

Implementación de Redes Neuronales Artificiales en un Sistema Tutorial Inteligente orientado al aprendizaje del álgebra

David Montoya Pérez¹
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
david_montoya82131@elpoli.edu.co

Sandra P. Mateus Santiago²
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
spmateus@elpoli.edu.co

Cómo citar este artículo: Montoya Pérez, D. y Mateus Santiago, S. (2018). Implementación de Redes Neuronales Artificiales en un Sistema Tutorial Inteligente orientado al aprendizaje del álgebra. *Revista Virtu@lmente*, 6(1), 73-87.

Fecha de recepción: 23 de febrero de 2018
Fecha de aprobación: 30 de marzo de 2018

¹ Ingeniero informático del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2417-4254>.

² Ingeniera de Sistemas de la Universidad del Magdalena. Magister y Doctora en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6478-0905>.

RESUMEN

Este artículo plantea el desarrollo de un Sistema Tutorial Inteligente (STI), para acompañar el proceso de aprendizaje del Álgebra por medio de una técnica de Inteligencia Artificial (IA). Para el desarrollo del sistema, se usó la siguiente metodología: se realizó una caracterización de los tópicos del álgebra; luego, se diseñaron los módulos de «Dominio, Interfaz», «Gamificación» y «Estudiante» del Sistema Tutorial Inteligente, para la construcción de un prototipo de STI; posteriormente, se seleccionó una técnica de IA para el diseño del módulo tutor.

La novedad de este prototipo consiste en su capacidad de adaptación al conocimiento del estudiante, por medio de una Red Neuronal Artificial, permitiéndole responder ante las necesidades de aprendizaje que se presenten, haciendo uso del conocimiento del estudiante respecto a los distintos tópicos del álgebra, información que se obtiene a través de un historial generado a través del uso del sistema, lo que favorece la selección de la actividad más pertinente para cada estudiante.

Palabras clave: álgebra; Inteligencia Artificial (IA); Red Neuronal Artificial (RNA); Sistema Tutor Inteligente (STI); gamificación.

Implementation of artificial neural networks in an intelligent tutorial system oriented to the learning of algebra

ABSTRACT

This article proposes the development of an Intelligent Tutoring System (ITS) to accompany the learning process of Algebra, by means of an Artificial Intelligence (AI) technique. In order to develop the system, the following methodology was used: first, a characterization of the topics of Algebra was carried out; then, the «Domain, Interface», «Gamification» and «Student» modules of the Intelligent Tutoring System were designed for the construction of an ITS prototype; subsequently, an AI technique was selected for the design of the tutor module.

The novelty of this prototype consists of its ability to adapt to the student's knowledge through an Artificial Neural Network, allowing it to respond to the learning needs that may arise, making use of the student's knowledge regarding the different topics in algebra, information that is obtained at the hand of a record that is generated through the use of the system, which favors the selection of the most relevant activity for each student.

Keywords: algebra; Artificial Intelligence (AI); Artificial Neural Network (ANN); Intelligent Tutoring System (ITS); gamification.

Mise en oeuvre de réseaux de neurones artificiels dans un système de tutoriel intelligent orienté vers l'apprentissage de l'algèbre

RÉSUMÉ

Cet article propose le développement d'un système de didacticiel intelligent (STI) destiné à accompagner le processus d'apprentissage de l'algèbre au moyen d'une technique d'intelligence artificielle (IA).

La méthodologie suivante a été utilisée pour le développement du système : caractérisation des thèmes de l'algèbre ; conception des différents modules –Domaine – Interface – Gamification – Étudiant– du système de tutoriel intelligent pour la construction d'un prototype STI ; sélection d'une technique d'intelligence artificielle pour la conception du module tuteur.

La nouveauté de ce prototype réside dans sa capacité d'adaptation aux connaissances de l'étudiant grâce à un réseau de neurones artificiels lui permettant de répondre aux besoins d'apprentissage requis en exploitant un historique généré par l'utilisation du système favorisant la sélection de l'activité la plus pertinente pour chaque étudiant.

Mots clefs: algèbre; intelligence artificielle (IA); réseau de neurones artificiels (ARN); système de tuteur intelligent (STI); gamification.

Implementação de redes neuronais artificiais num sistema tutorial inteligente orientado à aprendizagem de álgebra

RESUMO

Este artigo propõe o desenvolvimento de um Sistema Tutorial Inteligente (STI), para acompanhar o processo de aprendizagem de Álgebra por meio de uma técnica de Inteligência Artificial (IA). Para o desenvolvimento do sistema, usou-se a seguinte metodologia: realizou-se uma caracterização dos tópicos da Álgebra. Depois, desenharam-se os módulos de «Domínio, Interface», «Gamificación» e «Estudiante» do Sistema Tutorial Inteligente, para a construção de um protótipo de STI. Posteriormente, seleccionou-se uma técnica de IA para o desenho do módulo tutor.

