

Propuesta de arquitectura de un sistema inteligente adaptativo para apoyo al aprendizaje de expresiones algebraicas

Brandon Azael Muciño-Santiesteban¹, María Antonieta Abud Figueroa¹,
Ulises Juárez-Martínez¹, Lisbeth Rodríguez Mazahua¹,
Mario Andrés Paredes-Valverde²

¹ Tecnológico Nacional de México,
Instituto Tecnológico de Orizaba,
División de Estudios de Posgrado e Investigación,
México

² Tecnológico Nacional de México,
Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán,
México

{M22010147, maria.af, ulises.jm}@orizaba.tecnm.mx,
lrodriguez@ito-depi.edu.mx, mario.pv@teziutlan.tecnm.mx

Resumen. En México el aprendizaje de la asignatura de matemáticas presenta varios problemas como el bajo interés de los alumnos en el tema aunado a la complejidad que representa. Una forma de abordar este problema es aprovechar los beneficios que el avance de la tecnología trae consigo y aplicar nuevos métodos de enseñanza con el objetivo de mejorar y agilizar los procesos de aprendizaje, siendo los sistemas tutores inteligentes adaptativos (STIA) una opción interesante. Un STIA ayuda a despertar el interés del estudiante optimizando su aprendizaje y permite al profesor identificar acciones que ayuden a mejorar el aprovechamiento de sus estudiantes. Por esta razón, en este artículo se propone una arquitectura base para el desarrollo de un sistema tutor inteligente adaptativo que apoye el aprendizaje de expresiones algebraicas para alumnos de primer año de secundaria.

Palabras Clave: Educación asistida por computadora, sistemas tutoriales inteligentes, sistema tutor adaptativo.

Proposed Architecture of an Adaptive Intelligent System to Support the Algebraic Expressions Learning

Abstract. In Mexico, the mathematics learning presents several problems such as the low interest of students in the subject combined with its complexity. One way to address this problem is to take advantage of the benefits that the advancement of technology brings and apply new teaching methods in order to improve and streamline the learning process, being the adaptive intelligent tutoring systems (AITS) an interesting option. An AITS helps to awaken the student's interest by optimizing their learning and allows the teacher to identify

actions that help to improve the achievement of their students. This paper proposes a base architecture for the development of an adaptive intelligent tutor system that supports the learning of algebraic expressions for first year of middle school students.

Keywords: Computer aided education, intelligent tutoring systems, adaptive tutoring system.

1. Introducción

En la actualidad en México el aprendizaje de las matemáticas se ve afectado por varios motivos, como lo son el bajo rendimiento académico y las aptitudes negativas que presentan los alumnos durante el aprendizaje de éstas.

Esto trae consigo dificultades para la comprensión de problemas matemáticos, así como inadecuadas estrategias para su solución.

Por otra parte, debido a los avances en las tecnologías de la información, las generaciones actuales de estudiantes presentan nuevas necesidades en su educación, por lo que se requiere de entornos de aprendizaje centrados en el usuario que garanticen que las aplicaciones les facilite una experiencia de aprendizaje positiva, siendo los sistemas de tutoría inteligente una opción interesante ya que imitan el estilo de enseñanza de un instructor brindando apoyo al estudiante durante su aprendizaje y evaluando la adquisición de conocimientos a lo largo del proceso educativo.

Estos sistemas de tutoría son importantes para apoyar al estudiante en su proceso de aprendizaje promoviendo su interés y motivación, ya que se adecúan a cada uno presentando contenidos de acuerdo a su grado de aprovechamiento, incrementando la motivación y el rendimiento académico.

En este trabajo se presenta la arquitectura para un sistema tutor inteligente adaptativo que sirva como una herramienta para el aprendizaje autónomo o como complemento a la escuela de estudiantes de primer año de secundaria en el aprendizaje básico de matemáticas, especialmente en el tema de expresiones algebraicas.

El sistema propuesto contempla los modelos básicos de los sistemas tutores inteligentes: modelo de dominio, de enseñanza y del estudiante, incorporando un método heurístico para la evaluación del aprendizaje.

El documento se organiza de la siguiente forma: la sección 2, estado del arte, presenta la revisión de trabajos relacionados con sistemas de tutoría inteligentes/educativos para fines educativos; en la sección 3 se presenta el diseño arquitectónico del software y sus componentes principales; en la sección 4 se establece la propuesta de solución; por último, se presentan las conclusiones y trabajo futuro.

