

Ingeniería didáctica y modelo en cascada como metodología para desarrollar material educativo computarizado matemático

G. Sánchez García^{1*}, A. Jiménez Ortíz².

¹Departamento de Ciencias Básicas, Instituto Tecnológico De Tuxtepec, Avenida Dr, Víctor Bravo Ahuja S/N, 5 de Mayo, 68350 San Juan Bautista Tuxtepec, Oax.

² Docente de Informática, Universidad Madero, Tecnológico 999, San Bartolo, 68446 San Juan Bautista Tuxtepec, Oax.

*gaspar.sg@tuxtepec.tecnm.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo probar la eficacia de aplicar la ingeniería didáctica y el modelo en cascada como Metodología de Ingeniería de Software Educativo (MeISE), para desarrollar Material Educativo Computarizado (MEC) para la enseñanza de Matemáticas I en nivel secundaria. La investigación fue de enfoque cuantitativo, no experimental, de tipo descriptivo y transversal, la cual se realizó en una secundaria particular del estado de Oaxaca con dos grupos de primer grado; uno de estudio, el cual se instruyó utilizando MEC resultado de la metodología propuesta y otro de control, que fue instruido de manera tradicional. Al analizar los resultados obtenidos, se aprecian diferencias significativas en la dispersión de calificaciones; la media aritmética y las calificaciones reprobatorias entre ambos grupos. La hipótesis de investigación fue validada mediante la prueba estadística t-student para dos muestras independientes.

Palabras clave: Ingeniería Didáctica, Modelo en Cascada, MEC, Matemáticas.

Abstract

The objective of this investigation was to test the effectiveness of applying the Didactic Engineering and the Waterfall model as Development Methodologies for Educational Software (ESEM), to design Computerized Educational Material (CEM) for the teaching of Mathematics I in high school. This investigation was a quantitative, non-experimental, descriptive and cross-sectional approach, which was carried out in a private high school in the state of Oaxaca with two groups of first level, one of which was taught using MEC as a result of the proposed methodology and another control that was instructed in a traditional way. When analyzing the results obtained, significant differences were observed in the dispersion of grades, the average and the failing grades between both groups. The investigation's hypothesis was validated by the t-student statistical test for two independent groups.

Key words: Didactic Engineering, Waterfall Model, CEM, Mathematics.

Introducción

Los países que apuestan por el desarrollo y la tecnología, necesitan dominio de las matemáticas; sin embargo, para México el Programa Internacional de Evaluación de los Alumnos (PISA), sitúa a sus estudiantes de educación básica con un dominio matemático inferior al 54% [OCDE, 2015]. Por su parte; el Plan Nacional para la Evaluación de los Aprendizajes (PLANEA); arrojó resultados en el 2018 poco alentadores para los estados de la república, debido a que solo el 5.1% de los estudiantes de educación básica cumple con las competencias de nivel IV. Más preocupante aún, el estado de Oaxaca no ha podido aplicar las pruebas anteriormente descritas. PLANEA en su reporte nacional incluye la leyenda: "En las diferentes entidades de la República se alcanzó la tasa de participación prevista, con excepción de Chiapas, Michoacán y Oaxaca" [PLANEA, 2018, p.9].

En la década de los 90, México intentó ayudar al aprendizaje de las matemáticas con el uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC): El proyecto EMAT (Enseñanza de las Matemáticas con Tecnología); promovido por la Secretaría de Educación Pública (SEP), se inició en 1997 en 16 escuelas distribuidas en 8 estados de la República Mexicana [Ursini & et al, 2004, p.60]. Otro proyecto que se implementó y obtuvo buenos resultados, fue el de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM) K-12; en la actualidad, éste se

convirtió en un programa educativo que comprende desde el jardín de niños hasta bachillerato; el proyecto afirma que la vocación para la ingeniería y la ciencia se inicia en la etapa temprana [Rascón, 2013].

La implementación de los proyectos antes mencionados tuvo resultados favorables en la actitud del alumnado hacia la enseñanza con TIC; sin embargo, en cuanto a indicadores de dominio matemático los instrumentos de evaluación no presentan aumento hasta el día de hoy. Lo anterior impulsó la siguiente investigación; desarrollar MEC, el cual Vidal, Gómez y Ruíz [2010] los define como “aplicaciones o programas computacionales que faciliten el proceso de enseñanza aprendizaje” [p.97], como una herramienta en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas en primero de secundaria.