A novidade deste protótipo consiste em sua capacidade de adaptação ao conhecimento do estudante, por meio de uma Rede Neuronal Artificial, permitindo-lhe responder ante as necessidades de aprendizagem que se apresentem, fazendo uso do conhecimento do estudante no relacionado aos diferentes tópicos de Álgebra, informação que se obtém através de um historial gerado através do uso do sistema, o que favorece a seleção da atividade mais apropriada para cada estudante.

Palavras-chave: algebra; Inteligência Artificial (IA); Rede Neuronal Artificial (RNA); Sistema Tutor Inteligente (STI); gamificação.

1. Introducción

La principal función del Sistema Tutorial Inteligente (STI), es proporcionar instrucciones inmediatas y personalizadas o retroalimentando a los estudiantes, usualmente, sin la participación de un profesor humano, mediante un modelo cognitivo creado por Inteligencia Artificial (IA) (Samy, 2016). Este modelo cognitivo, aplicado a una Red Neuronal Artificial (RNA), permite al STI adaptarse a las necesidades del estudiante y brindarle actividades personalizadas. Por otra parte, el Ministerio de Educación de Colombia, en los resultados de las pruebas PISA 2015, indica que Colombia está en el puesto 62 de 72 en el campo de las matemáticas, con dificultades relacionadas en los temas de álgebra. En este sentido, existen numerosos estudios centrados en el desarrollo de los STI orientados a las matemáticas, tales como los expuestos por González, Mora y Toledo (2014) y Zatarain, Barrón y García (2016), donde se ha descrito el rendimiento positivo de los estudiantes en esta área. Así mismo, en el campo del álgebra, Fancsali et al. (2016), Nour y Samy (2017) y Faghihi et al. (2014), han desarrollado múltiples sistemas donde se evidencia la mejoría en el rendimiento académico, aunque con un bajo nivel de uso del sistema, dado lo poco entretenido. Adicionalmente, constantemente se evidencian dificultades en el aprendizaje del álgebra (Wang, 2015; Esquinas, 2008; Badia et al., 2013) las cuales no se toman como base para el desarrollo de los STI expuestos anteriormente.

Con base en lo anterior, el STI tiene la capacidad para identificar las dificultades de aprendizaje y solucionarlas, sin embargo, no es suficiente, debido a que los estudiantes buscan un ambiente didáctico y divertido (Marín, 2015).

Para conseguir esto, es necesario incluir el concepto de gamificación, que consiste en la utilización de mecánicas basadas en juegos, estética y pensamientos lúdicos para fidelizar a las personas, motivar acciones, promover el aprendizaje y resolver problemas (Teixes, 2014). En este sentido, se han diseñado múltiples STI con un quinto módulo, el de gamificación, logrando fidelizar a los estudiantes, para que el resultado de la acción educativa sea efectiva (Zatarain et al., 2016). Es por lo anterior, que se propone el desarrollo de un prototipo de un Sistema Tutorial Inteligente, el cual incite al estudiante a hacer uso de este, mediante la implementación de técnicas de gamificación, con el fin de brindar un asesoramiento personalizado en distintos tópicos del álgebra.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2, se caracterizaron los distintos tópicos en el aprendizaje del álgebra; de la sección 3, se habla del diseño de los módulos de «dominio», «interfaz», «gamificación» y «estudiante»; en la sección 4, se plantea la selección de la técnica de Inteligencia Artificial (IA) para el diseño del módulo tutor; luego, en la sección 5, la validación y finalmente, las conclusiones.

2. Caracterización de los tópicos para el aprendizaje del álgebra

Para enseñar álgebra, no basta solo con solucionar actividades y brindar guías, es necesario también, identificar lo que dificulta a los estudiantes el aprendizaje de esta área.

En este sentido, Esquinas (2018), indica que existe un problema de perspectiva de incluir símbolos en lugar de números, resaltando la necesidad de interiorizar este cambio. Por otro lado, Badia et al. (2013), identifican tres ámbitos en las dificultades de aprendizaje del álgebra: las propiedades aritméticas, la búsqueda de patrones, la simbolización y la modelización. Así mismo, Jupri y Drijvers (2016), clasifican las dificultades de los estudiantes, en 5 categorías: a) las operaciones y sus propiedades; b) distinguir un símbolo como representante de diferentes números; c) obtener una expresión en lugar de un número como respuesta y tener un límite de simplificar; d) el símbolo igual; y e) la matematización.