2. Estado del arte

Diversos autores han realizado trabajos sobre el desarrollo de sistemas tutores inteligentes, en esta sección se presenta la revisión de los principales trabajos relacionados con sistemas de tutoría inteligente/adaptativos para fines educativos, con el objetivo de mostrar el impacto que estos lograron obtener con su implementación.

En [1], se presentó un sistema inteligente de tutoría para comprender la teoría de computación. Este sistema se basa en otros ITS (*Intelligent Tutoring System*) e implementa una arquitecta que se conforma de lo siguiente: "Modelo de estudiante", "Modelo de interfaz", "Modelo de dominio" y "Modelo pedagógico" el cual actúa como instructor virtual encargándose de evaluar el desempeño del alumno.

Con base en los resultados obtenidos por lección se estableció un porcentaje de aprendizaje (menor a 70%) que es utilizado para determinar si el alumno tiene que repasar todo lo visto durante la lección.

Rocha G. et al. [2] plantearon las posibilidades de mejora a la problemática del aprendizaje de las matemáticas y las negativas que se presentan a éstas con la ayuda del "Sistema Tutor Adaptativo" (STA) MyMathLab el cual tiene la posibilidad de configurar los temas y ejercicios que serán vistos por los alumnos.

Este sistema permite que los profesores visualicen el rendimiento de los estudiantes los cuales tienen la posibilidad de avanzar a su propio ritmo. Con base en las pruebas realizadas durante la investigación y el uso de la escala AMMEC (Aptitudes hacia las Matemáticas y hacia las Matemáticas Enseñadas por Computadora) se logró saber el cambio que tuvieron los alumnos con respecto a su aceptación hacia dicha área.

Shamara et al. [3] abordaron el problema de la dificultad de detectar la colaboración que presentan los alumnos al momento de trabajar en un entorno tecnológico, enfatizando que esto dificulta la evaluación de la colaboración de los estudiantes.

Para esto se propuso el uso de la causalidad de Granger, para analizar las relaciones causales, junto con el uso de un sistema tutor inteligente de fracciones, para el estudio de las relaciones entre los procesos cognitivos individuales y colaborativos que presentaban los estudiantes. Los resultados obtenidos indicaron que la correlación entre las distintas medidas como lo son mirada, individuales y colaborativas, pueden utilizarse en un sistema adaptativo.

En [4], se examinaron los elementos que conformaban a un Sistema Inteligente de Tutoría con el fin de que determinados artículos pudieran ser identificados en distintas bases de datos con la frase clave "Sistema Inteligente de Tutoría Adaptativa". Para esto se utilizaron métodos de meta síntesis.

Los resultados obtenidos de esa meta síntesis indicaron que los STI fueron diseñados principalmente para campos como la tecnología, matemáticas, entre otras ramas de la educación, así como que estos comparten cuatro módulos básicos que son: conocimiento, estudiante, enseñanza e interfaz de usuario.

Ramírez-Noriega A. et al. [5] mencionaron que la principal tarea que realiza un Sistema Inteligente de Tutoría es proporcionar el conocimiento necesario a los estudiantes. Para cumplir con este objetivo, el sistema tiene que presentar una correcta evaluación de los conocimientos aprendidos por los estudiantes.

En este sentido, los autores propusieron un módulo de evaluación basado en redes bayesianas, para que, con distintas pruebas, se determinara el conocimiento del estudiante. Los resultados obtenidos mostraron que la implementación de redes bayesianas aumentó la precisión de la evaluación de los conocimientos obtenidos.

En [6], se abordó que los Sistemas Inteligentes de Tutoría son una tecnología que va en aumento y junto con eso su efectividad y eficiencia también ha mejorado. Por esto presentaron un STI para que los estudiantes aprendieran los conceptos básicos de matemáticas, principalmente para resaltar la importancia que tiene sumar y restar.

Los resultados obtenidos demostraron que los estudiantes presentaron una mayor facilidad al momento de estudiar en el sistema, ya que el material y los ejercicios, así como los niveles de dificultad eran eficientes.

En [7], se estudiaron los resultados que se obtenían de la interacción con un sistema híbrido de tutoría inteligente el cual era la combinación de un sistema tutor convencional y el sistema de evaluación y aprendizaje en espacios de conocimiento ALEKS por sus siglas en inglés.

