



FACULTAD DE INFORMATICA



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

Tutores inteligentes en la enseñanza: Una revisión y análisis en la educación secundaria

Lic. María Cecilia Pezzini

Director
Mg.Pablo Thomas

**Trabajo final integrador para obtener la especialización en
tecnología informática aplicada a la educación**

La Plata, Buenos Aires, Argentina
Agosto 2022.



Índice de contenidos

| | |
|--|-----------|
| Capítulo 1 | 3 |
| Presentación | 3 |
| 1.1 Introducción | 4 |
| 1.2 Motivación | 4 |
| 1.3 Objetivos | 7 |
| 1.3.1 Objetivo Generales | 7 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 7 |
| 1.4 Abordaje del trabajo de investigación | 8 |
| 1.5 Estructura del Trabajo. | 8 |
| Capítulo 2 | 9 |
| Conceptos Teóricos | 9 |
| 2.1 Introducción | 10 |
| 2.2 Concepto de agente informático | 10 |
| 2.3 Sistemas Tutores Inteligentes. | 11 |
| 2.4 Avances de los Sistemas Tutores Inteligentes en los últimos años. | 13 |
| Capítulo 3 | 15 |
| Selección de Sistemas Tutores Inteligentes | 15 |
| 3.1 Introducción | 16 |
| 3.2 Implicación de los Sistemas Tutores Inteligentes en las actividades educativas | 16 |
| 3.3 Estrategía para la búsqueda de los Sistemas Tutores Inteligentes | 17 |
| 3.4 Metodología para el análisis de los Sistemas Tutores Inteligentes | 21 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 3.4.1 | Descripciones generales. | 22 |
| 3.4.2 | Aspectos relacionados con el feedback del Sistema Tutor Inteligente. | 24 |
| 3.4.3 | Aspectos vinculados con lo Metodológico- educativo | 24 |
| 3.4.4 | Procesos de evaluación de los Sistemas Tutores Inteligentes. | 25 |
| 3.4.5 | Aspectos relacionados con el framework del Sistema Tutor Inteligente. | 25 |
| Capítulo 4 | | 27 |
| Análisis de Sistemas Tutores Inteligentes | | 27 |
| 4.1 | Introducción | 28 |
| 4.2 | Presentación de los Sistemas Tutores Inteligentes seleccionados. | 28 |
| 4.2.1 | AI-Tutor: Generating Tailored Remedial Questions. | 28 |
| 4.2.2 | Aleks (Assessment and Learning in Knowledge Spaces) | 31 |
| 4.2.4 | SKOPE-IT | 41 |
| 4.2.5 | Lexue 100 | 45 |
| 4.2.6 | Prototipo de diseño de sistema inteligente de tutoría electrónica de matemática para estudiantes con problemas de aprendizaje específicos. | 48 |
| 4.2.7 | Simplify ITS | 52 |
| 4.2.8 | MathSpring. | 56 |
| 4.2.9 | Wayang Outpost | 57 |
| 4.2.10 | ASSISTments | 62 |
| 4.3 | Comparación de acuerdo a los criterios de evaluación, entre los Sistemas Tutores Inteligentes seleccionados | 65 |
| 4.3.1 | Descripciones generales | 65 |
| 4.3.2 | Aspectos relacionados con el feedback del Sistema Tutor Inteligente. | 67 |
| 4.3.3 | Aspectos Metodológicos - Educativos. | 69 |
| Capítulo 5 | | 74 |
| Conclusiones | | 74 |
| 5.1 | Introducción | 75 |
| 5.2 | Conclusiones | 75 |
| 5.3. | Trabajos futuros | 78 |
| Referencias Bibliográficas | | 79 |



Capítulo 1

Presentación

“El aprendizaje es más que la adquisición de la capacidad de pensar; es la adquisición de numerosas habilidades para pensar en una gran variedad de cosas”

Lev Vygotsky

1.1 Introducción

La educación está cambiando. Debido a la evolución de la tecnología, se han desarrollado herramientas didácticas para favorecer la educación personalizada, de tal modo de adaptarse al modo de aprender del estudiante, entre las cuales están, los sistemas tutores inteligentes (STI).

En este capítulo se presenta la introducción a la propuesta de trabajo final integrador. En la sección 1.2, se indica la motivación para el estudio de la temática planteada. La sección 1.3, detalla los objetivos de la investigación. Luego, en la sección 1.4, se expone el abordaje del trabajo de investigación. Finalmente en la sección 1.5, se describe la estructura del documento.