En la Tabla 1, se puede visualizar la relación de los autores mencionados anteriormente y su inclinación por ciertas dificultades en el aprendizaje del álgebra.

Tabla 1. Caracterización de las dificultades en el aprendizaje del álgebra.

Dificultades	Autores		
	Esquinas (2018)	Badia et al (2013)	Jupri y Drijvers (2016)
Aritmética		x	x
Propiedades		x	x
Símbolo Igual			x
Generalización	x	x	x
Ecuaciones			x
Patrones	x	x	
Modelización	x		
Matematización			x
Simplificación			x
Álgebra		x	

Fuente. Elaboración propia.

Con base en lo anterior, se distinguieron las siguientes dificultades como los tópicos del álgebra a trabajar: la aritmética, las propiedades, la generalización, las ecuaciones, los patrones, la modelización, la simplificación y el álgebra.

Para el desarrollo del prototipo del STI, se eligió la metodología de siete fases para gamificar un sistema de Morschheuser et al. (2017), por tener semejanza con el ciclo de vida del software. En este sentido y con base en la caracterización de las dificultades, se desarrollaron las primeras tres fases, mientras que el diseño de los módulos del STI, se realizó en la cuarta fase, la cual es tratada en las siguientes secciones.

3. Diseño de los módulos de estudiante, dominio, interfaz y gamificación

En esta sección, se presenta el diseño de cada uno de los módulos mencionados, y el cómo interactúan entre todos para formar un STI.

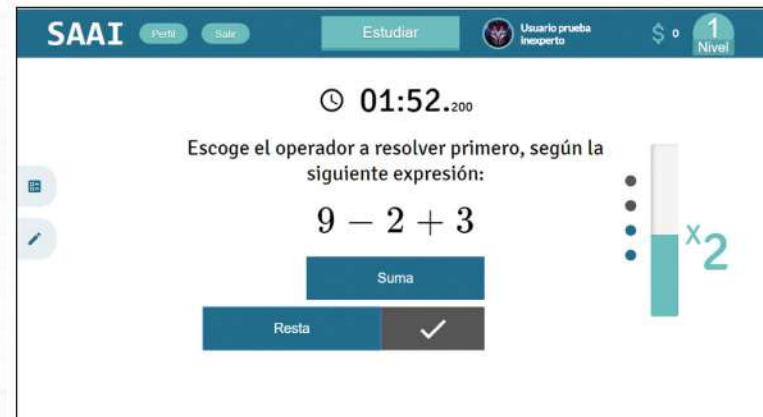
3.1 Módulo de dominio

Este módulo, permite al STI comparar las acciones que realiza el estudiante, con las que realiza el sistema, con el objetivo de evaluar lo que conoce o no el estudiante. En este módulo, se definió la ruta de aprendizaje, es decir, la secuencia de tópicos que llevan a la superación de las dificultades para aprender álgebra. Dicha secuencia comienza por el tópico de aritmética, seguido por propiedades, generalización, ecuaciones, patrones, modelización, simplificación y por último, el tópico de álgebra; de igual manera, las actividades a estos temas son los identificados en la etapa de ideación de la metodología de las siete fases. Este módulo está compuesto por tres sub-módulos: el primero está encargado de brindar el material teórico respecto a uno de los tópicos del álgebra; el segundo, trae los ejemplos según la necesidad del estudiante; y el último, se encarga de obtener las actividades, las cuales están divididas por tópicos, que, a su vez, están clasificadas por tipos de reto, donde cada uno de estos tiene un rango de dificultad.

3.2 Módulo de interfaz

Este componente, siempre estará interactuando con el módulo de estudiante y de tutor, por medio de eventos, que disparan un plan específico para guiar al usuario. La vista estará compuesta de tres interfaces: el login, que sirve para la seguridad del sistema; el perfil, encargado de visualizar la información relevante del estudiante, como su progreso, historial e información personal; y por último, la vista de la actividad, que es el sitio principal, donde se carga la actividad a desarrollar, según indique el módulo tutor (Figura 1). La página tiene dos pestañas a su izquierda donde se puede visualizar el contenido del tópico –la teoría– y ejemplos del mismo.

