

Propuesta de un Tutor Cognitivo semi-automatizado con gamificación e interfaces tangibles para álgebra

Gamified semi-automated cognitive tutor proposal with tangible interfaces for algebra

Blanca E. Pedroza Méndez¹, Juan M. González Calleros¹, Josefina Guerrero García¹, César A. Collazos Ordóñez², Aletvia A. Lecona Lara¹

¹ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

² Universidad del Cauca, Colombia

blancaestela.pedroza@gmail.com , jumagoca78@gmail.com , joseguga01@gmail.com ,
ccollazo@unicauca.edu.co , aletvialecona@gmail.com

RESUMEN. Dentro del campo de la tecnología educativa, es común hablar de Sistemas Tutoriales Inteligentes (STI), los cuales son herramientas de software, enfocadas a apoyar a los estudiantes en el proceso de enseñanza – aprendizaje, mediante un acompañamiento individualizado. Dentro de la clasificación de los STI se encuentran los Tutores cognitivos (TC), los cuales tienen la particularidad de estar enfocados en proporcionar apoyo individualizado para mejorar habilidades cognitivas complejas, a través de la práctica de resolución de problemas. Por lo regular, al hablar de una herramienta de software, como lo es un STI, se espera que sea un sistema totalmente automatizado, sin embargo, aun cuando la era digital está muy avanzada, no en todas las instituciones educativas se cuentan con los recursos necesarios para que todos los alumnos, en cada una de las clases, puedan tener acceso a algún dispositivo digital que permita el uso de los STI. Por lo tanto, la propuesta que se presenta en este artículo está dirigida a la implementación de un TC semi-automatizado para el área del álgebra, el cual hace uso de estrategias de gamificación y de interfaces tangibles para poder ser una herramienta de bajo costo, que pueda estar al alcance de los estudiantes, como auxiliar didáctico. Los resultados que se muestran corresponden a la fase inicial de la puesta en marcha del prototipo.

ABSTRACT. Intelligent tutoring systems (ITS) are software tools used in the field of educational technology. ITS are focused on supporting students in the teaching - learning process, through individualized accompaniment. Cognitive Tutors (CT) are a type of ITS, which have the particularity of being focused on providing individualized support to improve complex cognitive ability, through the practice of problem-solving. ITS is commonly viewed as an automated digital tool, however, even though the digital age is well advanced, not all educational institutions have the necessary resources so that all students, in each of the classes, may have access to a digital device that allows the use of ITS. Therefore, the proposal presented in this paper is directed to the implementation of a semi-automated CT for the area of algebra, which makes use of strategies of gamification and tangible interfaces to be a tool of low cost, that can be available to the students, as a teaching aid. Initial results of the prototype implementation are shown.

PALABRAS CLAVE: Tutor cognitivo, Mapas cognitivos difusos, Gamificación, Interfaces tangibles, Álgebra, Resolución de problemas, Teoría de la carga cognitiva.

KEYWORDS: Cognitive tutor, Fuzzy cognitive maps, Gamification, Tangible interfaces, Algebra, Problem solving, Cognitive load theory.

1. Introducción

En México, las deficiencias escolares en los alumnos se pueden ver en diversas áreas de su formación, sin embargo, las matemáticas son una de las materias que más índices de reprobación muestran en los diferentes niveles educativos, de acuerdo a muchos instrumentos de evaluación que aplican las instituciones oficiales. Por ejemplo, el Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA por sus siglas en inglés), se encarga de evaluar el rendimiento de alumnos de 15 años en áreas de matemáticas, lectura y ciencia, esta evaluación se realiza cada 3 años, aunque para el área de matemáticas no siempre es así. En la última evaluación que se llevó a cabo en el 2015, los estudiantes de México obtuvieron un promedio de 408 puntos en matemáticas, valor que está por debajo del promedio OCDE de 490 puntos y sitúa al país al lado del desempeño promedio de Albania y Georgia. En promedio en los países OCDE, casi uno de cada cuatro estudiantes (23%) no alcanza el nivel básico de competencia (Nivel 2), sin embargo, en México, 57% de los estudiantes no alcanzan el nivel básico de competencias (OCDE, 2016). Aun cuando el objetivo de la investigación que se presenta en este artículo está enfocada a alumnos de un nivel educativo posterior (bachillerato) al que se evalúa en la prueba PISA (secundaria), se considera importante, tomar en cuenta los resultados de la prueba PISA, ya que es el nivel en el que se empieza a trabajar más fuertemente con temas de la materia de álgebra, la cual es el área de las matemáticas, en la que se está enfocando el proyecto.

Por su parte, el aprendizaje de las matemáticas está muy relacionado con el hecho de que el estudiante sepa cómo resolver problemas. Existen teorías que sustentan que la enseñanza de resolución de problemas requiere de técnicas basadas en la habilidad cognitiva de los estudiantes, ligadas al tipo de problemas o ejemplos (cuando la habilidad cognitiva es baja) que deben trabajar; este proceso requiere de herramientas automatizadas, que permitan identificar las características de los alumnos para proporcionar estrategias de enseñanza más personalizadas y que además manejen una retroalimentación que ayude al alumno y al docente a identificar sus logros. El aprendizaje y la adquisición de habilidades cognitivas pueden ser soportados de diferentes maneras. Un enfoque muy exitoso es el uso de "resolución de problemas mediante la orientación" por sistemas tutoriales inteligentes. Estos sistemas proporcionan apoyo individualizado para el aprendizaje mediante la práctica (es decir, resolviendo problemas), seleccionando problemas apropiados a resolver, al proporcionar retroalimentación y sugerencias de resolución de problemas, y por la evaluación del aprendizaje del estudiante. Los tutores cognitivos son una forma particular de sistemas tutoriales inteligentes, basados en la teoría cognitiva; son tutores computarizados que proporcionan apoyo individualizado para el aprendizaje de las habilidades cognitivas complejas a través de la práctica de resolución de problemas (Salden et al., 2010b). Dichos tutores seleccionan problemas apropiados a ser resueltos, proporcionando como retroalimentación, sugerencias para resolver problemas y evaluar los progresos de aprendizaje de cada estudiante. Los tutores cognitivos individualizan la instrucción seleccionando problemas basados en un modelo del estado del conocimiento actual de los estudiantes que es constantemente actualizado a través de un proceso bayesiano llamado "el conocimiento de rastreo" (Salden et al., 2010b).

Cuando se habla de individualizar la instrucción para seleccionar los tipos de problemas basados en los conocimientos que el estudiante tiene del tema en cuestión, se utiliza como sustento una teoría pedagógica basada en el aprendizaje cognitivo, denominada Teoría de la Carga Cognitiva (TCC) y más específicamente, en dos de sus efectos, "expertise reversal" y "worked examples". El efecto "expertise reversal" centra sus experimentos sobre las diferencias entre expertos y novatos, sustentando que las técnicas que son eficaces con personas de bajo conocimiento pueden perder su eficacia e incluso tener consecuencias negativas para los alumnos más competentes (Kalyuga et al., 2003; Kalyuga, 2006). El efecto "expertise reversal" se produce cuando los diseños instruccionales moderan la experiencia del alumno (Rey & Andreas, 2013). Por su parte, el efecto "worked examples" sustenta que cuando a los estudiantes se les presentan pares de ejemplos-problema en lugar de problemas solamente, alcanzan resultados de aprendizaje superiores porque la capacidad de la memoria de trabajo no está sobrecargada (Kalyuga et al., 2001; Chen, Kalyuga & Sweller, 2015). Conjuntando los dos efectos, se concluye que los ejemplos resueltos son más favorables en las primeras etapas de aprendizaje, mientras que la resolución de problemas podría ser más eficaz en las etapas posteriores. Los ejemplos resueltos reducen la demanda de resolución de problemas a través de soluciones ya trabajadas. Por



lo tanto, una gran cantidad de la capacidad de procesamiento limitada de los alumnos (es decir, la capacidad de la memoria de trabajo) se dedicará a la comprensión de los principios del dominio en cuestión y a la aplicación del problema (Salden et al., 2010a).

Así mismo, al trabajar con sistemas tutoriales inteligentes, podemos incluir otras estrategias relacionadas con técnicas y/o teorías computacionales, en este caso se está trabajando con la teoría de la gamificación y la teoría de las interfaces de usuario tangibles. La gamificación consiste en la aplicación de principios y elementos propios del juego en un ambiente de aprendizaje, con el propósito de influir en el comportamiento, incrementar la motivación y favorecer la participación de los estudiantes (Cuendet et al., 2015). Las interfaces de usuario tangibles son "interfaces que se ocupan de proporcionar representaciones tangibles a la información y controles digitales, lo que permite a los usuarios captar los datos, literalmente con sus manos" (Cuendet et al., 2015).