Galvis Panqueva precursor de las MeISE, propone un modelo de evaluación de MEC como herramienta básica para la toma de decisiones, siendo aplicable a cualquier sistema; en el cual se consideran los aspectos de calidad educativa, calidad computacional y calidad de uso del recurso informático; la evaluación se realiza con pruebas piloto y de campo, a través del juicio de expertos y la participación de usuarios en general [Citado por Reyes et al., 2015, p.188].

Para los expertos del software, el éxito o fracaso depende de los requerimientos, Norris y Rigby [1999], menciona que la captura y el análisis de los requerimientos del sistema son una de las fases más importantes para que el proyecto tenga éxito [Citado por Gómez Fuentes, 2011, p. 3]. La IEEE en su estándar [610.12-1900, IEEE] define un requerimiento como: “Una condición o necesidad de un usuario para resolver un problema o alcanzar un objetivo” [p. 65]. Los requerimientos deben detallar los criterios que favorezcan la comprensión de un contenido temático de la asignatura Matemáticas, lo cual es un reto ya que el aprendizaje de cada alumno es un tema complicado y afectado por diversos factores; los requerimientos deben apoyarse de bases psicopedagógicas de aprendizaje, como las teorías conductista, cognitivista, constructivista y a la vez, conjugarse con las mejores prácticas de la ingeniería de software para poder lograr un MEC exitoso. En concordancia con Reyes, Fernández y Duarte, [2015]; se debe tomar en cuenta las exigencias técnicas y pedagógicas para desarrollar software educativo de calidad; de lo contrario, las consecuencias serían la mala formación del estudiante, lo que impediría su desarrollo de competencias esperadas; así mismo, las tareas del docente se verían entorpecidas por la pérdida de tiempo, esfuerzos y recursos.

Esto representa un problema para las técnicas de recolección de datos de la ingeniería de requerimientos tradicional, ya que las entrevistas, cuestionarios o encuestas al ser aplicadas a los alumnos y profesores, se verán afectadas por la falta de entendimiento de los temas por parte de los alumnos o la alfabetización digital por parte de los maestros. Medina et al [2012], afirma que:

No existen herramientas que vinculen los requerimientos funcionales con los requerimientos no funcionales, donde se ilustren la importancia y el efecto que tendrán estos vínculos. Aún no existe la manera automatizada de conocer cuando los requerimientos están completos en el documento de requerimientos. Este proceso actualmente se lleva a cabo mediante sesiones donde los usuarios, el cliente y el equipo de desarrollo realizan las revisiones pertinentes [p. 124].

Para resolver la problemática de los requerimientos y la obtención de las técnicas necesarias para el aprendizaje de matemáticas, se emplea la siguiente metodología para la creación del MEC, que posteriormente se pondrá a prueba en el grupo de estudio.

Metodología

La Ingeniería didáctica proporcionó los requerimientos del MEC, ya que por sus características metodológicas proporciona técnicas de enseñanza eficientes que ayudan al alumno a comprender los temas; la metodología se llevó a cabo por un profesor-ingeniero que organizó los tópicos del plan de estudio SEP 2011 de la asignatura Matemáticas I, para efectuar un estudio de contenido para los alumnos que conformaron el grupo objeto de estudio. A lo largo de las situaciones didácticas, el proceso evolucionó por los intercambios entre el profesor y los alumnos, en función de la transposición didáctica y las decisiones tomadas por el profesor-ingeniero; dichas decisiones resultan del análisis a priori y la adaptación de las elecciones dinámicas en clase [De Faria, 2011]. Cuando el resultado de la experimentación de la técnica fue favorable para el aprendizaje del tema, se incluyó como requerimiento en la etapa de definición de requerimientos del modelo en cascada para desarrollo del MEC de acuerdo a la metodología propuesta por Sommerville en su libro “Ingeniería de Software”, como los requerimientos son un producto de las situaciones didácticas ya analizadas, no se necesita la intervención del

cliente(alumnos y profesores) en el desarrollo; por esta razón, no se utilizó una metodología ágil, se optó por este modelo porque permite desarrollar el MEC con mayor rapidez.

En la figura 1 se muestra la metodología para desarrollar el MEC para la enseñanza de matemáticas I en ESO.