Figura. 1. Ejemplo de la interfaz de reto

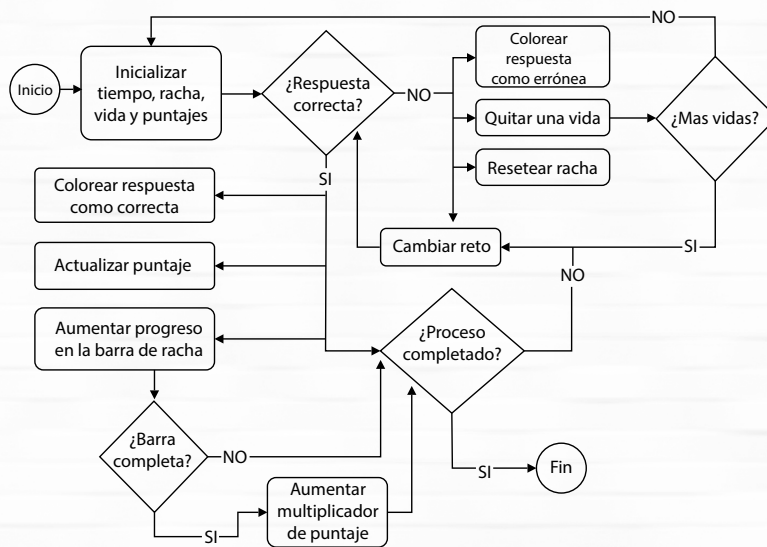


Fuente. Elaboración propia.

3.3 Módulo de gamificación

En el momento en que el estudiante interactúa con la interfaz para la solución de las actividades, es necesario mantener un ambiente motivante y divertido. Para lograrlo, se definieron tres características: las mecánicas, las cuales son de desafío, debido a que las actividades implican un esfuerzo personal para resolverlas; la dinámica, que es progresiva, puesto que tiene en cuenta la evolución y el crecimiento del estudiante; por último, la estética, esta se manifiesta por medio de componentes de la gamificación, basados en los siguientes elementos: logros, iconos, regalos, puntos, racha, tiempo y vidas. Así mismo, durante la solución de una actividad, el estudiante recibirá diferentes estímulos dependiendo de su progreso y siguiendo el flujo que se describe a continuación:

Figura. 2. Diagrama de flujo del módulo de gamificación



Fuente. Elaboración propia.

3.4 Módulo de estudiante

Su composición se da por dos sub-módulos: uno que contiene toda la información personal y académica del estudiante; mientras que el otro, representa el conocimiento. En el momento en el que se resuelve una actividad, cada respuesta dispara un plan que tiene como objetivo, guardar toda la información que se percibe en el instante.

4. Selección de la técnica de inteligencia artificial para el diseño del módulo tutor

El módulo tutor tiene como objetivo consultar constantemente el estado cognitivo del estudiante a través del módulo de estudiante. Dependiendo del perfil, el tutor elige el reto que mejor se ajuste a los conocimientos, teniendo en cuenta el proceso de transición de la aritmética al álgebra.

Al consultar el módulo de estudiante, se obtiene un historial del progreso que se lleva desde la creación del perfil; de este modo, el tutor aprende cuáles son las necesidades actuales del estudiante, para posteriormente, indicarle al módulo de dominio cuál es el tipo de reto que debe resolver. En esta selección, una técnica de IA ayuda a un diagnóstico más adecuado. En este sentido, Sánchez, Cabrera y Martínez (2015), realizaron un resumen de diferentes técnicas de IA usadas en los STI y los autores que las implementaron (ver Tabla 2).

Tabla 2. Síntesis de las técnicas de ia usadas en sistemas tutoriales inteligentes

Lógica difusa	Peña, C., Marzo, J., de la Rosa, J., Fabregat, R;
Razonamiento basado en casos	Peña, C., Marzo, J., de la Rosa, J., Fabregat, R; D. Ovalle y J. Jiménez,
Agentes inteligentes	Cataldi, Z., Salgueiro, F., Costa, G., Calvo, P., Méndez, P., Rendón, J., Lage, F;
Red neuronal artificial	Salgueiro, F., Cataldi, Z., Lage, F., García-Martínez, R; Arnau, D., Arevalillo-Herráez, M., Puig, L., González-Calero, J; Sanchez, R., Bartel, Ch., Brown, E., DeRosier, M; Oulhaci, M. A., Tranvouez, E., Espinasse, B., Fournier, S; Zhiping, L., Tianwei, X., Yu, S; R. Cabada, M. Barrón y J.M. J. Olivares
Redes bayesianas	Cataldi, Z., Salgueiro, F., Lage, F., García-Martínez, Ramón;
Lingüística difusa	Badaracco, M., Martínez, L; Azoulay-Schwartz, R., Hani, Z;
Representación del conocimiento	Arevalillo-Herráez, M., Arnau, D., Marco-Giménez, L;
Lingüística computacional	Xuechen, He; Ferreira, A., Kotz, G;
Procesamiento del lenguaje natural	Latham, A., Crockett, K., McLean, D; Gorrostieta, J., González, S., López, A; Jackson, T., Graesser, A;
Visión artificial	Sathyayanarayana, S., Littlewort, G., Bartlett, M; Qui-rong, Chen;

Fuente. Sanchez *et al.*, 2015.