1.1. Descripción del problema

Concretamente, el problema considerado en la investigación que se describe en este artículo está relacionado con el hecho de que en el área de matemáticas no se está logrando que el estudiante adquiera un aprendizaje profundo, lo cual a su vez está relacionado con dos situaciones que también pueden considerarse como problemas:

- I. Los alumnos no saben resolver problemas de matemáticas y más específicamente, relacionándolo con este trabajo, tienen dificultades para resolver problemas de álgebra. Esta situación, no es fácil remediar sin el apoyo de herramientas que ayuden a evaluar y detectar las deficiencias de los alumnos en la resolución de problemas.
- II. Es común que la enseñanza de las matemáticas se siga trabajando con procesos tradicionales, en los que no es fácil considerar estrategias que identifiquen si cada uno de los temas del curso es totalmente comprendido por los alumnos y a su vez establecer mecanismos que ayuden a reforzar lo que no haya quedado claro. Y no es fácil implementarlo porque esto conlleva a situaciones como que el docente no concluya con la enseñanza de todos los temas del curso o que los alumnos más avanzados detengan su aprendizaje. En sí, el problema es que se necesita el apoyo de herramientas que permitan trabajar con educación más individualizada.

1.2. Propuesta de Solución

En base a los problemas mencionados, considerando las características de los STI, y más específicamente las de un tutor cognitivo, una propuesta para ayudar al docente en la enseñanza del álgebra, es diseñar un tutor cognitivo. Sin embargo, debido a las restricciones en cuanto a la disposición de herramientas digitales en las escuelas públicas, es necesario ajustar las características del tutor cognitivo, de tal manera que no se requiera el uso del internet y que sea un dispositivo de bajo costo para que pueda estar al alcance de los alumnos como auxiliar didáctico en las clases de álgebra.

En el presente artículo se muestra la descripción de cada uno de los módulos del tutor cognitivo propuesto, como una extensión a la propuesta presentada en (Pedroza-Méndez et al., 2017). El artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2, se presentan los conceptos teóricos más usados para la propuesta del tutor cognitivo, haciendo énfasis en una definición más extensa de lo que son los sistemas tutoriales inteligentes, y mencionando la arquitectura gamificada propuesta en González, Mora y Toledo (2014), la cual es la que se está tomando como base para el tutor cognitivo descrito en este artículo. En la sección 3 se muestran algunos trabajos relacionados, en la sección 4 se muestra la metodología y/o modelos implementados en cada uno de los módulos del tutor cognitivo, en la sección 5 se muestran los resultados que se han obtenido hasta el momento y finalmente en la sección 6 se muestran las conclusiones y los trabajos futuros.

2. Sustento Teórico

2.1. Sistemas Tutoriales Inteligentes

Al hablar de educación con tecnología, no solo se refiere al uso de computadoras, el software también es indispensable, y un tema relacionado con el desarrollo de herramientas para el proceso de enseñanza – aprendizaje son los Sistemas Tutoriales Inteligentes (STI) que son sistemas informáticos diseñados para ayudar y facilitar la tarea de aprendizaje para el alumno. Por definición, los STI son sistemas de instrucción basados en computadora que intentan recopilar información sobre el estado de aprendizaje de un estudiante y tener esta información para tratar de adaptar la instrucción a las necesidades del alumno (Fazel Zarandi et al., 2012). Los STI tienen experiencia en la medida en que conocen la materia enseñada (conocimiento del dominio), cómo enseñar (conocimiento pedagógico) y también la forma de adquirir información en el alumno (Zouhair et al., 2012). Los STI modelan la comprensión del estudiante a medida que avanzan en las tareas, y la comparan con un modelo de lo que un experto en ese dominio entiende (García-H., Reyes-García & Morales-G., 2004), (Matsuda, Cohen & Koedinger, 2015), (Reed et al., 2013).

Para la implementación de un sistema tutorial inteligente, existen diversas arquitecturas, en (González et al., 2014) proponen una arquitectura con siete módulos (Ver Figura 1), de los cuales en cinco, se incluyen estrategias de gamificación. En la segunda columna de la Tabla 1 se describen cada una de las actividades como las proponen los autores de la arquitectura mostrada en la Figura 1 y en la tercera columna se describen las actividades en términos de los modelos o actividades que se proponen en el tutor cognitivo de la investigación presentada en este artículo.

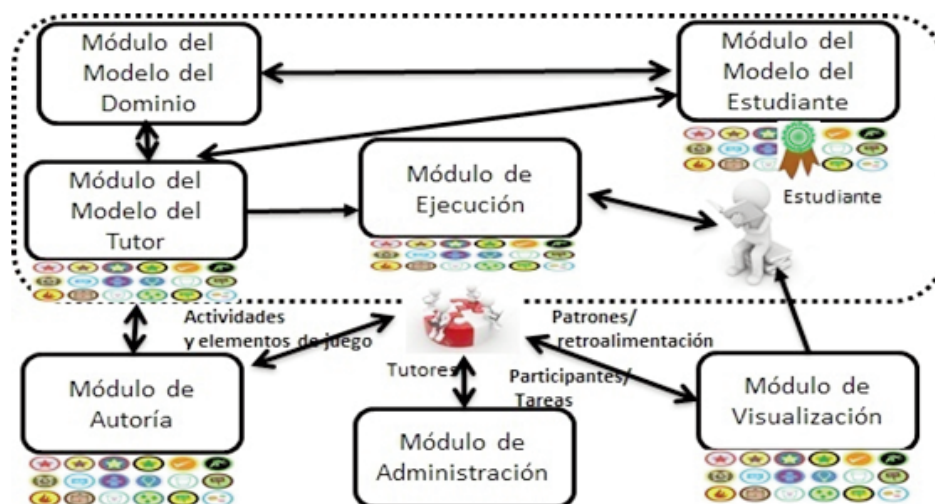


Figura 1. Arquitectura de un Sistema Tutorial Inteligente con Gamificación. Fuente: Oropuesto en (González et al., 2014).

2.2. Gamificación

En Seaborn y Fels (2014) mencionan que el término gamificación puede ser definido como “el uso intencional de elementos de juego para una experiencia completa del juego de tareas y contextos que no son juegos. Los elementos del juego son los patrones, objetos, principios, modelos y métodos inspirados directamente por los juegos”. Para hacer una sesión de aprendizaje, divertida atractiva y fácil, podemos utilizar gamificación y técnicas de Sistemas Tutoriales Inteligentes (STI), tales como: 1) Competencia y retroalimentación: Los jugadores saben constantemente la situación en la que se encuentran y donde se encuentran todos los demás. También reciben consejos y se les informa acerca de su progreso hacia las metas a corto plazo y a largo plazo. Una ligera diferencia entre los ambientes de gamificación (AG) y los STI por retroalimentación es que los STI usan mensajes como consejos para motivar, y confirman las acciones de los estudiantes. Sin embargo, los AG utilizan estrategias gratificantes tales como insignias; 2) Insignias: una vez que un jugador alcanza una meta, se muestra claramente junto con el marcador en el menú principal de la aplicación; 3) Subir de nivel: ya que los jugadores realizan una tarea, el juego los promueve a seguir con niveles

más altos (Faghihi et al., 2014).

Una de las propuestas más conocidas y de más amplia aceptación para el diseño de sistemas gamificados es el framework D6, el cual consta de los siguientes pasos (Muñoz, Collazos, & González, 2016).

- Definir los objetivos de negocio.
- Delinear el comportamiento objetivo.
- Describir a los jugadores.
- Determinar los ciclos de actividad.
- Diversión.
- Desplegar las herramientas adecuadas.

MÓDULO DEL TUTOR	ACTIVIDAD (González et al., 2014)	ACTIVIDADES IMPLEMENTADAS EN EL TUTOR COGNITIVO
Modelo del estudiante	<ul style="list-style-type: none"> • Se encarga de representar el estado cognitivo del estudiante. • Es responsable de adaptar el sistema a las respuestas de los usuarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuestionario para determinar el estilo de aprendizaje • Modelo para el instrumento de medición • Modelo difuso para medir la habilidad cognitiva
Modelo del dominio	<ul style="list-style-type: none"> • Contiene la representación del conocimiento de los expertos en áreas relacionadas a los procesos de evaluación y metodologías de enseñanza – aprendizaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo basado en mapas cognitivos difusos para representar el conocimiento de los expertos en la enseñanza de temas de álgebra • Modelo difuso para determinar los tipos de problemas de álgebra
Modelo Tutor	<ul style="list-style-type: none"> • Contiene información para decidir que tareas son presentadas al estudiante de acuerdo con los objetivos de aprendizaje del módulo del dominio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo para definir las estrategias pedagógicas basadas en juegos y tipos de problemas
Autoría	<ul style="list-style-type: none"> • Crea actividades personalizadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo para proponer actividades personalizadas en base a la habilidad cognitiva de los alumnos
Ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Interactúa con los estudiantes • Conocimiento del juego 	<ul style="list-style-type: none"> • Definir las estrategias para la interacción
Visualización	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del aprendizaje • Retroalimentación del juego 	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaces tangibles
Administración	<ul style="list-style-type: none"> • Administración de los estudiantes • Creación de grupos • Asignación de actividades 	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de plataforma y bases de datos para la organización de la información y la asignación de las actividades

Tabla 1. Actividades de cada uno de los módulos del Sistema Tutor Inteligente de la Figura 1. Fuente: Elaboración propia.