El sistema resultante contó con una arquitectura basada en servicios, además de la utilización de diálogos de tutoría para que los problemas de álgebra mostrados tuvieran una auto explicación para los alumnos. Como resultado se concluyó que el uso de distintos sistemas de tutoría adaptativos, forman en conjunto una mejora potencial para el aprendizaje.

En [8], tomaron la posición de que el aprendizaje adaptativo inteligente (AAI) es como un aprendizaje digital el cual introduce a los estudiantes a un aprendizaje modular donde cada decisión tomada es registrada y utilizada para dar una mejor experiencia de aprendizaje para el alumno.

Para esto se tomaron en cuenta características como los intereses del alumno y el tiempo que utiliza para resolver un problema. Se llegó a la conclusión de que el Aprendizaje Adaptativo Inteligente es una herramienta de diagnóstico, así como un recurso de aprendizaje muy valioso para los maestros, estudiantes y padres.

Fouki M. et al. [9] abordaron que las plataformas de e-learning cada día adquieren más popularidad en las instituciones educativas, como las universidades abiertas y a distancia y los institutos de investigación, sin embargo, estas plataformas presentan problemas que no se han resuelto, por ejemplo, el hecho de que los profesores a distancia tienen dificultades para identificar de una manera correcta a sus alumnos, así como identificar los comportamientos de éstos.

Por lo cual desarrollaron una estrategia de aprendizaje inteligente y adaptada basada en el sistema de recomendación para ayudar a los profesores a tener un trabajo más eficiente.

En [10], se abordó que los sistemas de aprendizaje adaptativo se distinguen de los tradicionales al ofrecer una experiencia de aprendizaje personalizada a los estudiantes de acuerdo con sus diferentes estados de conocimiento.

Para esto evaluaron la efectividad del sistema de aprendizaje adaptativo "Yixue Squirrel AI" (o Yixue) en el aprendizaje de inglés y matemáticas en la escuela secundaria.

Los resultados sugieren que los estudiantes lograron un mejor rendimiento utilizando el sistema de aprendizaje adaptativo Yixue en relación con otras plataformas de aprendizaje adaptativo, así como las clases impartidas por los profesores.

La Tabla 1 presenta la comparación de la información de cada uno de los artículos descritos anteriormente con el objetivo de observar las similitudes y diferencias que estos presentan.

Después de analizar los artículos citados, se identificaron las características que presentan los sistemas tutores inteligentes a través de tres modelos principales: el modelo de dominio, el de tutor y el del alumno.

Se encontró también que en todos los casos estos sistemas facilitan el aprendizaje de los alumnos y ayudan al docente a identificar áreas de mejora.

Tabla 1. Análisis comparativo de los artículos relacionados.