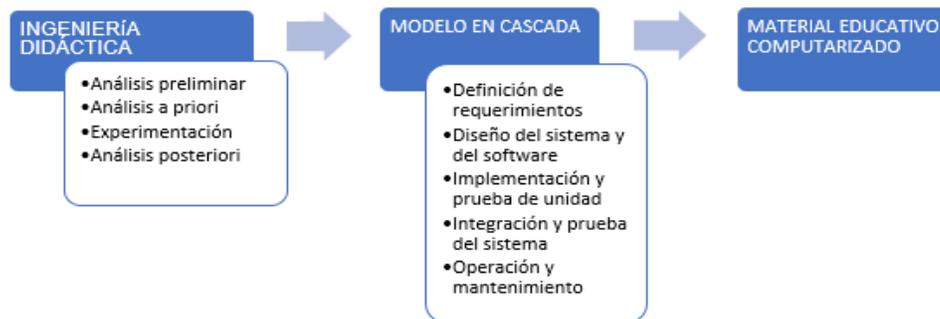


Figura 1. MeISE

Ingeniería didáctica

1. Análisis preliminar

En la Figura 2, se muestran los pasos que se realizaron para obtener el análisis preliminar.

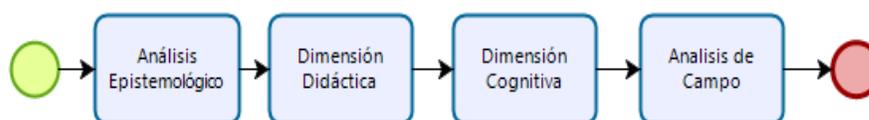


Figura 2. Proceso análisis preliminar

— El análisis epistemológico de los contenidos contemplados

Se llevó a cabo el análisis del temario de la asignatura Matemáticas I de educación secundaria de acuerdo al plan de estudios SEP 2011. Los temas para el MEC fueron elegidos a criterio del profesor–ingeniero tomando en cuenta la importancia y dificultad de cada tópico.

— Dimensión didáctica

Se realizó un análisis minucioso de la enseñanza tradicional y los efectos observados en el comportamiento de los alumnos sobre los temas en la generación 2016-2017.

— Dimensión cognitiva

En esta etapa se realizó un análisis de las concepciones de los estudiantes, de las dificultades y obstáculos que determinan su evolución en los temas, se utilizó la observación por parte del profesor-ingeniero, así como la revisión de las competencias logradas en los exámenes y ejercicios en los grupos de la generación 2016-2017, a fin de identificar su concepción y obstáculos que les impiden llegar a las competencias esperadas.

— El análisis del campo

En este apartado se listaron las restricciones del lugar donde se llevó a cabo la situación didáctica.

2. Concepción y análisis a priori de las situaciones didácticas

Se realizó un análisis a priori para determinar si las restricciones consideradas sobre la enseñanza didáctica tradicional y la elección de las variables que afectan el conocimiento, tienen una relación directa con el comportamiento de los alumnos y los logros esperados. Este análisis se basa en un conjunto de hipótesis sobre lo que harán los estudiantes; es decir, contemplar todo lo que pueda suceder durante la situación didáctica de acuerdo a las fases que se ilustran en la Figura 3.

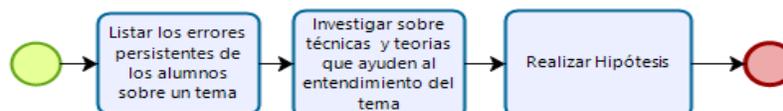


Figura 3. Concepción y análisis a priori de las situaciones didácticas.

3. Experimentación

Se aplicaron las estrategias diseñadas al grupo 2016-2017 para validar las hipótesis planteadas, las cuales siguieron los pasos mostrados en la Figura 4.



Figura 4. Experimentación

4. Análisis posteriori

Esta fase se basa en el conjunto de datos recolectados a lo largo de la experimentación, estos datos se completaron con el contraste de los resultados de las situaciones didácticas, entrevistas individuales o en pequeños grupos, realizadas durante cada sesión de la enseñanza y los resultados favorables para ésta se incluyeron como requerimientos en la realización del MEC, tal como lo muestra la Figura 5.