2.1. Interfaces de Usuario Tangibles

Otros elementos que se pueden incluir en un sistema tutorial inteligente con gamificación son las interfaces de usuario tangible (IUT), que son "interfaces que se ocupan de proporcionar representaciones tangibles a la información y controles digitales, lo que permite a los usuarios captar los datos, literalmente con sus manos". La motivación original detrás de una interfaz de usuario tangible es, conectar el mundo físico con el digital mediante el uso de artefactos físicos, y por lo tanto, mantener la riqueza de las interacciones físicas. Esto es novedoso y contrario a la tendencia principal que se centra en forzar al usuario a introducirse en un mundo virtual (Cuendet et al., 2015). En lugar de hacer que los píxeles se fundan en una interfaz, las IUT utilizan

formas físicas que se adaptan perfectamente al entorno físico de un usuario. Las IUT tienen como objetivo aprovechar estas habilidades de interacción aptica, un enfoque significativamente diferente de las interfaces gráficas de usuario. La idea clave de una IUT sigue siendo: dar forma física a la información digital, permitiendo que sirvan como la representación y los controles de sus contrapartes digitales. Las IUT hacen que la información digital sea manipulable directamente con nuestras manos y perceptible a través de nuestros sentidos periféricos y por medio de su representación física (Ishii, 2008).

2.2. Teorías Pedagógicas

2.2.1. Modelo del estudiante

Como ejemplos de las teorías pedagógicas, podemos mencionar a las relacionadas con la detección de los estilos de aprendizaje de un alumno, las cuales clasifican tanto las formas en que los estudiantes aprenden como la forma en que los docentes enseñan. Su objetivo principal es que en cada categoría que posea el modelo, se satisfagan las necesidades de aprendizaje de los estudiantes (Zatarain-Cabada et al., 2010), (Feldman, Monteserin & Amandi, 2014). En (Salas & Alfaro, 2017) mencionan que cuando a los estudiantes se les enseña según su propio estilo de aprendizaje, aprenden con más efectividad y los autores hacen referencia al modelo VAK (Visual Auditivo y Kinestésico) y mencionan que los estilos de aprendizaje son los rasgos cognitivos, afectivos y fisiológicos que sirven como indicadores relativamente estables y de cómo los alumnos perciben interacciones y responden a sus ambientes de aprendizaje. De esta manera surgen 3 dimensiones que tienen que ver con la manera en que los seres humanos recogen o perciben la información: a) Visual, b) Auditiva y c) Kinestésica. Esta forma de clasificar los estilos de aprendizaje, es muy utilizado para el desarrollo de ambientes virtuales de aprendizaje, ya que, mediante las herramientas multimedia, se pueden implementar estrategias que se acoplen a dichos estilos de aprendizaje.

Así mismo, otro de los estilos de aprendizaje que son muy utilizados en el desarrollo de herramientas digitales interactivas, son las inteligencias múltiples. Howard Gardner define la inteligencia como una capacidad, convirtiéndola en una destreza que se puede desarrollar de una manera u otra y añade que al igual que hay muchos tipos de problemas a resolver, también hay muchos tipos de inteligencia. Gardner identifica 8 tipos: 1) Inteligencia Lógica – matemática. 2) Inteligencia Lingüística. 3) Inteligencia Espacial. 4) Inteligencia Musical. 5) Inteligencia Corporal – kinestésica. 6) Inteligencia Intrapersonal. 7) Inteligencia Interpersonal. 8) Inteligencia Naturalista (Etchegaray Centeno, Guzmán Franco & Duarte Hueros, 2017).

2.2.2. Teoría de la Carga Cognitiva

El cognitivismo es una corriente pedagógica que ha servido de sustento para el desarrollo de diversas herramientas automatizadas para la educación. La Teoría de la Carga Cognitiva, es parte de la Teoría Cognitiva y la cual a través de dos de sus enfoques, el efecto expertise reversal y worked examples resalta que para lograr un aprendizaje profundo es importante detectar el nivel de expertise de un alumno en el tema en cuestión, ya que si la nueva información que se le proporciona no se relaciona con ningún conocimiento almacenado en la memoria de trabajo del alumno, el aprendizaje se inhibe, y por el contrario, si la información ya existe, se sobrecarga la memoria de trabajo y también se inhibe el aprendizaje (Chen et al., 2015), (Yung & Paas, 2015), (Paas & Ayres, 2014) (Reed et al., 2013). Estos procesos, el de estar detectando y monitoreando constantemente, el estilo de aprendizaje, y el nivel de experiencia de un alumno, son procesos que, prácticamente resulta imposible implementarlos de manera manual y eso sin hablar de incluir procesos que manejen las estrategias de enseñanza de acuerdo al estilo de aprendizaje y al nivel cognitivo o “expertise” del alumno en un tema, lo cual es aún más difícil.

2.2.3. Modelo 3UV para enseñanza del álgebra

Dentro del proceso de enseñanza – aprendizaje, una parte primordial es la relacionada con la evaluación, por ejemplo, John Biggs menciona que para lograr un aprendizaje profundo, es importante alinear la evaluación con los objetivos del aprendizaje (Biggs, 1996). Así mismo, es evidente que el proceso de estar realizando evaluaciones constantes a un grupo de estudiantes numerosos, no es nada sencillo y requiere de



mucho tiempo, motivo por el cual es importante implementar estrategias que nos permitan automatizar el proceso de evaluación, y precisamente, las herramientas automatizadas, como los tutores inteligentes, deben incluir modelos eficientes que permitan realizar el proceso de evaluación, lo cual no es nada sencillo, ya que se debe empezar por utilizar instrumentos validados y que estén adecuados a diversos factores como: nivel educativo, área de enseñanza y lo más importante, que sea eficaz, es decir, que mida lo que debe medir. Dentro del contexto de nuestra investigación, el instrumento adecuado, tiene que estar enfocado a evaluar el desempeño de los alumnos en la resolución de problemas de álgebra. El modelo que se consideró más adecuado es el propuesto en (Ursini et al., 2008), el cual es denominado Modelo 3UV (3 usos de la variable) y está muy enfocado al uso de la variable algebraica, la cual como una entidad heterogénea también ha sido investigada en relación con los obstáculos que encuentran los estudiantes para verla como una entidad global con varios lados. Esta visión requiere que los estudiantes trabajen con cada uso por separado, mientras que al mismo tiempo desarrollen la flexibilidad para cambiar de un uso a otro. Varios autores han encontrado que los estudiantes en diferentes años de estudio tienen serias dificultades en la interpretación de los diversos papeles que una variable puede adoptar en un mismo problema y en hacer un cambio flexible de uno a otro. El modelo 3UV, es un esquema en el cual los logros y dificultades de los estudiantes en relación con la variable algebraica fueron analizados (Álvarez, Gómez-Chacón & Ursini, 2015).

El modelo 3UV (tres usos de las variables) surgió de un análisis de lo que se requiere para hacer ejercicios y problemas de álgebra de libros de texto estándar. El análisis reveló que, en los cursos de álgebra elemental, a las variables se les asignan esencialmente tres usos: como incógnita, como número general y para simbolizar relaciones funcionales. También se identificaron una serie de factores a los que se enfrenta el usuario para resolver problemas o hacer ejercicios de álgebra (Ursini et al., 2008).

