagnóstica y post-test fueron diseñados en conjunto tanto por el investigador como por los instructores participantes en la investigación, se incluyeron sólo preguntas de opción simple, una correcta y tres distractores, lo anterior con la finalidad de enfatizar de manera más objetiva en el aprovechamiento de los grupos tanto de control como piloto. Cabe señalar que en la aplicación de los instrumentos de medición no se permitió el uso de libros, los llamados acordeones, ni calculadoras. Para el caso de los resultados obtenidos en la competencia de representar, se cuenta con los siguientes parámetros.

| Grupo | Competencia | No. de alumnos | Media de la dificultad \bar{x} | Desviación estándar s | Variación s^2 |
|---------|----------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------------|
| Piloto | Representación | 30 | 0.5825 | 0.1347 | 0.0181 |
| Control | Representación | 18 | 0.3050 | 0.1510 | 0.0228 |

Los resultados de las pruebas de hipótesis para medias de los índices promedio de las competencias matemáticas para el planteamiento y resolución de problemas, representación y utilización del lenguaje simbólico y formal son favorables para el grupo experimental en el que se implementó la estrategia didáctica.

Cabe resaltar en la competencia de representación que todas las diferencias de los índices de dificultad son positivas para el grupo experimental, lo cual indica que la estrategia didáctica promueve de manera importante el desempeño de los estudiantes.

En cuanto a la competencia de modelado este grupo evidenció de manera significativa menor eficiencia de conocimientos. A la vez se observa un notable bajo rendimiento del grupo de control en cuanto a la competencia matemática para el planteamiento y resolución de problemas. Nuevamente se detecta en lo general baja eficiencia en las competencias de modelado y planteamiento y resolución de problemas respecto de las competencias de representación y utilización del lenguaje simbólico y formal. Lo cual evidencia el arraigo del enfoque de enseñanza tradicional.

A partir de los resultados de la prueba de hipótesis para establecer diferencias en cuanto a la actividad cognitiva tanto de representación como de tratamiento, el grupo piloto en lo general sobresale significativamente en ambas, respecto del grupo de control, en el caso del tratamiento externo o conversión no hay evidencia para diferenciar a los grupos de control y piloto.

Conclusiones

El balance general respecto de la eficiencia de conocimientos favorece al grupo experimental, como lo evidenció la prueba de hipótesis de medias respecto al aprovechamiento, en cuanto que con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y $\nu = 46$ grados de libertad se rechaza la hipótesis nula planteada en la investigación, toda vez que se obtiene el estadístico $t = 2.96$ contra el rango de rechazo de la hipótesis nula $t < -1.96$ y $t > 1.96$, lo que significa mayor eficiencia de conocimientos de manera significativa por parte del grupo experimental.

También se identificó el reto de reforzar la competencia de modelado en el grupo experimental, toda vez que uno de los propósitos del curso de ecuaciones diferenciales para ingeniería es precisamente la posibilidad de que los estudiantes modelen los fenómenos físicos, químicos y de

ciencia en general, lo anterior implicará modificar algunos aspectos del diseño de la estrategia didáctica con el apoyo de herramientas de aprovechamiento del aprendizaje en la disciplinas de ingeniería.

Referencias bibliográficas

Artigue, M., Douady R., Moreno L. & Gómez P. (1995). *Ingeniería Didáctica en Educación Matemática*, pp. 97-140. México: Grupo Editorial Iberoamérica.

Contreras, L., Bachhoff, E. & Larrazolo, N. (2004). *Educación, aprendizaje y cognición. Teoría en la práctica*. México: Manual Moderno.

De Las Fuentes, M., Arcos, J. & Díaz, B. (2008, 3 de octubre). *Diseño de una estrategia didáctica que incorpora tecnología de la calculadora para abordar aplicaciones de ecuaciones diferenciales ordinarias lineales en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California*. Investigación presentada en el Octavo Congreso Internacional Retos y Expectativas de la Universidad, Universidad y Política Educativa “Ser, Hacer y Deber Ser”. Recuperado 19 de noviembre de 2008, de <http://www.retosyexpectativas.uan.mx>

Demana, F. & Waits, B. (1998). *El Rol de la Calculadora Graficadora en la Reforma de las Matemáticas*. Recuperado el 12 Marzo de 2007, de sitio de la Universidad de Ohio, Estados Unidos: <http://www.mayh.ohio-state.edu/~waitsb/roleofgraphcalc.pdf>

Douady, R. (1986). Jeux de cadres et dialectique outil/objet. *Recherches en Didactique des Mathématiques*. 7 (2), 5-32.

Duval, R. (1993). Registres de Représentation Sémiotique et Fonctionnement cognitif de la Pensée. *Annales de Didactiques et Sciences Cognitives*. pp. 37–65. Strasbourg, France: IREM.

Duval, R. (2000). *Representación, visión y visualización: Funciones cognitivas en el pensamiento matemático*. Recuperado el 12 Marzo de 2007 de <http://www.matedu.cinvestav.mx/e-librosydoc/pme-procee.pdf>

Gerald, A. G. (2002). Representaciones en el aprendizaje de las matemáticas y resolución de problemas. En L. D. English (Ed.), *Manual de investigación internacional en educación matemática* (pp. 197-218). New Jersey, EE. UU.

Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P., (2006). *Metodología de la investigación* (4a. ed.). México: Mc. Graw Hill.

Hitt, E. F. (1991). Intuición Primera versus Pensamiento Analítico: Dificultades en el Paso de una Representación Gráfica a un Contexto Real y Viceversa. *Educación Matemática*, 7, 63-75.

Hitt, E. F. (2003). Una reflexión sobre la construcción de Conceptos Matemáticos en Ambientes de Tecnología. *Boletín de la Asociación Venezolana* 10(2), 12-21

Kutzler, B. (2003). La calculadora algebraica como herramienta pedagógica para enseñar matemáticas (J. Jiménez, Trad.). En A. Del Castillo, L. Dórame, J. Jiménez & E Hugues, (Eds.), *Antología de lecturas, El uso del sistema de cómputo simbólico voyage 200 como recurso didáctico, nivel básico* (pp 9-27). Hermosillo, Sonora: (Artículo original en inglés Kutzler B. The Algebraic Calculator as a Pedagogical Tool for Teaching Mathematics.

Lafourcade, P, (1971), *Evaluación de los Aprendizajes*. Buenos Aires: Kapelusz

PISA. (2003). *Marcos Teóricos de Pisa*. [Versión electrónica], Instituto Nacional de Evaluación y Calidad del Sistema Educativo, Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid. Recuperado el 28 de marzo de 2007 del sitio web <http://www.ince.mec.es/pub/marcoteoricopisa2003.pdf>

Walpole, R. E., y Myers, R. H., (1989). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. México: Interamericana.