Art.	Problema	Contribución	Resultados
Al-Nakhal M [1]	La necesidad de un sistema de apoyo a la enseñanza de la teoría de la computación.	Desarrollo de un Sistema Inteligente de Tutoría para la enseñanza de la teoría de la computación.	Un sistema con un diseño simple, el cual dio como resultado que los estudiantes comprendieran de manera fácil las lecciones.
Rocha G. et al. [2]	El bajo rendimiento y aptitudes negativas en el aprendizaje de las matemáticas en estudiantes de universidad en México.	Demostró la efectividad que se logra obtener en el aprendizaje gracias al uso de un STIA.	Mayor desarrollo de competencias matemáticas en los alumnos. Mejora en la aptitud hacia el aprendizaje por computadora de las matemáticas.
Shamara et al. [3]	La necesidad de encontrar la relación causal entre los procesos cognitivos individuales y colaborativos.	Implementación de seguimiento ocular para la mejora en la comprensión del aprendizaje colaborativo apoyado por computadora.	Se descubrió que los patrones de mirada colaborativa impulsan el enfoque individual.
Erümit A. et al. [4]	Necesidad de definir los elementos de adaptación y los elementos del Sistema de Tutoría Inteligente (STI) utilizados en los Sistemas de Tutoría Inteligente Adaptativa (STIA).	Metasíntesis de los artículos identificados con la frase clave "sistema de tutoría inteligente adaptativa".	Se llegó a la conclusión de que los sistemas evaluados fueron diseñados para el uso efectivo de la tecnología en la provisión de entornos de aprendizaje atractivos y de calidad.
Ramírez-Noriega A. et al. [5]	Necesidad de medir el nivel de conocimiento de un estudiante al usar un STI.	Módulo de evaluación basado en red bayesiana.	El uso de red bayesiana proporciona mayor precisión de diagnóstico.
Abueloun N et al. [6]	Necesidad de herramientas que apoyen el aprendizaje de conceptos básicos de matemáticas.	Sistema Inteligente de Tutoría para ayudar a estudiantes en la comprensión de temas básicos de las matemáticas.	Mayor facilidad de estudio para alumnos. Mayor eficiencia en material y ejercicios para el aprendizaje.
Nye et al. [7]	Conocer el nivel de aprendizaje y las percepciones de los usuarios a partir del uso de un sistema híbrido de tutoría inteligente.	Se encontró que la asignación de condiciones experimentales y de control no muestran diferencias significativas en las ganancias de aprendizaje.	La integración de múltiples sistemas de tutoría adaptativa con estructuras complementarias muestra cierto potencial para mejorar el aprendizaje.
BreamBox Learning I [8]	La eficiencia del aprendizaje adaptativo inteligente, como tecnología para personalizar el aprendizaje de cada alumno.	Proporcionó un contexto en donde demostró el rol que desempeña el AAI en el aumento del rendimiento académico de los estudiantes.	Demostró el valor de los sistemas AAI deben ser tomados como una herramienta de diagnóstico, un recurso de aprendizaje y una fuente de datos valiosos para el maestro, el estudiante y los padres.
El Fouki M. et al. [9]	La dificultad que presentan los profesores a distancia para identificar las cualidades y aptitudes de sus alumnos al no verlos en persona.	Los resultados obtenidos servirán como medida para realizar correcciones en el proceso de aprendizaje de los estudiantes.	Muestra que el análisis profundo de los componentes principales y el aprendizaje por refuerzo podría aumentar el rendimiento de predicción de un algoritmo de red neuronal profunda.
Wei-Cui et al. [10]	Falta de una herramienta para evaluar la efectividad de un sistema de aprendizaje adaptativo. Evaluar la efectividad del sistema de aprendizaje adaptativo "Yixue Squirrel AI" en el aprendizaje de inglés y matemáticas en secundaria.	Demostraron la efectividad del programa en las materias de matemáticas e inglés.	Mayores ganancias de aprendizaje en las materias de inglés y matemáticas con Yixue en comparación con una clase en aula convencional.

Los trabajos revisados establecen la necesidad de utilizar un método de evaluación del aprendizaje, mismo que la arquitectura propuesta en este trabajo busca implementar a través de un método empírico de evaluación de aprendizaje basado en el seguimiento del conocimiento bayesiano (*BKT*, *Bayesian Knowledge Tracing*), el cual no ha sido

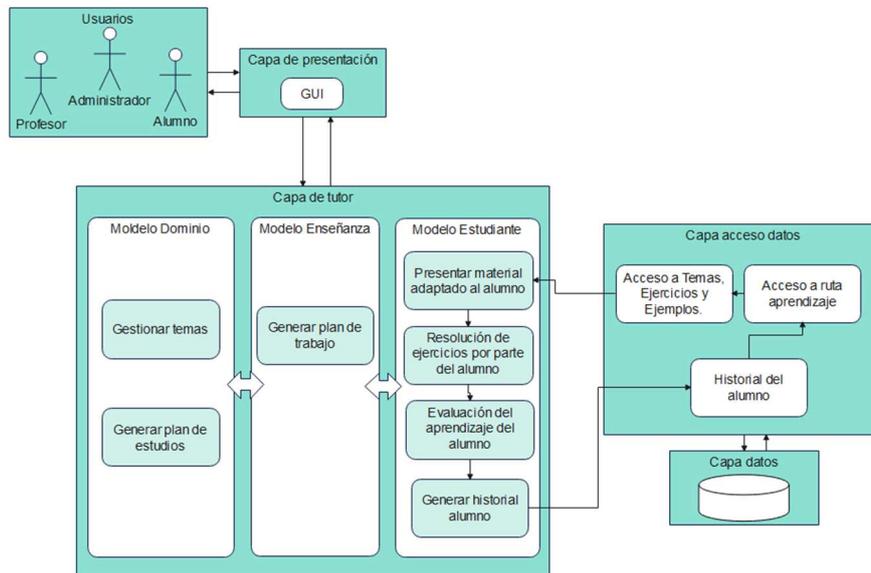


Fig. 1. Arquitectura del sistema inteligente adaptativo para el apoyo del aprendizaje de expresiones algebraicas.

reportado en los trabajos previos, lo que representa una de las principales contribuciones de este trabajo.