2.2.4. Medición de las habilidades cognitivas

Aunado, al instrumento adecuado para evaluar el avance en los logros del aprendizaje, se debe manejar un modelo que ayude a medir los resultados del aprendizaje, reflejados en el instrumento. De acuerdo a Rongmei y Lingling (2009), un modelo para la evaluación de habilidades cognitivas se puede definir como:

$$M = (U, V, A). \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde $U = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6)$, es el peso de cada uno de los seis puntos del conocimiento de la taxonomía de Bloom's. $V = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5)$ son valores asociados con: excelente, bueno, medio, aceptable y fallido. Para definir un modelo que genere automáticamente el vector V se está manejando un modelo difuso, de tal manera que con esta información se pueda inferir el desempeño de los alumnos en base a cada habilidad del pensamiento e identificar en cual o cuales, el alumno tiene debilidades y generar el diseño instruccional que puede ayudar a fortalecer esas habilidades. A es una matriz que almacena los resultados de las rúbricas que se diseñaron en base al modelo 3UV. La forma en cómo se implementó el modelo difuso para la evaluación se describe detalladamente en (Pedroza-Méndez, González-Calleros & Juárez-Ruiz, 2016)

2.3. Lógica Difusa

La lógica difusa es una extensión de la lógica booleana hecha por Lotfi Zadeh en 1965, basada en la teoría matemática de conjuntos difusos, que es una generalización de la teoría clásica de conjuntos. Al introducir la noción de grado en la verificación de una condición, permite una condición de estar en un estado distinto de verdadero o falso, la lógica difusa proporciona una flexibilidad de razonamiento, lo que permite tener en cuenta las inexactitudes e incertidumbres. Una ventaja de la lógica difusa, con el fin de formalizar el razonamiento humano, es que las reglas se establecen en lenguaje natural (Franck Dernoncourt, 2013).

2.3.1. Mapas Cognitivos Difusos

Los módulos del tutor, del dominio y de autoría de la figura 1, requieren de la implementación de un modelo que pueda simular la toma de decisiones en cuanto a las estrategias pedagógicas, los tipos de problemas y las actividades, que se les deben ir proporcionando al estudiante, dependiendo, tanto de su estilo de

aprendizaje, el avance en la habilidad cognitiva con respecto al manejo de los temas de álgebra y al interés que el alumno presenta, durante la interacción con la herramienta, y durante la clase. Los mapas cognitivos difusos (MCD) son modelos que ayudan en este tipo de procesos, ya que son una metodología de la computación suave, utilizada para representar el conocimiento científico social. Pertenecen a la clase de sistemas neuro – difusos, que son capaces de incorporar el conocimiento humano y adaptarlo a través de los procedimientos de aprendizaje (Parsopoulos et al., 2003; García-H. et al., 2004; Papageorgiou & Salmeron, 2013; Salmeron, 2009).

En general, un MCD es un grafo dirigido etiquetado de manera difusa con retroalimentación, en el que los conceptos variables son representados por los nodos. Mediante el grafo se representa un razonamiento causal incierto y para su representación matemática se utiliza una matriz en la que se almacenan los pesos asociados a las aristas y permite hacer inferencias causales como los recuerdos de una memoria asociativa (Kosko, 1986). Kosko, quien fue el que introdujo los MCD describió el modelado de mapas cognitivos con dos características importantes: (a) las relaciones causales entre los nodos fueron fuzzificadas, y (b) el sistema fue habilitado con retroalimentación dinámica. Los cambios a través de los nodos y sus cambios de efecto posterior en los nodos cambian los valores anteriores. Muestran la relación causal entre los conceptos aplicados y ayudan a analizar sus patrones de inferencia. Ellos abordan eficazmente la incertidumbre y la fusificación de los archivos de registro de datos generados durante los procesos de diagnóstico (Sweta & Lal, 2017).

3. Trabajos Relacionados

Dentro de la literatura existen diversos trabajos relacionados con la creación de tutores inteligentes o tutores cognitivos. Sweta y Lal (2017) proponen algunas estrategias adaptativas, como la detección dinámica y automática de los estilos de aprendizaje. Las estrategias tienen ventajas en términos de precisión y tiempo invertido. Es un enfoque basado en la literatura en el que construyen un modelo de aprendizaje adaptativo personalizado (PALM). El modelo de aprendizaje que proponen explota los datos de acceso de navegación de los alumnos y encuentra los patrones de comportamiento que individualizan a cada alumno y proporcionan una personalización de acuerdo con sus estilos de aprendizaje en el proceso de aprendizaje. Utilizaron mapas cognitivos difusos y sistemas de inferencia difusa para implementar PALM. En (Millis et al., 2016) desarrollan un sistema tutorial inteligente basado en juegos serios y el objetivo principal de la investigación se enfoca en determinar las estrategias basadas en juegos que ayuden a incrementar el aprendizaje. Por su parte, en (Guerrero et al., 2016) presentan un estudio piloto del uso de dos nuevas interfaces tangibles y mundos virtuales para enseñar geometría en una escuela secundaria y los autores concluyen que los estudiantes estaban más motivados cuando utilizaron el sistema Virtual Touch para aprender geometría, en comparación con el enfoque tradicional. Sin embargo, el factor novedad probablemente tenga un impacto. En (Matsuda et al., 2015) describen la herramienta “SimStudent” la cual es un agente de aprendizaje máquina desarrollado inicialmente para ayudar a los desarrolladores novatos a crear tutores cognitivos sin la necesidad de programar. Está integrado en una suite de herramientas de software existente denominada “Herramientas para Autores de Tutores Cognitivos” (CTAT por sus siglas en inglés), SimStudent ayuda a los desarrolladores a crear un modelo experto para un tutor cognitivo mediante el tutorial incluido en SimStudent sobre cómo resolver problemas. Otro trabajo relacionado con mapas cognitivos difusos y herramientas educativas es el que presentan (Chrysafiadi & Virvou, 2013) quienes proponen un sistema tutorial adaptativo. El término adaptativo es porque tiene la característica de proporcionar al estudiante, el material de aprendizaje del tema en cuestión, teniendo en cuenta sus necesidades de aprendizaje y su diferente ritmo de aprendizaje. Este proceso lo realizan utilizando mapas cognitivos difusos para modelar el comportamiento del alumno. El enfoque de representación de conocimiento propuesto lo implementan en un sistema de adaptación de aprendizaje electrónico para la enseñanza de la programación.

4. Metodología e implementación

4.1.1. Descripción general de la implementación

Inicialmente, el objetivo del proyecto estaba enfocado en desarrollar una herramienta totalmente



automatizada, mediante el manejo de interfaces amenas. Pero también, siempre se tuvo en mente que la herramienta pudiera ser utilizada como auxiliar didáctico del docente, en la materia de álgebra, lo cual implicaba que los alumnos pudieran tener disponibles las herramientas digitales necesarias, en cada una de las clases, y más aún, que por lo menos hubiera una herramienta digital para máximo tres alumnos, además, contar con acceso adecuado a internet, o en su caso, que en todos los dispositivos se pudiera instalar el software. Sin embargo, durante el proceso de desarrollo del proceso de investigación, se realizaron algunos pilotajes, mediante la aplicación de instrumentos basados en el modelo 3UV, para obtener los datos que se utilizaron para ir probando los modelos para detectar las habilidades cognitivas de los estudiantes, en instituciones de educación públicas de nivel bachillerato en el estado de Tlaxcala, México, los cuales nos permitieron definir las estrategias que se aplicarían para la implementación del tutor cognitivo. Mediante la asistencia a algunas instituciones pudimos percatarnos de las condiciones reales de las instituciones, las cuales, en algunos casos, tienen alrededor de 1500 alumnos por turno (matutino y vespertino) y por lo muchos cuentan con alrededor de 50 equipos de cómputo, los cuales solo pueden ser utilizados para las materias relacionadas con la computación. Por otra parte, el acceso al internet por medio de herramientas digitales propias de los alumnos, está restringido. Debido a lo anterior se optó por trabajar en una herramienta semi-automatizada, aunque también como actividades complementarias extra clase se les proporciona a los alumnos el acceso a la página web, en la que, si se tienen totalmente automatizados, algunos juegos que se diseñaron a la par con los juegos manuales. Sin embargo, el uso de la página con juegos no puede ser utilizada para evaluar los avances de los alumnos, ya que el hecho de que los alumnos realicen la evaluación sin la supervisión del docente puede conducir a obtener resultados no válidos del avance real del alumno, debido a que puede solicitar la ayuda de terceras personas y alterar los resultados reales de su desempeño. La herramienta en la que se están implementado los módulos del tutor cognitivo se considera como semi-automatizada, ya que se implementaron algunos procesos que fueron programados en lenguaje “c” y almacenados en una tarjeta electrónica, pero hay procesos que son implementados de manera manual. En la Figura 2 se muestra un diagrama de la herramienta, en donde se indica qué módulos son automatizados y qué módulos son manuales.