En la Tabla 2, se puede apreciar que la Red Neuronal Artificial (RNA) es la más usada en los STI, debido a que implica una unidad de procesamiento que permite el aprendizaje continuo del tutor, para posteriormente, desarrollar un modelo cognitivo de un estudiante en particular, concediéndole la habilidad de crear un plan de aprendizaje personalizado.

Por otro lado, los autores exponen que una RNA está compuesta de tres capas: la primera, la capa de entrada, que contiene los patrones que se perciben del entorno; la segunda, la capa oculta, que tiene como objetivo hacer uso de funciones de activación para corregir sus errores y así aprender; y la tercera, la capa de salida, la cual representa la respuesta que ofrece la red, respecto a las capas anteriores.

La configuración para la RNA del módulo tutor, tiene como parámetros para la capa de entrada, la información que se guarda en la tabla de conocimiento del estudiante. En cuanto

a la capa de salida, la red debe indicar tres parámetros del reto a escoger: el tópic, el tipo de reto y la dificultad. Sin embargo, para diseñar la red se debe tener en cuenta, la manera en la que ésta aprende.

Existen tres tipos de aprendizaje en una RNA, que Asensio y Martínez (s.f) definen de la siguiente manera: supervisado, dispone de patrones de entrada y salida; no supervisado, solo dispone de datos de entrada y deja que la red clasifique la información; y por último, el aprendizaje híbrido, donde solo se tienen los patrones de entrada y se le indica a la red, si la respuesta que ofrece, es correcta o no.

En este sentido, Mateus (2015), realizó una caracterización de diferentes tipos de RNA según su tipo de aprendizaje (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de las RNA por tipo de aprendizaje

RNA	Tipo de aprendizaje
Perceptrón	Supervisado
MLP (Multi Level Perceptron)	Supervisado
SOM (Self-Organizing Maps)	No supervisado
LVQ (Learning Vector Quantization)	No supervisado
Hopfield	No supervisado
RBF (Radial Basis Function)	Híbrido

Fuente. Mateus, 2015.

Con base en los parámetros mencionados anteriormente en la configuración, se clasificó la RNA del módulo tutor como aprendizaje supervisado, debido a que se dispone de una matriz de entrenamiento, compuesta por unos parámetros de entrada y de salida. En donde la entrada es el conocimiento y está representada por la Ecuación 1.

$$c_{ijk} = \frac{A_{ijk}}{I_{ijk}} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

- i: Tópico del Álgebra, $i = 1..8$
- j: Tipo de reto, depende del tópico
- k: Dificultad, depende del tópico
- C: Porcentaje de conocimiento
- A: Aciertos
- I: Intentos

La variación de los tipos de reto y el nivel de dificultad, está basado fundamentalmente en los tipos de tópico, dado que algunos son más difíciles que otros y requieren de mayor abstracción, lo que dificulta la implementación.

Por otro lado, los parámetros de salida, indican el reto a realizar por el estudiante, dependiendo del conocimiento y el flujo de aprendizaje en la transición de la aritmética al álgebra —definido en el diseño del módulo dominio—. Por ejemplo: si el estudiante se encuentra en el tópico de propiedades —segundo en el flujo de aprendizaje—, no puede pasar al tópico de ecuaciones —cuarto en el flujo—; deberá continuar con el tópico de generalización —tercero en el flujo—.

Teniendo en cuenta el tipo de aprendizaje y la caracterización realizada por Mateus (2015), se clasifica la RNA del módulo tutor como MLP (*Multi Level Perceptron*), la cual se traduce como Perceptrón Multicapa, que como su nombre lo indica, está compuesto de dos o más capas, donde cada capa contiene una o más neuronas. Cada neurona tiene un umbral y un peso, además, está conectada con otra neurona, a lo que se le conoce como sinapsis. Por cada sinapsis, se tiene asignado un peso, el cual se usa para calcular las salidas.