3. Arquitectura propuesta

En esta sección se presenta una propuesta de arquitectura para el desarrollo de un sistema inteligente adaptativo para el apoyo del aprendizaje de expresiones algebraicas. La arquitectura está diseñada en capas, las cuales contienen módulos que interactúan entre sí para el correcto funcionamiento del sistema.

La Figura 1 muestra un diagrama general de la arquitectura propuesta cuyos componentes son descritos a continuación.

Capa de presentación: la capa de presentación es la encargada de la interfaz gráfica de usuario donde se llevará a cabo la interacción con los diferentes tipos de usuario.

- El Administrador, que tiene la función de gestionar a profesores, alumnos y grupos.
- El Profesor, encargado de gestionar los temas, el plan de estudios y el plan de trabajo, así como la administración del historial de los alumnos.
- El Alumno, quien podrá visualizar los temas, los ejemplos y realizar los ejercicios para su posterior evaluación.

Capa de tutor: en esta capa se encuentran los modelos que conforman el sistema tutor adaptativo, los cuales controlan las distintas funciones de los usuarios. Estos modelos son:

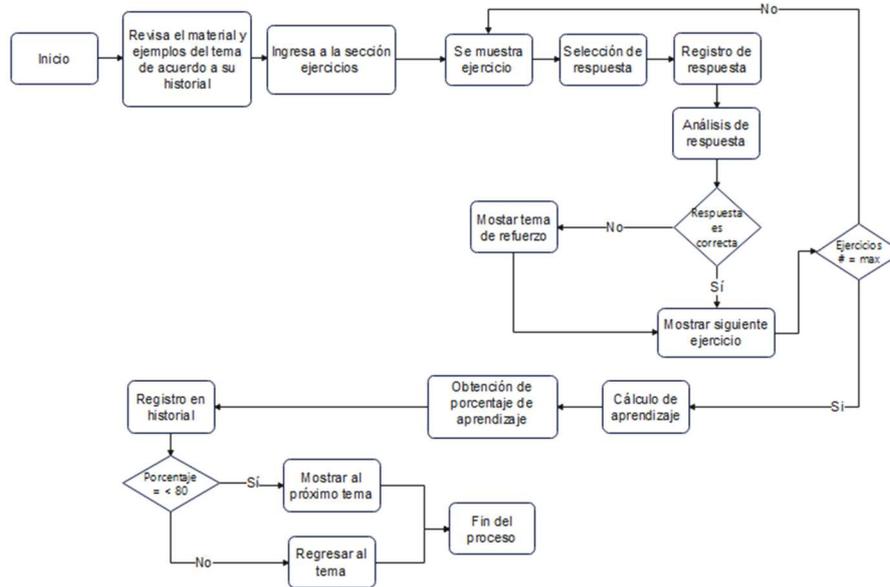


Fig. 2. Flujo de solución.

Modelo dominio: en este módulo se gestionará toda la información de los temas, en el cual el profesor ingresará el material didáctico que será presentado a los alumnos, y con este material generará el plan de trabajo programado para el aprendizaje de cada tema. Los temas considerados en aprendizaje de expresiones algebraicas de primer año de secundaria son: traducción de lenguaje común a lenguaje algebraico, identificación y representación de expresiones algebraicas, resolución de ecuaciones de la forma $ax + b = c$ y resolución de ecuaciones de la forma $ax + b = cx + d$.

Modelo enseñanza: este modelo contempla los ejemplos y ejercicios que de una manera secuencial se presentarán al estudiante para apoyarle con aprendizaje de los temas. El profesor es el encargado de la selección y definición del plan de trabajo, con el cual establecerá el cómo y cuándo se mostrará el material seleccionado a los alumnos. Se considerarán ejercicios con los cuales se pueda identificar los principales errores que se presentan en el manejo de expresiones algebraicas como son: términos erróneos para referirse a una variable o acción algebraica, identificación errónea de coeficientes y literales, aplicación incorrecta de las propiedades opuestas a suma, resta, multiplicación y división.

Modelo estudiante: en este modelo se lleva el control del avance del alumno a través de su historial, el cual servirá para controlar los temas que se han estudiado y aprobado, así como los que faltan por lograr. Basado en este modelo el sistema presenta al estudiante los temas, ejemplos y ejercicios adaptados a la necesidad de acuerdo al historial de ejercicios realizados, considerando el proceso de evaluación del aprendizaje descrito en el punto 4.