En lo que respecta a los módulos automatizados, el proceso que se lleva a cabo tiene que ver con un proceso iterativo en el que se está evaluando constantemente a los alumnos, ya que es precisamente la parte de la evaluación la que genera un trabajo arduo que muchas veces los docentes no pueden estar realizando muy frecuentemente, por falta de tiempo. En este proceso iterativo, se consideran las actividades de tres módulos: el del modelo del estudiante, el del tutor y el del dominio, como se muestra en la Figura 3, ya que el objetivo es que con los datos que se vayan obteniendo de la evaluación, se alimente a los modelos de los mapas cognitivos difusos, para que en conjunto con un sistema de inferencia difuso, se obtengan resultados que indiquen al profesor las estrategias a seguir, basadas en diferentes tipos de problemas, complementadas con material didáctico animado y juegos que permitirán incrementar la habilidad para resolver problemas de álgebra. De esta manera se podrá concluir que tanto, el efecto “expertise reversal” (evaluación constante) y el efecto “worked examples” (asignación de tipos de problemas) puede influir en mejorar la habilidad cognitiva de los alumnos, y más aún que tanto puede ayudar en este proceso, el manejar gamificación y el uso de las interfaces tangibles.

Aunque cabe mencionar que la parte de la evaluación también se puede complementar con el manejo del pizarrón gamificado que se describe en el módulo de autoría, mediante el cual se puede visualizar los avances de los alumnos, de tal manera que el docente puede ir alimentando al modelo de los mapas cognitivos difusos, mediante el módulo de ejecución.



Figura 2. Descripción de la herramienta semi-automatizada, especificando los módulos automatizados y los módulos no automatizados.

Fuente: Elaboración propia.

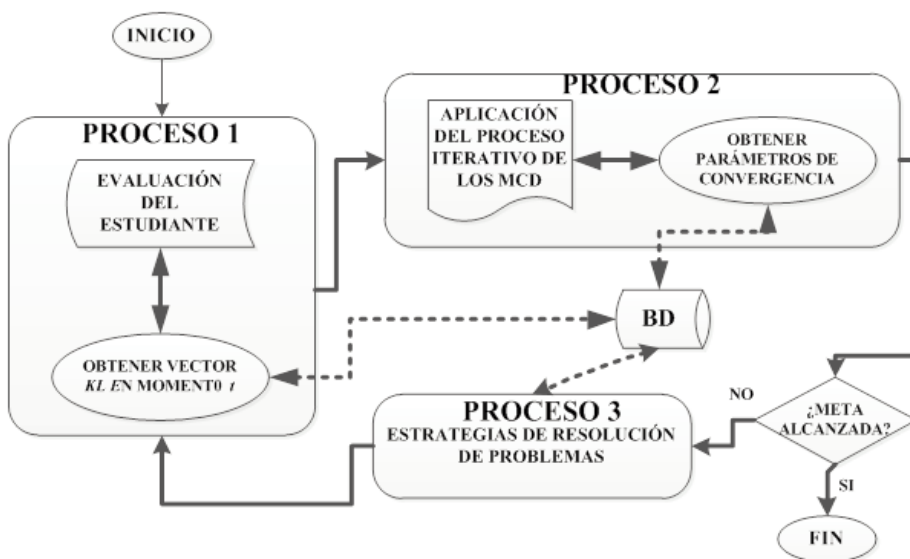


Figura 3. Proceso iterativo para los módulos del modelo del dominio y del tutor. Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Módulo del Modelo del estudiante

Dentro del módulo del modelo del estudiante, la parte de la detección de estilos de aprendizaje, solo se está contemplando de manera muy sencilla, mediante la aplicación de un cuestionario, sin embargo, es un proceso que se piensa mejorar a futuro. En lo que respecta a la detección de la habilidad cognitiva, se implementó un modelo de inferencia difusa, asociado al modelo descrito en la sección 2.4.4, mediante el cual se puede clasificar el nivel cognitivo de los alumnos en uno de 5 niveles, excelente, bueno, medio, pasable y fallido.

4.1.2. Módulos del modelo del dominio y del modelo tutor

Los módulos del dominio y del tutor, contienen actividades relacionadas, ya que del módulo del modelo del dominio se debe definir el modelo que ayude a simular la toma de decisiones, como lo haría un experto en la

enseñanza del álgebra, y dentro del módulo del tutor se debe almacenar la información relacionada con las actividades pedagógicas para la enseñanza del tema, por lo que en ambos módulos, es necesario considerar los temas del álgebra que van a ser enseñados, así como la información de los expertos. Por lo tanto, inicialmente se definieron los temas de álgebra sobre los cuales se trabajaría, para lo cual se consultó el temario oficial de la materia de álgebra para nivel bachillerato, propuesto por la Secretaría de Educación Pública (SEP), la cual es el organismo que legisla todo lo relacionado con la educación en México. El temario completo consta de 17 temas, sin embargo, en la fase inicial solo se está trabajando con los 5 primeros temas, en base a los cuales se propuso un modelo basado en Mapas Cognitivos Difusos, que nos permite simular la relación o dependencia entre cada uno de los temas, e iterando el modelo matemático, asociado al mapa cognitivo difuso, se puede encontrar un vector de convergencia que nos permite hacer predicciones del comportamiento de la habilidad cognitiva de los alumnos, y de esta manera poder determinar las estrategias, y métodos de resolución de problemas que se debe aplicar con cada alumno, para ayudar a que mejore su habilidad cognitiva. Como se definió en la sección 2.5.1, a cada mapa cognitivo difuso se le asocia una matriz, mediante la cual se va a generar el vector de convergencia. Los valores de dicha matriz se deben obtener a partir de la opinión de expertos en el área. Para la construcción del mapa se consideró la opinión de 18 docentes que han trabajado con la enseñanza del álgebra.

En la Figura 4 se muestra el mapa cognitivo asociado a los temas del álgebra, con los pesos obtenidos a partir de la opinión de expertos. En base a los resultados del análisis de los mapas cognitivos difusos, en el módulo tutor, se define las estrategias pedagógicas y los tipos de problemas que se le presentan al alumno, como estrategia didáctica, esto basado en material didáctico como el que se muestra en la Figura 5, el cual solo consiste de presentaciones con animaciones, que requiere del uso de una computadora solo por el docente y sin uso de internet.

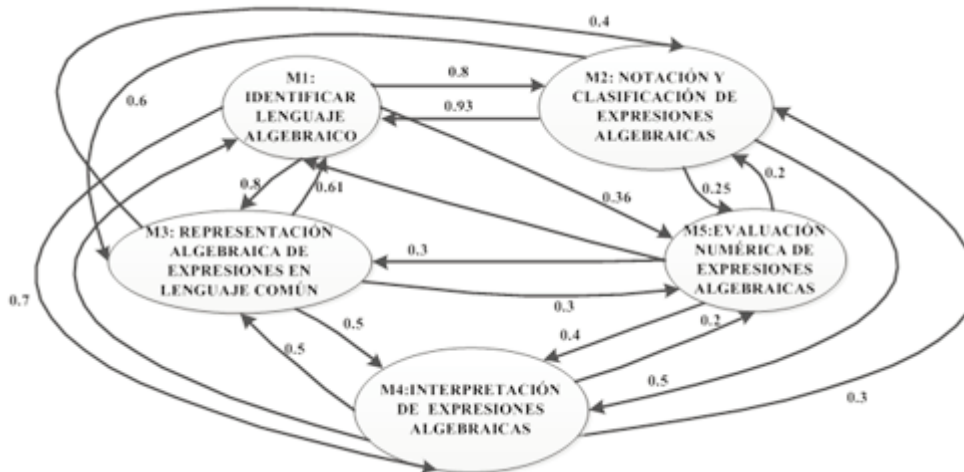


Figura 4. Mapa Cognitivo difuso para los primeros 5 temas de un curso de álgebra. Fuente: Elaboración propia.