El diseño de la RNA, se planteó con base en la cantidad de niveles de dificultad, clasificados según el tipo de reto, en relación a un tópico, por lo que se tienen 66 entradas; mientras que para la salida, la red debe indicar cuál es el siguiente reto a resolver, por lo que debe indicar el tópico, el tipo de reto y el nivel de dificultad, dando un total de tres salidas; en cuanto a la capa oculta, se propuso un total de diez neuronas, siendo entonces, una configuración 66-10-3 —66 neuronas de entrada, 10 ocultas y 3 de salida— .

Para el cálculo de las salidas de cada neurona, se hizo uso del algoritmo de *Back Propagation*, la cual está definida por la Ecuación 2.

$$a_i^k = \left(u_i^k + \sum_{j=1}^{n_{k-1}} a_{j,i}^{(k-1)} \right) \quad (2)$$

Donde:

$n_{(capa)}$: Cantidad de neuronas en una capa.

$a_{(neurona)}^{(capa)}$: Salida de una neurona en una capa.

$u_{(neurona)}^{(capa)}$: Umbral de una neurona en una capa,

$w_{(neurona\ inicial,\ neurona\ final)}^{(capa\ de\ donde\ sale\ la\ conexión)}$: Peso de la sinapsis comprendida entre una neurona de una capa, con una neurona de la siguiente capa.

f : Es la función de activación, en este caso, la función de la sigmoide, la cual está definida en la Ecuación 3.

$$y = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

Donde:

x : Es el resultado arrojado por el algoritmo de *Back Propagation*

y : Es el resultado de la función sigmoide, la cual solo arroja valores entre 0 y 1.

La función sigmoide, es usada para hallar el nuevo valor de un peso en el descenso de gradiente, definido en la Ecuación 4.

$$x_{nuevo} = x_{anterior} - y' \quad (4)$$

Donde:

$x_{(neurona)}$: Valor del peso

y' : Derivada de la función sigmoide

En cuanto al aprendizaje de la RNA, es necesario minimizar el error de una salida, respecto a un peso o umbral, por lo que se hace uso de derivadas parciales. El valor mínimo de los pesos en la capa oculta, está definido por la Ecuación 5.

$$\frac{\partial Error}{\partial w_{j,i}^2} = a_j^2 \cdot (y_i - s_i) \cdot y_i \cdot (1 - y_i) \quad (5)$$

Donde:

$S_{(neurona)}$: Salida esperada de una neurona de salida.

$y_{(neurona)}$: Salida generada por una neurona de salida.

Los pesos de la capa de entrada, están definidos por la Ecuación 6.

$$\frac{\partial Error}{\partial u_{j,k}^1} = a_j^1 \cdot a_k^2 \cdot (1 - a_k^2) \cdot \sum_{i=1}^{n_3} (w_{k,i}^2 \cdot (y_i - s_i) \cdot y_i \cdot (1 - y_i)) \quad (6)$$

Los umbrales de la capa de salida, siguen la estructura de la Ecuación 7.

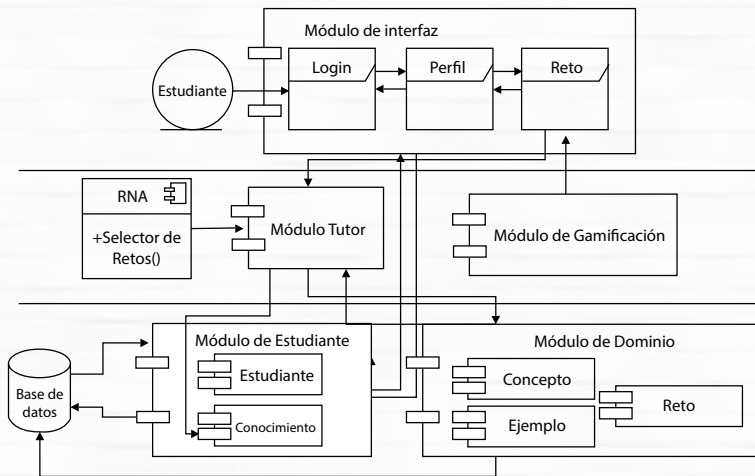
$$\frac{\partial Error}{\partial u_j^3} = (y_i - s_i) \cdot y_i \cdot (1 - y_i) \quad (7)$$

Los umbrales de la capa oculta, están definidos por la Ecuación 8.

$$\frac{\partial Error}{\partial u_k^2} = a_k^2 \cdot (1 - a_k^2) \cdot \sum_{i=1}^{n_3} (w_{k,i}^3 \cdot (y_i - s_i) \cdot y_i \cdot (1 - y_i)) \quad (8)$$