Capa acceso datos: Esta capa da acceso a la información de las distintas fuentes de datos (Ruta de aprendizaje, temas, ejercicios, ejemplos e historial del alumno).

Capa de datos: Representa los datos que dan servicio a las capas superiores.

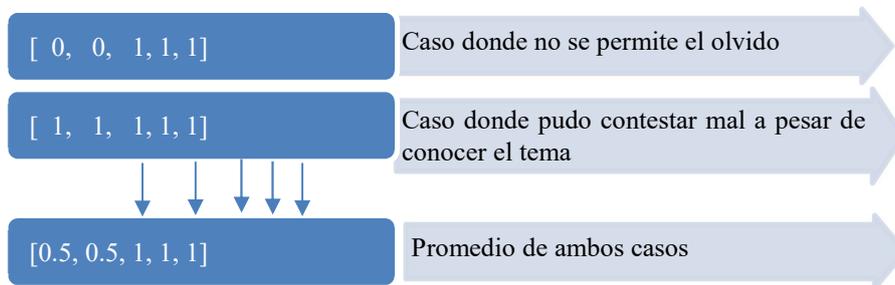


Fig. 3. Ejemplo de evaluación del aprendizaje.

4. Proceso de evaluación del aprendizaje

Una de las principales funciones del sistema propuesto es la adaptación del material que se presenta a los alumnos de acuerdo a los resultados obtenidos en su evaluación, por lo que en la Figura 2 se muestra el proceso propuesto para la evaluación del alumno y la adaptación de los materiales.

A continuación, se describe este proceso:

- 1) De acuerdo al nivel presentado en su historial del modelo del estudiante y al plan de trabajo del modelo de enseñanza, se mostrará al alumno el contenido del tema correspondiente y sus ejemplos.
- 2) Cuando el alumno considera que ya comprendió el tema, ingresará a la sección de ejercicios donde podrá realizar la actividad correspondiente a su avance de acuerdo a su historial.
- 3) El sistema seleccionará el ejercicio adecuado a su nivel de avance, descartando aquellos mostrados anteriormente.
- 4) De acuerdo a su respuesta el sistema verifica si ésta fue correcta o incorrecta.
- 5) Si la respuesta fue correcta pasa a seleccionar la siguiente pregunta (regresa al paso 3). Si fue incorrecta se mostrará material de refuerzo del tema y se presenta un nuevo ejercicio (regresa al paso 3).
- 6) Una vez alcanzado el número máximo de preguntas determinadas para el plan de trabajo del tema, se realiza el cálculo de aprendizaje utilizando el modelo de probabilidades empíricas basado en el seguimiento del conocimiento bayesiano (*BKT, Bayesian Knowledge Tracing*) propuesto en [11] el cual, de acuerdo a la secuencia de respuestas correctas e incorrectas, determina el nivel de conocimiento de un tema considerando que una respuesta correcta nunca puede ser seguida de una incorrecta (no se permite el olvido). En este modelo se considera que para un determinado tema $t \in T$, hay cuatro parámetros que representan probabilidades:
 - La probabilidad de que un estudiante domine el tema antes de intentar el primer problema asociado con t ;
 - La probabilidad de que un estudiante: que actualmente no domina el tema, lo domine después de la próxima oportunidad de práctica;

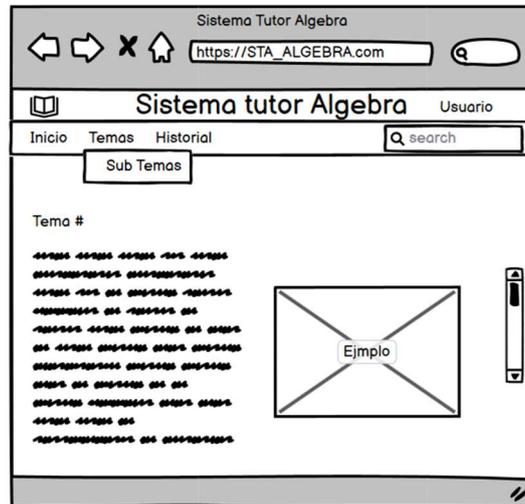


Fig. 4. Prototipo página temas/subtemas.

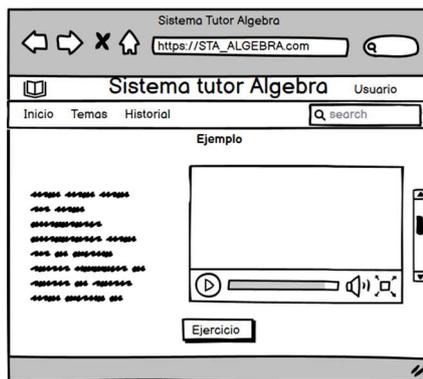


Fig. 5. Prototipo página ejercicios.