Figura 5. Análisis posteriori

Modelo en cascada

- Definición de requerimientos:** Los resultados de la etapa de análisis posteriori de la ingeniería didáctica, se convirtieron en los requerimientos para desarrollar el MEC que contiene las técnicas pedagógicas con los mejores resultados frente a grupo; con esa información se crearon los casos de uso, diagramas UML, historias de usuario y diagrama de secuencias.
- Diseño del sistema y del software:** El diseño de los Mockups se realizó directamente en Adobe Animate CC 2018 ® debido a que utiliza imágenes vectoriales, lo que asegura que el MEC se mostrará sin pixelar en cualquier dispositivo de reproducción o explorador de internet. En la figura 6 se muestra la interfaz interactiva del MEC para comparar fracciones equivalentes donde el alumno deberá colocar una fracción a un extremo y su equivalente al otro, si es correcto la balanza quedara en equilibrio, se programó el MEC utilizando animación por capas, HTML5 y ActionScript 3.



Figura 6. MEC fracciones equivalentes.

- Implementación y prueba de unidad:** Se aplicó la prueba de humo para comprobar la integridad del sistema y de esta manera encontrar los posibles bugs de manera temprana; así mismo, se utilizó la herramienta AIR Debug Launcher (Escritorio) para optimizar el código fuente.
- Integración y prueba del sistema:** Se realizaron tres diferentes pruebas al finalizar las pruebas de unidad. En la figura 7, se ilustra las pruebas realizadas.

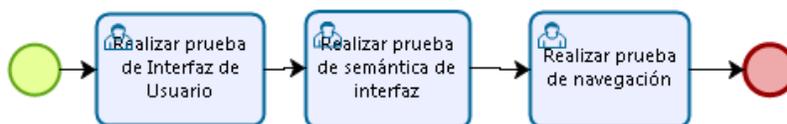


Figura 7. Proceso prueba

- Prueba de interfaz de usuario: Se probó la funcionalidad del software y el uso de la interfaz por los alumnos.
- Prueba de semántica de interfaz: Se contrastó el MEC terminado, contra cada caso de uso y se aseguró que el usuario llegara al objetivo propuesto en cada caso.
- Prueba de navegación: Se realizaron pruebas de relación entre las interfaces, que cada botón y menú enlazara hacia la dirección correcta.

5. **Operación y mantenimiento:** En la figura 8 se muestra la instalación y el despliegue del MEC en el grupo de estudio.



Figura 8. Despliegue del MEC fracciones equivalentes.

Resultados y discusión

Al enseñar al grupo de estudio con MEC en primero de secundaria, se observaron diferencias significativas entre ambos grupos con respecto a: la dispersión y varianza de las calificaciones, índices de reprobación, media aritmética y por último la percepción hacia la enseñanza de las matemáticas con tecnología.

— Dispersión y varianza de calificaciones

En el grupo de estudio, las calificaciones de los alumnos se encontraron cerca de la media aritmética obsérvese la figura 9, lo que denota un aprendizaje uniforme en los alumnos; en cambio, en el grupo de control, las calificaciones estuvieron notoriamente más dispersas.



Figura 9. Comparación de la desviación estándar entre los grupos.

— Índice de reprobación.

En la Tabla 1 se muestran las calificaciones obtenidas por ambos grupos en el ciclo escolar 2017-2018, en rojo se marcan las calificaciones reprobatorias, se puede observar una disminución de 47 del grupo de control a 11 del grupo de estudio.

Tabla 1. Comparación de las calificaciones entre los grupos.