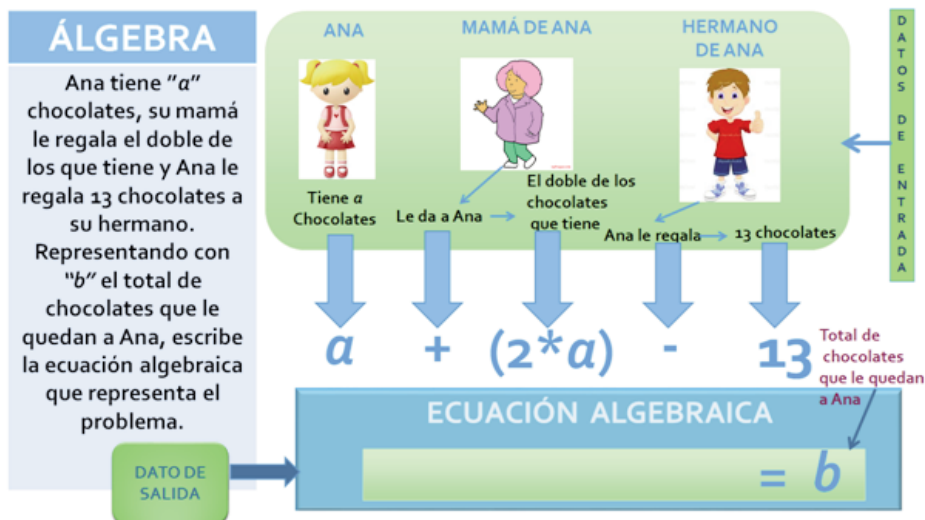


Figura 5. Material didáctico animado para la enseñanza de la resolución de problemas de álgebra. Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Módulo de autoría

En este módulo, es donde se definieron las estrategias para la aplicación de la gamificación. De manera general, las estrategias que se están manejando son:

- **Uso de insignias.** Debido a las limitantes mencionadas anteriormente, se optó por trabajar también con un pizarrón gamificado diseñado de manera manual con material sintético, en el cual se pueden colocar las insignias con broches metálicos. Cada alumno diseñó sus propias insignias (9 en total, 3 blancas, 3 amarillas y 3 rojas). El objetivo de las insignias es representar de manera visual y accesible a los alumnos, los avances que va logrando en cada uno de los retos. Las reglas para el manejo de insignias son: por cada actividad realizada correctamente, ya sea manual o mediante la herramienta semi-automatizada, se le otorga una insignia blanca, tres insignias blancas equivalen a una insignia amarilla, tres insignias amarillas, equivalen a una roja y tres insignias rojas equivalen a un premio, que puede ser reflejado en una calificación alta, o a subir de nivel. Así mismo, de dependiendo de la dificultad de las actividades realizadas, se puede optar por asignar más de una insignia blanca, o incluso una o más amarillas o una roja.
- **Retos.** El manejo de retos se hace a través de problemas con un alto grado de dificultad, por lo que si un alumno supera un reto puede ser acreedor a una insignia roja.
- **Puntos.** El control de los puntos se lleva a través de las insignias.
- **Niveles.** Los niveles se pueden definir en términos de la dificultad de los problemas.

El objetivo de manejar el pizarrón gamificado, es probar que tanto, el hecho de que un alumno esté visualizando constantemente su avance, puede ayudarlo a incrementar su motivación intrínseca (la relacionada con los objetivos del aprendizaje).

Como complemento a los módulos del tutor, del dominio y del estudiante, y aunque dentro de las partes automatizadas de la herramienta semi-automatizada también se puede llevar un registro de los avances de cada alumno, el objetivo es que el alumno visualice perfectamente sus avances, por lo que se puede optar por llevar el control de los avances tanto de forma automatizada como en el tablero gamificado.

4.1.4. Módulo de visualización

El módulo de visualización es el que se está trabajando con las interfaces tangibles, aunque también se complementa con algunas interfaces virtuales (Figura 6). Esencialmente, por el momento se está trabajando con juegos como el memorama y crucigramas. Para la herramienta semi-automatizada que se está usando

dentro del salón de clases, los juegos son los que se están implementando con interfaces tangibles, de tal manera que la herramienta almacenada en la tarjeta digital sea la que se encargue de evaluar al alumno, a través del desempeño en cada uno de los juegos. Por ejemplo, uno de los juegos del memorama, consiste en asociar problemas con sus respectivas expresiones algebraicas, por lo que mediante etiquetas RFID (Radio Frequency Identification, por sus siglas en inglés), se envía la información a la tarjeta electrónica, para que el programa detecte si las parejas seleccionadas por el alumno son correctas. La idea de implementar estos juegos, surge, a partir de la necesidad de tener algo que permitiera evaluar de manera automática los avances del alumno, ya que, como se mencionó anteriormente, el proceso de estar evaluando constantemente, no es nada sencillo.

Por otra parte, mediante el manejo de crucigramas, se están diseñando las rúbricas relacionadas con el modelo 3UV, para la resolución de los problemas, sin embargo, aún se está trabajando con la automatización de la evaluación de los crucigramas, ya que se requiere de manejar más señales de las etiquetas RFID, lo cual complica un poco más el control con la herramienta.



Figura 6. El juego de memorama para el tema del nodo M3, implementado con interfaces virtuales. Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Módulo de Ejecución y Administración

La administración, ejecución y control de toda la información y de todos los procesos, se lleva cabo mediante el programa implementado en lenguaje “c” y almacenado en la tarjeta electrónica. Por el momento, en la primera versión del prototipo, la interacción se realiza a través de una pequeña pantalla de LCD y un teclado de 4 x 4, sin embargo, se está analizando la posibilidad de manejar una pequeña pantalla táctil, aunque esto incrementaría un poco el costo de la herramienta. Cabe mencionar, que para las partes en las que se requiere visualizar más información, como es el caso de los cuestionarios de los estilos de aprendizaje, se realiza mediante tarjetas impresas, sin embargo, se ha detectado que no es tan agradable para los alumnos.

Como se mencionó anteriormente, como apoyo se puede utilizar una plataforma o página web, en la que también se valla actualizando o sincronizando toda la información que se tenga de manera manual, pero solo a manera de respaldo, ya que los principales logros que se deben evaluar son los que el alumno realice dentro del salón de clases, para evitar sesgos en la información, debido a que como lo interesante de los experimentos es determinar la relación que existe entre las dos características que mencionan los dos efectos de la TCC, la evaluación constante, con los tipos de problemas que se le presentan al alumno.

5. Resultados Preliminares

Para la parte de la validación del uso de la herramienta, se puede aplicar un enfoque de investigación mixta, ya que, para los resultados de la implementación de los modelos difusos, podemos aplicar un análisis cuantitativo, y para medir la eficiencia del uso de la herramienta podemos aplicar un análisis cualitativo.

Al momento solo se tienen algunos resultados relacionados con el manejo de juegos manuales y material didáctico interactivo como actividades complementarias al curso oficial que los alumnos están cursando, sin embargo, debido a las actividades de los alumnos, solo se puede trabajar una hora a la semana con alumnos de una institución pública, por lo que aún no se ha podido trabajar con la herramienta semi-automatizada, pero es una tarea que se pretende realizar lo más pronto posible. Por tal motivo, los resultados que se presentan solo son resultados previos que nos han ayudado a identificar algunas de las áreas de deficiencia en la comprensión de problemas de álgebra. Por ejemplo, se aplicó un examen diagnóstico a 57 alumnos, basado en el modelo 3UV y se detectó que la mayoría de las deficiencias en el manejo de problemas de álgebra, están relacionadas con el manejo de problemas que tienen que ver con el uso de la variable como incógnita y como número general, como lo muestran la Figura 7 y la Figura 8. En la figura 7, la diferencia entre los resultados no es muy clara, por lo que se complementó el análisis con la gráfica mostrada en la figura 8, la cual no proporciona más información del comportamiento de los resultados, ya que la gráfica de la figura 6 nos indica que aunque en algunos alumnos los resultados de los problemas que tienen que ver con el uso de la variable como incógnita son muy bajos, son más los alumnos que obtuvieron un resultado bajo en los problemas que tienen que ver con el uso de la variable como número general, como lo muestra la gráfica de la figura 8. En conclusión, ambos usos de la variable son difíciles para los alumnos, lo cual es un dato preocupante ya que el uso de la variable como incógnita es fundamental para la comprensión del álgebra. Este resultado fue determinante para definir los tipos de problemas a los que se debía dar más énfasis e importancia en el material didáctico.

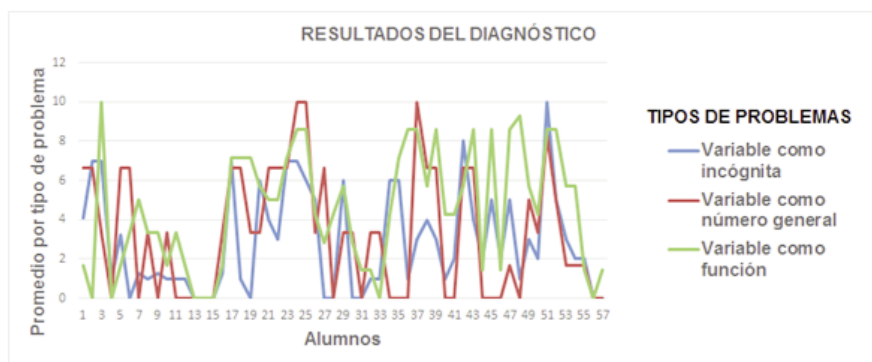


Figura 7. Valores obtenidos por tipos de problemas de acuerdo al modelo 3UV por cada uno de los 57 alumnos, en el diagnóstico.