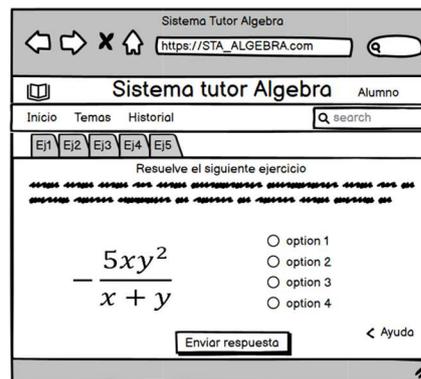


Fig. 6. Prototipo página ejercicios.

- La probabilidad de que un estudiante adivine la respuesta correcta a una pregunta a pesar de no conocer el tema (la adivina); y
- La probabilidad de que un estudiante responda incorrectamente a una pregunta a pesar de conocerlo (deslizamiento).

Por ejemplo, suponiendo que, de una secuencia de 5 preguntas, y tomando 1 como respuesta correcta y 0 como incorrecta, el estudiante tiene el siguiente resultado [1, 0, 1, 1, 1]. Considerando la heurística se tiene que los patrones que se ajustan son dos como se muestra en la Figura 3.

Tomando el promedio de ambos casos se tendrá un promedio de 80% de que el alumno tiene el conocimiento del tema.

La descripción completa de la heurística se encuentra en [11].

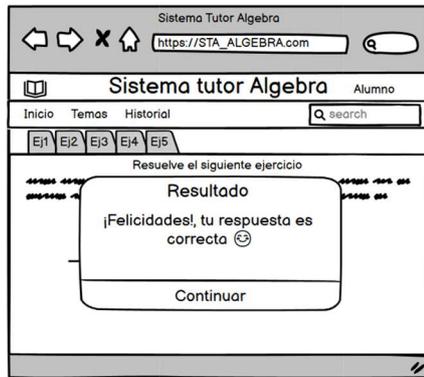


Fig. 7. Prototipo notificación resultado correcto.

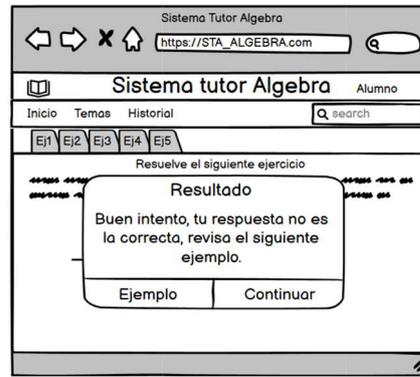


Fig. 8. Notificación resultado incorrecto.

- 7) Dependiendo del resultado, si el conocimiento resulta mayor o igual a 80 se considera que el alumno aprendió el tema y puede continuar con el siguiente, y en caso contrario se le redirige al inicio del tema actual para que revise nuevamente el material y ejemplos del mismo (regresa al paso 1).

A continuación, se presentan algunas de las interfaces gráficas de usuario más representativas del sistema. En primer lugar, la Figura 4 muestra la estructura de cómo se presentará la información a los alumnos, de la cual destaca el título del tema y una explicación de este.

En la Figura 5 se muestra la estructura que abarca la sección de ejemplos donde el estudiante visualizará un texto de explicación y una serie de pasos explicando cómo se resuelve.

En la Figura 6 se presenta la sección de ejercicios, la cual está conformada por el enunciado del ejercicio que realizará el estudiante, las opciones de respuesta del ejercicio (considerados reactivos de opción múltiple, falso-verdadero y respuesta directa) y un enlace a la ayuda en caso de que la necesite.

En la Figura 7 se presenta la notificación correspondiente a respuestas correctas donde se mostrará un mensaje de felicitación y la opción de continuar. Por su parte la Figura 8 presenta una notificación para una respuesta incorrecta en la cual se presenta la opción de visualizar un ejemplo del ejercicio realizado.

Estos primeros prototipos se presentarán a profesores de nivel secundaria para que los evalúen y propongan mejoras y ya sean desarrollados en una versión ejecutable del sistema.