GRUPO DE CONTROL						GRUPO DE ESTUDIO					
Alumno	Bimestre 1	Bimestre 2	Bimestre 3	Bimestre 4	Bimestre 5	Alumno	Bimestre 1	Bimestre 2	Bimestre 3	Bimestre 4	Bimestre 5
1	7	5	5	6	5	1	6,8	6,8	8	7,8	7,5
2	7	7	8	5	5	2	5,0	5	7	6,0	9,0
3	5	5	5	5	5	3	6,0	7,3	8	5,6	7,5
4	9	7,6	8	9,1	10	4	6,0	6,5	9,7	9,5	9,3
5	9,6	7	8,6	9,2	10	5	7,3	7	7	7,3	7,0
6	5	5	5	5	5	6	8,0	8	8	5,7	9,3
7	8	5	7	5	7,5	7	7,1	7	8,5	8,0	7,5
8	9	8,1	8,5	8,1	8	8	7,2	7	9	8,1	9,5
9	5	5	5	7	7	9	9,3	8	9	9,5	9,3
10	6	5	5	5	7	10	6,5	5	6,5	5,1	6,0
11	8	6	8	8	7	11	6,0	6,5	6	6,2	7,0
12	6,6	7,1	8	5	5	12	6,4	5	7	6,1	7,0
13	9,3	8,1	8,5	8,5	8,5	13	6,7	7	9	9,7	10,0
14	7,3	7	8	8	8	14	6,0	8	9,5	8,2	9,0
15	7	5	8	5	5	15	9,0	7	9,6	9,0	8,0
16	5	5	5	5	5	16	9,7	9	9	9,0	9,0
17	6	7	7	6,8	7	17	6,1	7	10	6,1	7,7
18	5	5	5	5	5	18	8,9	9	10	9,4	9,7
19	7	8	7	5	5	19	8,1	8	8	6,5	7,0
20	8	7,6	8	8,5	7,6	20	8,8	8,5	8	6,0	9,7
21	7	7	8	10	8	21	9,2	8	10	8,1	9,8
22	5	7	6	7	7	22	8,2	7,5	9,1	9,4	10,0
23	8	8	9,5	8	8	23	7,5	6	6	7,8	8,0
24	8	8	8,5	7,5	6	24	6,2	6	5	7,2	6,7
25	8	8	8,5	8,5	7,5	25	7,1	6	7,3	6,9	8,0
26	5	5	6	7	5	26	6,8	7	7	6,8	7,0
27	7	7	8	7,5	7	27	8,5	9	5	5,0	5,0
28	8	7	5	5	7	28	6,1	6,7	10	9,8	9,2
29	8	8,6	7,5	5	7,5	29	6,1	6	7,5	7,6	6,0
30	9	8	9,3	8,5	9	30	7,0	7	7	7,0	7,0

— Media aritmética.

Se obtuvo un aumento de 7 décimas del grupo de estudio contra el grupo de control, el promedio obtenido por el grupo de control fue de 6.8 contra 7.5 del grupo de estudio.

— Percepción estudiantil ante el MEC.

En la figura 10, se muestra la gráfica de la variación de la percepción entre el pre-test y post-test de acuerdo a la respuesta del ítem 8 del instrumento ¿Pensas que las herramientas tecnológicas como pizarrón interactivo, video, etc. facilitarían el aprendizaje de las matemáticas?

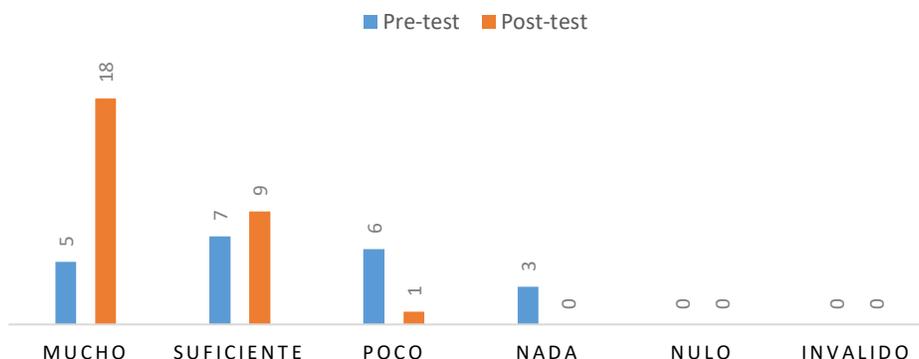


Figura 10. Gráfica comparativa del nivel de percepción

Prueba de hipótesis

Se aplicó la prueba estadística paramétrica t-student para dos muestras independientes considerando $\alpha=0.05$.

H1: La enseñanza de la asignatura Matemáticas I utilizando MEC programado con requerimientos obtenidos por la ingeniería didáctica a través de metodología de cascada de la ingeniería de software, mejora el aprendizaje de los alumnos en secundaria.