Fuente: Elaboración propia.

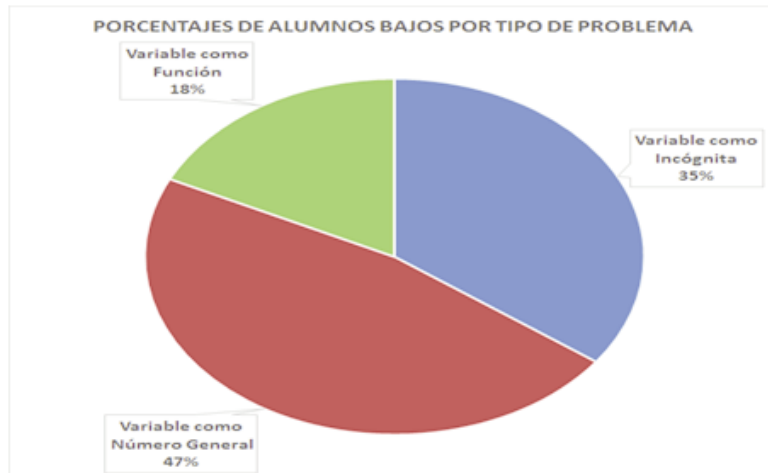


Figura 8. Análisis de los porcentajes de alumnos que obtuvieron los valores más bajos en cada tipo de problema en el grupo de 57 alumnos del primer pilotaje. Fuente: Elaboración propia.

Otro análisis que se aplicó consistió en determinar la eficiencia del uso de juegos manuales y material interactivo para la resolución de problemas de álgebra, mediante la impartición de un taller a 19 alumnos de la institución de nivel medio superior con la que estamos trabajando, para lo cual se aplicó un experimento con prueba de hipótesis con pre test y post test. Las hipótesis que se definieron fueron:

- H0: No existen cambios en el antes y el después del taller con juegos y material animado.
 H1: Si hay diferencias entre el antes y el después del taller con juegos y material animado.

Para este análisis estadístico se consideró un intervalo de confianza del 95%, por lo tanto el nivel de significancia es: $\alpha = 0.05$

El resultado del valor de significancia para las muestras emparejadas se muestra en la Tabla 2 en la que podemos ver que se cumple:

$$\text{Significancia} = 0.000 < \alpha = 0.05$$

Por lo tanto, se puede concluir que se rechaza H0, es decir, se acepta H1: Si hay diferencias entre el antes y el después del taller con el manejo de juegos y material interactivo, ya que como se muestra en la Tabla 3 si hay una diferencia de medias en el pre test y el pos test y esa diferencia si es significativa.

Significancia		α
0.000	<	0.05

Tabla 2. Resultado del valor de significancia para la prueba de hipótesis. Fuente: Elaboración propia.

	MEDIA
Promedio Pre Tests	0.1184
Promedio Post Test	0.5586

Tabla 3. Valores de la media para los promedios obtenidos en el pre test y en el post test. Fuente: Elaboración propia.

Por último, con respecto a los mapas cognitivos difusos, el avance que se tiene es un análisis preliminar de

los resultados que se obtienen aplicar el modelo de convergencia, que fue implementado en un programa de Matlab versión 2009, para el mapa cognitivo difuso de la Figura 4, con los parámetros proporcionados por los expertos, los cuales se describen en la matriz de la Figura 9. Así mismo los resultados de los vectores de convergencia se muestran en la Figura 10, los cuales nos muestran el comportamiento que podría tener un alumno al ir incrementando su desempeño en la resolución de problemas, de acuerdo a cada uno de los valores mostrados en la tabla. Por ejemplo, para los datos mostrados en la Figura 10, se consideró que el alumno tiene ya un dominio del 100% del tema del nodo M1, y que para los temas de los nodos M2, M4, y M5, inicialmente solo tiene un manejo del 10% y el tema del nodo M3 tiene un dominio del 60%, estos son los valores que en este ejemplo se consideran como el vector inicial (primera fila de los datos de la figura 10). Y en base a las iteraciones mostradas, si el docente implementa estrategias que ayuden a alcanzar los valores del renglón 2, y después los del renglón 3, y así sucesivamente, entonces en 9 etapas podría alcanzar a comprender y dominar problemas relacionados con el tema del nodo 3 y posteriormente lograr la comprensión del 100% de los temas restantes. En este ejemplo los valores iniciales se tomaron de manera aleatoria, pero para la simulación real, los valores se deben ir obteniendo de las diferentes evaluaciones, como se muestra en la Figura 3.

MATRIZ DE VALORES DEL MCD 1					
	1	2	3	4	5
1	0	0.76	0.81	0.72	0.3667
2	0.93	0	0.59	0.46	0.2556
3	0.61	0.36	0	0.53	0.3111
4	0.55	0.29	0.51	0	0.1833
5	0.31	0.24	0.28	0.41	0

Figura 9. Matriz con los valores asociados al Mapa Cognitivo Difuso de la figura 4. Fuente: Elaboración propia.

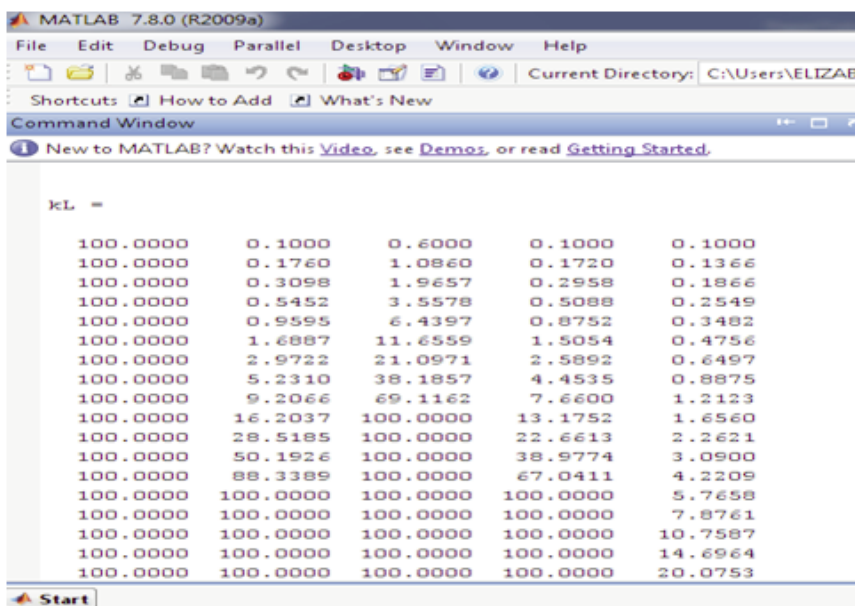


Figura 10. Resultados del proceso iterativo para el MCD de la figura 4. Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones y trabajos futuros

Los resultados obtenidos al momento, han sido adecuados para las fases iniciales del prototipo, sin embargo, es muy importante poder probar la eficiencia tanto del manejo de las interfaces tangibles con la herramienta semi-automatizada, el uso de las estrategias de gamificación y lo más importante, la eficiencia de los mapas cognitivos difusos al combinarlos con los diferentes tipos de ejemplos basados en el efecto “worked

ejemplos”, y con las estrategias de evaluación que se utilicen.

Al momento se tiene la programación de los modelos difusos en Matlab, por lo que también un trabajo futuro es implementarlo en lenguaje “c”, para que pueda también ser bajado a la tarjeta electrónica y ejecutado desde la herramienta semi-automatizada, ya como un tutor cognitivo completo.