El módulo tutor se diseñó con base a la caracterización de una técnica de inteligencia artificial, donde se eligió el uso de una Red Neuronal Artificial. Teniendo en cuenta el tipo de aprendizaje de la red, el cual se definió como aprendizaje supervisado y con base a la clasificación expuesta por Mateus (2015), se clasificó a la red como un Perceptrón Multi Capa con una configuración 66-10-3. Posteriormente, se planteó el modelo matemático a usar para el aprendizaje de la red. Teniendo planteado el módulo tutor y diseñado los demás módulos, la arquitectura del STI queda como se muestra en la Figura 3. Luego de realizar la implementación, se procedió a la validación, explicada en la siguiente sección.

Figura 3. Arquitectura del Sistema Tutorial Inteligente

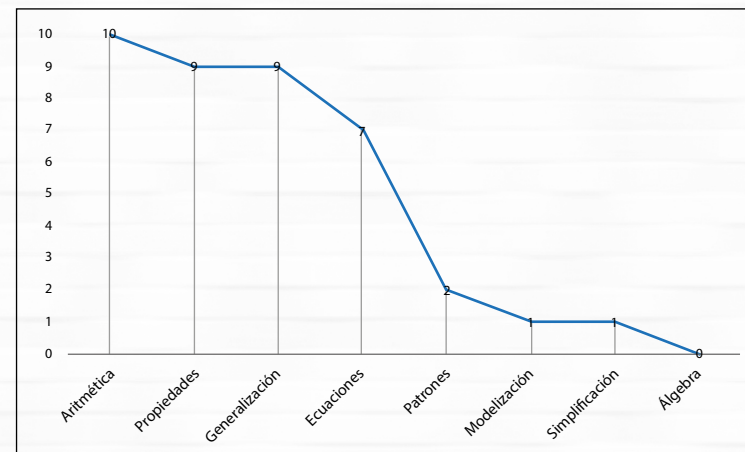


Fuente. Elaboración propia.

5. Validación

Siguiendo la metodología de gamificación, la sexta fase corresponde a la validación del sistema, para la cual: primero se escogió un grupo control y un grupo piloto, para los cuales se seleccionaron estudiantes que estuvieran cursando temas de álgebra. Es por ello, que se seleccionaron 31 estudiantes del grado Octavo del Colegio Nazaret, institución educativa ubicada en Bello, Antioquia, Colombia. Con ayuda del profesor encargado de dictar la clase de matemáticas, se escogieron al azar 10 estudiantes, para conformar el grupo piloto; posteriormente, se invitó a los estudiantes del grupo piloto a hacer uso de la plataforma, para finalmente, hacer un examen acerca de los tópicos del álgebra a ambos grupos, y así medir el rendimiento académico generado, en donde se presentaron un uso del sistema como se ve en la Figura 4.

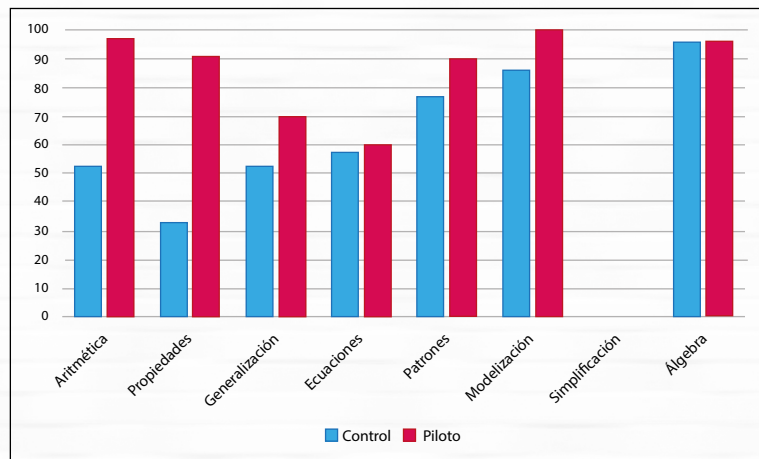
Figura 4. Cantidad de estudiantes que llegaron a un tópico en específico



Fuente. Elaboración propia.

Con base en el examen, se pudo evidenciar las dificultades en el álgebra, especialmente en el tópico de aritmética, donde la mayoría de los estudiantes no aplican la jerarquía de las operaciones; como también, con el tópico de propiedades, debido a que gran parte de los estudiantes no aplica las propiedades para resolver operaciones. Sin embargo, con los estudiantes que hicieron uso del STI, se evidenció una gran mejoría en los resultados del examen de validación (Figura 5). Adicionalmente, el grupo piloto demostró interés en hacer uso de la plataforma y calificaron al STI como divertido y entretenido, además de estar dispuestos a seguir haciendo uso del sistema.