Cálculo de la prueba t-student manual

Cálculo de la Varianza (S^2)

Cálculo de la varianza para datos no agrupados de las calificaciones obtenidas por cada unidad en los 5 bimestres de los 30 alumnos:

Donde:

$$s^2 = \frac{\sum fx^2 - \frac{(\sum fx)^2}{n}}{n - 1}$$

x = calificación
n = número de datos

Cálculo de la varianza para el grupo de estudio:

$$s^2 = \frac{8908.93 - \frac{1293451.29}{150}}{149} = \frac{8900 - 8623}{149} = 1.9$$

Cálculo de la varianza para el grupo de control:

$$s^2 = \frac{7452.1 - \frac{1068328.96}{150}}{149} = \frac{7452.1 - 7122.19}{149} = 2.21$$

Fórmula para dos muestras independientes:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Donde:

\bar{x} simboliza la media aritmética de ambos grupos.

n_1 y n_2 representan el tamaño de la muestra.

s_n^2 es la varianza de cada muestra.

$$t = \frac{7.5 - 6.8}{\sqrt{\frac{(29 \times 1.89) + (29 \times 2.21)}{30 + 28} \left(\frac{1}{30} + \frac{1}{30}\right)}} = \frac{0.7}{\sqrt{\frac{54.81 + 64.09}{58} (0.06)}} = \frac{0.7}{\sqrt{2.05(0.06)}} = \frac{.7}{0.36} = 1.9$$

Reglas de decisión:

Si $t \leq -1.671$ o $t \geq 1.671$, Aceptar H1 ; de acuerdo a la figura 11, $t = 1.9$ se encuentra en la zona de rechazo de H_0 , se acepta H1 como hipótesis verdadera.

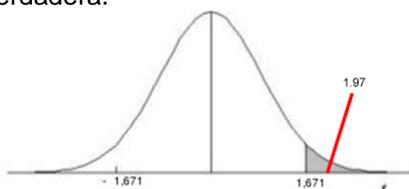


Figura 11. Localización del valor crítico

En la figura 12, se muestra el resultado de la prueba t en el software **IBM SPSS STATICS 21®**, como se puede apreciar ambos resultados confirman la hipótesis de investigación.

Prueba T para la igualdad de medias						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error tip. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
2.340	58	.023	.6867	.2935	.0992	1.2742
2.340	55.100	.023	.6867	.2935	.0985	1.2748

Figura 12. Resultado de la prueba T para muestras independientes

El valor de significancia fue de $0.023 < \alpha = 0.05$ por lo que se concluye que existen diferencias significativas entre ambos grupos.

Trabajo a futuro

- Utilizar la metodología propuesta para desarrollar MEC para matemáticas II y III de nivel secundaria.
- Probar la usabilidad del MEC desarrollado durante la presente investigación.
- Pasar del diseño de investigación no experimental al experimental.

Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos de la investigación y los elementos metodológicos se llega a las siguientes conclusiones:

1. En concordancia con otras investigaciones realizadas, la utilización de software coadyuva el mejoramiento de la actitud y la percepción de los alumnos con respecto a las matemáticas.
2. Si los requerimientos del software reflejan la situación didáctica del alumno a través de la ingeniería didáctica, optimizan al software para ejecutar una técnica didáctica con resultados positivos para alcanzar las competencias deseadas en los alumnos.
3. Finalmente, se determina que el MEC es una herramienta que impacta directamente el índice de reprobación de los estudiantes que lo utilizan y reduce la dispersión del conocimiento en el grupo.

Referencias

1. De Faria Campos, E. (2006). INGENIERÍA DIDÁCTICA. *Cuaderno de investigación y formación en educación matemática*, 1-9.
2. Gómez Fuentes, M. D. (2011). Notas del Curso: Análisis de Requerimientos. México, D.F.:Universidad Autónoma Metropolitana.
3. Rascón Chavez, O. A. (2011). La educación en ingeniería en México y el mundo. Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo, 4-330.
4. Medina Martínez, J. C., Hernández Alarcón, V. M., Alonso Guzmán, L., & Solís Carmona, E. (2012). Análisis de ingeniería de requerimientos: Alta de unidades de aprendizaje UAI-Agro (México).
5. Ursini & et al. (2004). Validación y confiabilidad de una escala de Actitudes hacia las Matemáticas y hacia las Matemáticas Enseñadas con Computadora, 59-78.
6. Vidal Ledo, M., Gómez Martínez, F., & Ruiz Piedra, A. M. (2010). Software Educativos. *Scielo*, 97-110.
7. Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Standard 610. (1990). *Computer dictionary. Compilation of IEEE Standard Computer*. Obtenido de www.ieee.org .
8. OCDE. (2015). OECD. Obtenido de <https://www.oecd.org/pisa/PISA-2015-Mexico-ESP.pdf>
9. Secretaría de Educación Pública. (2017). Obtenido de http://planea.sep.gob.mx/content/general/docs/2017/RESULTADOS_NACIONALES_PLANEAA2017.pdf