Cómo citar este artículo / How to cite this paper

Pedroza, B. E.; González, J. M.; Guerrero, J.; Collazos, C. A.; Lecona, A. A. (2018). Propuesta de un Tutor Cognitivo semi-automatizado con gamificación e interfaces tangibles para álgebra. *Campus Virtuales*, 7(1), 63-80. (www.revistacampusvirtuales.es)

Referencias

- Álvarez, I.; Gómez-Chacón, I. M.; Ursini, S. (2015). Understanding the Algebraic Variable: Comparative Study of Mexican and Spanish Students, 11(6), 1507-1529. DOI: <http://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1409a>
- Biggs, J. (1996). Mejoramiento de la enseñanza mediante la alineación constructiva, 1-9.
- Chen, O.; Kalyuga, S.; Sweller, J. (2015). The worked example effect, the generation effect and element interactivity. *Journal of Educational Psychology*, 107(3), 689-704. DOI: <http://doi.org/10.1037/edu0000018>
- Chrysafiadi, K.; Virvou, M. (2013). A knowledge representation approach using fuzzy cognitive maps for better navigation support in an adaptive learning system. *SpringerPlus*, 2(1), 81. DOI: <http://doi.org/10.1186/2193-1801-2-81>
- Cuendet, S.; Dehler-Zufferey, J.; Ortoleva, G.; Dillenbourg, P. (2015). An integrated way of using a tangible user interface in a classroom. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 10(2), 183-208. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11412-015-9213-3>
- Etchegaray Centeno, M. C.; Guzmán Franco, M. D.; Duarte Hueros, A. M. (2017). Diseño de un recurso multimedia on line basado en Inteligencias Múltiples Design of an online multimedia resource based on Multiple Intelligences. *Campus Virtuales*, 6(1), 51-65.
- Faghihi, U.; Brautigam, A.; Jorgenson, K.; Martin, D.; Brown, A.; Measures, E.; Maldonado-Bouchard, S. (2014). How gamification applies for educational purpose specially with college algebra. *Procedia Computer Science*, 41, 182-187. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.procs.2014.11.102>
- Fazel Zarandi, M. H.; Khademian, M.; Minaei-bidgoli, B.; Türkşen, I. B. (2012). A Fuzzy Expert System Architecture for Intelligent Tutoring Systems : A Cognitive Mapping Approach. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 4(February), 29-40. DOI: <http://doi.org/10.4236/jilsa.2012.41003>
- Feldman, J.; Monteserin, A.; Amandi, A. (2014). Automatic detection of learning styles: state of the art. *Artificial Intelligence Review*, (May 2014), 157-186. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10462-014-9422-6>
- Franck Dernoncourt (2013). Introduction to fuzzy logic control. *Essentials of Fuzzy Modeling and Control*, (January), 109-153. DOI: <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- García-H., H.; Reyes-García, C. A.; Morales-G., R. (2004). On the design and implementation of Fuzzy Cognitive Maps for Intelligent Tutoring Systems The Tolman 's Learning Theory.
- González, C.; Mora, A.; Toledo, P. (2014). Gamification in intelligent tutoring systems. *Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality - TEEM '14* (pp. 221-225). DOI: <http://doi.org/10.1145/2669711.2669903>
- Guerrero, G.; Ayala, A.; Mateu, J.; Casades, L.; Alamán, X. (2016). Integrating Virtual Worlds with Tangible User Interfaces for Teaching Mathematics: A Pilot Study. *Sensors*, 16(11), 1775. DOI: <http://doi.org/10.3390/s16111775>
- Ishii, H. (2008). The tangible user interface and its evolution. *Communications of the ACM*, 51(6), 32. DOI: <http://doi.org/10.1145/1349026.1349034>
- Kalyuga, S. (2006). Assessment of learners' organised knowledge structures in adaptive learning environments. *Applied Cognitive Psychology*, 20(3), 333-342. DOI: <http://doi.org/10.1002/acp.1249>
- Kalyuga, S.; Ayres, P.; Chandler, P.; Sweller, J. (2003). The Expertise Reversal Effect. *Educational Psychologist*, 38(1), 23-31. DOI: http://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_4
- Kalyuga, S.; Chandler, P.; Tuovinen, J.; Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 93(3), 579-588. DOI: <http://doi.org/10.1037/0022-0663.93.3.579>
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0020-7373\(86\)80040-2](http://doi.org/10.1016/S0020-7373(86)80040-2)
- Matsuda, N.; Cohen, W. W.; Koedinger, K. R. (2015). Teaching the teacher: Tutoring simstudent leads to more effective cognitive tutor authoring. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 25(1), 1-34. DOI: <http://doi.org/10.1007/s40593-014-0020-1>
- Millis, K.; Forsyth, C.; Wallace, P.; Graesser, A. C.; Timmins, G. (2016). The Impact of Game-Like Features on Learning from an Intelligent Tutoring System. *Technology, Knowledge and Learning*, 22(1), 1-22. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10758-016-9289-5>

- Muñoz, G.; Collazos, C.; González, C. (2016). Propuesta para la gamificación de actividades educativas colaborativas en CSCM. *Revista Campus Virtuales*, 5(2), 1-12.
- OCDE (2016). Programa para la evaluación internacional de alumnos (PISA) PISA 2015 - Resultados. MÉXICO. (<https://www.oecd.org/pisa/PISA-2015-Mexico-ESP.pdf>)
- Paas, F.; Ayres, P. (2014). Cognitive Load Theory: A Broader View on the Role of Memory in Learning and Education. *Educational Psychology Review*, 26(2), 191-195. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10648-014-9263-5>
- Papageorgiou, E. I.; Salmeron, J. L. (2013). A review of fuzzy cognitive maps research during the last decade. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 21(1), 66-79. DOI: <http://doi.org/10.1109/TFUZZ.2012.2201727>
- Parsopoulos, K. E.; Papageorgiou, E. I.; Groumpos, P. P.; Vrahatis, M. N. (2003). A first study of fuzzy cognitive maps learning using particle swarm optimization. *IEEE Congress on Evolutionary Computation* (pp. 1440-1447).
- Pedroza-Méndez, B. E.; González-Calleros, J. M.; Juárez-Ruiz, E. L. (2016). Un modelo difuso para determinar el nivel cognitivo, usando la taxonomía de Bloom (pp. 2-5).
- Pedroza-Méndez, B. E.; González-Calleros, J. M.; Guerrero-García, J.; Collazos, C. A.; Ramírez-Cruz, J. F. (2017). Attach me and Detach me: An Interactive Device to Help to Teach Algebra. *Scientia et Cognition*, 239-245.
- Reed, S. K.; Corbett, A.; Hoffman, B.; Wagner, A.; MacLaren, B. (2013). Effect of worked examples and Cognitive Tutor training on constructing equations. *Instructional Science*, 41(1), 1-24. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11251-012-9205-x>
- Rey, G. D.; Andreas, F. (2013). The expertise reversal effect concerning instructional explanations. *Instructional Science*, 41(4), 635-656. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11251-012-9247-0>
- Rongmei, Z.; Lingling, L. (2009). Research on Internet Intelligent Tutoring System Based on MAS and CBR. *2009 International Forum on Information Technology and Applications* (pp. 681-684). DOI: <http://doi.org/10.1109/IFITA.2009.511>
- Salas, R.; Alfaro, M. (2017). Inclusión de estilos de aprendizaje como estrategia didáctica aplicada en un AVA, 6, 67-75.
- Salden, R. J. C. M.; Alevon, V.; Schwonke, R.; Renkl, A. (2010a). The expertise reversal effect and worked examples in tutored problem solving. *Instructional Science*, 38(3), 289-307. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11251-009-9107-8>
- Salden, R. J. C. M.; Koedinger, K. R.; Renkl, A.; Alevon, V.; McLaren, B. M. (2010b). Accounting for Beneficial Effects of Worked Examples in Tutored Problem Solving. *Educational Psychology Review*, 22(4), 379-392. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10648-010-9143-6>
- Salmeron, J. L. (2009). Augmented fuzzy cognitive maps for modelling LMS critical success factors. *Knowledge-Based Systems*, 22(4), 275-278. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.knsys.2009.01.002>
- Seaborn, K.; Fels, D. I. (2014). Gamification in theory and action: A survey. *International Journal of Human Computer Studies*, 74, 14-31. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2014.09.006>
- Sweta, S.; Lal, K. (2017). Personalized Adaptive Learner Model in E-Learning System Using FCM and Fuzzy Inference System. *International Journal of Fuzzy Systems*. DOI: <http://doi.org/10.1007/s40815-017-0309-y>
- Ursini, S.; Escareño, F.; Montes, D.; Trigueros, M. (2008). Enseñanza del álgebra elemental. Una propuesta alternativa.
- Yung, H.; Paas, F. (2015). Effects of computer-based visual representation on mathematics learning and cognitive load. *Educational Technology & Society*, 18(4), 70-77.
- Zatarain-Cabada, R.; Barrón-Estrada, M. L.; Angulo, V. P.; García, A. J.; García, C. A. R. (2010). A framework for creating, training, and testing self-organizing maps for recognizing learning styles. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6249 LNCS, 53-64. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-642-14533-9_6
- Zouhair, A.; En-Naimi, E. M.; Amami, B.; Boukachour, H.; Person, P.; Bertelle, C. (2012). Intelligent tutoring systems founded on the multi-agent incremental dynamic case based reasoning. *CiSt 2012 - Proceedings: 2012 Colloquium in Information Science and Technology*, 74-79. DOI: <http://doi.org/10.1109/CIST.2012.6388066>