Figura 5. Porcentaje de conocimiento de los estudiantes en el examen de validación



Fuente. Elaboración propia.

6. Conclusiones

Los Sistemas Tutoriales Inteligentes orientados al álgebra, no acostumbran a diseñarse con base en las dificultades de aprendizaje, lo que complica el flujo de aprendizaje de los estudiantes, además, usualmente no hacen uso de una metodología para gamificar el sistema, llevando al poco uso del STI por no ser motivante. Es por ello, que este proyecto presenta una novedad, puesto que su módulo de dominio está basado en los tópicos del álgebra identificados y hace uso de una metodología para gamificar el sistema.

Adicionalmente, la RNA implementada hace uso del conocimiento del estudiante respecto a los distintos tópicos del álgebra, para la selección de la actividad más pertinente. Dicho conocimiento, se consigue gracias al módulo estudiante, el cual, mediante el historial generado por haber hecho uso del sistema, calcula un porcentaje que simboliza el dominio del estudiante respecto a una dificultad del álgebra en específico.

Como trabajo futuro, se propone implementar agentes inteligentes, con la intención de mejorar la reacción del sistema con las necesidades del estudiante. Igualmente, perfeccionar la RNA para que pueda percibir más estímulos del ambiente, como lo es el tiempo y la frecuencia con la que se hace uso del sistema.

Referencias

- Asensio Galán, H. y Martínez Bowen, A., (Sin fecha)., Inteligencia artificial. *Redes neuronales y aplicaciones*. Universidad Carlos III de Madrid
- Badia, A. (Coord.). Badia, Garganté, Antoni, et al., (2013)., *Dificultades de aprendizaje de los contenidos curriculares*, Editorial UOC.
- Esquinas, A., (2008), *Dificultades de aprendizaje del lenguaje algebraico: del símbolo a la formalización algebraica: aplicación a la práctica docente*. Madrid. Universidad Complutense de Madrid.
- 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*, 5th Annual International Conference on Biologically Inspired Cognitive Architectures, Vol. 41, pp. 182–187.
- Fancsali, S., Ritter, S., Yudelson, M., Sandbothe, M., & Berman, S., (2016)., *Implementation Factors and Outcomes for Intelligent Tutoring Systems: A Case Study of Time and Efficiency with Cognitive Tutor Algebra, Human-Computer*. Interaction Institute. Carnegie Mellon University.
- González, C., Mora, A., y Toledo, P., (2014)., *Gamification in intelligent tutoring systems*. Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, pp. 221-225, ACM.
- Jupri, A., & Drijvers, P., (2016), Student Difficulties in Mathematizing Word Problems in Algebra, *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(9), 2481-2502.
- Marín, V., (2015), *La Gamificación educativa. Una alternativa para la enseñanza creativa*. Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Córdoba, España.
- Mateus Santiago, S.P., (2015)., *Modelo de un entorno virtual inteligente basado en la percepción y el razonamiento de sus elementos con un personaje para la generación de realismo*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión. Medellín, Colombia.
- Morschheuser, B., Werder, K., Hamari, J., & Abe, J., (2017), How to gamify? A method for designing gamification, Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences, Acta de la 50ª Hawaii International Conference on System Sciences.
- Nour, N., & Samy, S., (2017). Mathematics Intelligent Tutoring System. *International Journal of Advanced Scientific Research*, 2(1), 11-16.
- Samy, S., (2016)., An Intelligent Tutoring System Authoring Tool. Faculty of Engineering & Information Technology, Al-Azhar University. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 3(5): 63-71.
- Sánchez, I.I., Cabrera, J.M. y Martínez, J. E. (2015). Ayudas virtuales como apoyo al aprendizaje inclusivo en la ingeniería. *Revista Horizontes Pedagógicos* 17(2), 104-116.
- Teixes, F., (2014), *Gamificación: fundamentos y aplicaciones*. Editorial UOC.
- Wang, X., (2015), The Literature Review of Algebra Learning: Focusing on the Contributions to Students' Difficulties., *Creative Education*, 6, 144-153.
- Zatarain, R., Barrón, M., & García, J., (2016)., *Sistema tutor afectivo para el aprendizaje de las matemáticas usando técnicas de gamificación*, Instituto Tecnológico de Culiacán, Sinaloa, México.