5. Conclusiones y trabajo a futuro

La estructura que caracteriza a los sistemas tutores inteligentes contempla los modelos de dominio, enseñanza y estudiante como elementos necesarios para el aprendizaje de los estudiantes haciendo el proceso de aprendizaje más atractivo y eficiente, consiguiendo con esto apoyar en la obtención de mejores resultados académicos.

En este trabajo se presenta la propuesta arquitectónica para un sistema tutor inteligente adaptativo que sirva como una herramienta para mejorar el aprendizaje de matemáticas en estudiantes de nivel secundaria, estableciendo una estrategia de selección de contenidos de acuerdo a los resultados previos de cada estudiante de manera que se adapte a su nivel de conocimiento y ritmo personal de aprendizaje, generando recomendaciones, brindando retroalimentación y permitiendo al profesor identificar situaciones de mejora y la toma de acciones que ayuden a incrementar el rendimiento de cada estudiante.

La arquitectura presentada se empleará en el desarrollo del sistema que se implemente con estudiantes de nivel secundaria y que sirva de apoyo en la obtención de mejores resultados de aprendizaje de las matemáticas.

Como trabajo futuro se contempla:

1. Evaluar los prototipos de pantallas con al menos un profesor de matemáticas de primero de secundaria y realizar los ajustes necesarios.
2. Diseñar y codificar el sistema.
3. Validar el sistema con una población muestra en un grupo primero de secundaria.

Agradecimientos. Se agradece al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba por la oportunidad y apoyo otorgados para la realización de este trabajo. Este proyecto cuenta con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

Referencias

1. Al-Nakhal, M. A., Abu-Naser, S. S.: Adaptive intelligent tutoring system for learning computer theory. *European Academic Research*, vol. 4, no. 10 (2017)
2. Feregrino, G. R., López, J. A. J., Gómez, O. L. F., Méndez, G. R.: El rendimiento académico y las actitudes hacia las matemáticas con un sistema tutor adaptativo. *PNA, Revista de Investigación en Didáctica de la Matemática*, vol. 14, no. 4, pp. 271–294 (2020) doi: 10.30827/pna.v14i4.15202
3. Sharma, K., Olsen, J. K., Alevan, V., Rummel, N.: Measuring causality between collaborative and individual gaze metrics for collaborative problem-solving with intelligent tutoring systems. *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 37, no. 1, pp. 51–68 (2020) doi: 10.1111/jcal.12467
4. Erümit, A. K., Cetin, İ: Design framework of adaptive intelligent tutoring systems. *Education and Information Technologies*, vol. 25, no. 5, pp. 4477–4500 (2020) doi: 10.1007/s10639-020-10182-8
5. Ramírez-Noriega, A., Juárez-Ramírez, R., Martínez-Ramírez, Y.: Evaluation module based on bayesian networks to intelligent tutoring systems. *International Journal of Information Management*, vol. 37, no. 1, pp. 1488–1498 (2017) doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2016.05.007
6. AbuEloun, N., Abu-Naser, S.: Mathematics intelligent tutoring system. *International Journal of Advanced Scientific Research*, vol. 2, pp. 11-16 (2017)
7. Nye, B. D., Pavlik, P. I., Windsor, A., Olney, A. M., Hajeer, M., Hu, X.: Skope-it (shareable knowledge objects as portable intelligent tutors): Overlaying natural language tutoring on an

Brandon Azael Muciño-Santiesteban, María Antonieta Abud Figueroa, Ulises Juárez-Martínez, et al.

- adaptive learning system for mathematics. *International Journal of STEM Education*, vol. 5, no. 1 (2018) doi: 10.1186/s40594-018-0109-4
8. DreamBox learning: Intelligent adaptive learning: an essential element of 21st century teaching and learning (2014)
 9. Fouki, M. E., Akin, N., Kadiri, K. E. E.: Intelligent adapted e-learning system based on deep reinforcement learning. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Computing and Wireless Communication Systems* (2017) doi: 10.1145/3167486.3167574
 10. Cui, W., Xue, Z., Thai, K.: Performance comparison of an AI-based adaptive learning system in china. In: *Chinese Automation Congress*, pp. 3170–3175 (2018) doi: 10.1109/cac.2018.8623327
 11. Hawkins, W. J., Heffernan, N. T., Baker, R. S. J. D.: Learning bayesian knowledge tracing parameters with a knowledge heuristic and empirical probabilities. In: *Intelligent Tutoring Systems*, pp. 150–155 (2014) doi: 10.1007/978-3-319-07221-0_18