1.2 Motivación

Los resultados de Argentina en las pruebas PISA (2018) son poco alentadores. En matemática y ciencias son similares desde 2006. En lectura se observa una mejora entre 2006 y 2018 pero aún siguen por debajo de los niveles obtenidos en el año 2000. Otros países de América del sur muestran mejoras significativas [76].

A continuación se detallan los resultados de las pruebas PISA 2018, de los países latinoamericanos participantes. En la figura 1 se observa, el resultado de las pruebas pisa 2018, en el área de Lectura.

Los datos muestran que Argentina queda rezagada con respecto a otros países latinoamericanos, ubicándose en el puesto 7° de la región, debajo de Chile (452 puntos), Uruguay (427), Costa Rica (426), México (420), Brasil (413) y Colombia (412). Detrás de Argentina quedaron Perú (401), Panamá (377) y República Dominicana (342). Argentina es el país de la región que más retrocedió desde el 2000 (-16 puntos), mientras que Perú es el que más mejoró (+74 puntos).

En esta área, que fue el foco principal de PISA 2018, Argentina se ubica en el puesto 63 sobre 77 países participantes. El 52,1% de los estudiantes se ubica por debajo del Nivel 2 de desempeño, considerado mínimo. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en inglés), el promedio de estudiantes en este nivel es 22,7%. Argentina tiene apenas un 0,7% de alumnos en los niveles más altos (5 y 6); para la OECD, el promedio es 8,7%.

En la figura 2 se muestran los resultados en el área de Ciencias, donde se obtuvieron 404 puntos; la Argentina quedó debajo de Chile (444), Uruguay (426), México (419), Costa Rica (416) y Colombia (413), y con el mismo puntaje que Perú y Brasil. En esta área, la Argentina solo supera a Panamá (365) y República Dominicana (336).

En Ciencias, Argentina se ubica en el puesto 65 sobre 78 participantes. El 53,5% de los estudiantes se ubica por debajo del Nivel 2 de desempeño, considerado mínimo. Para la OECD, el promedio de estudiantes en este nivel es 21,9%. Argentina tiene apenas un 0,5% de alumnos en los niveles más altos (5 y 6); para la OECD, el promedio es 6,7%.

En la figura 3 se describe, el desempeño en el área de matemática. Argentina es el país de la región que más retrocedió con respecto a la última edición (2012): pasó de 388 puntos a 379. En esta área la Argentina queda en el puesto 8° de la región, debajo de Uruguay (418), Chile (417), México (409), Costa Rica (402), Perú (400), Colombia (391) y Brasil (384). Los estudiantes argentinos sólo superan a los de Panamá (353) y República Dominicana (325).

En esta área, Argentina se ubica en el puesto 71 sobre 78 participantes. El 69% de los estudiantes se ubica por debajo del Nivel 2 de desempeño, considerado mínimo. Para la OECD, el promedio de estudiantes en este nivel es 23,9%. Argentina tiene apenas un 0,3% de alumnos en los niveles más altos (5 y 6); para la OECD, el promedio es 10,9%.

Figura 1. Pruebas PISA 2018. Resultados de los países latinoamericanos. Área de lectura.

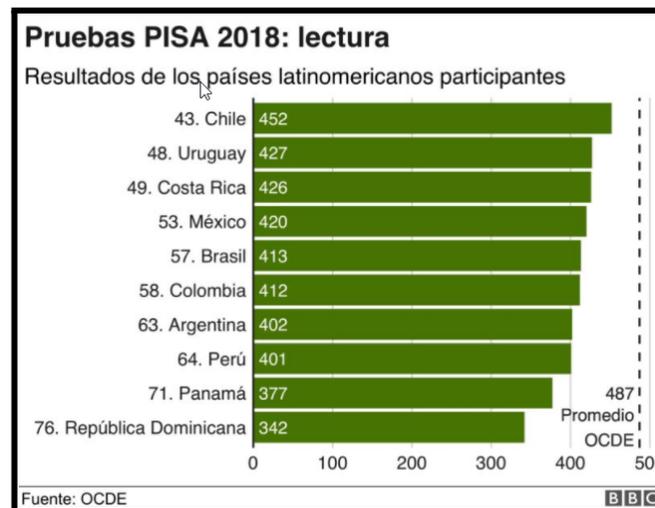


Figura 2. Pruebas PISA 2018. Resultados de los países latinoamericanos. Área de ciencias.

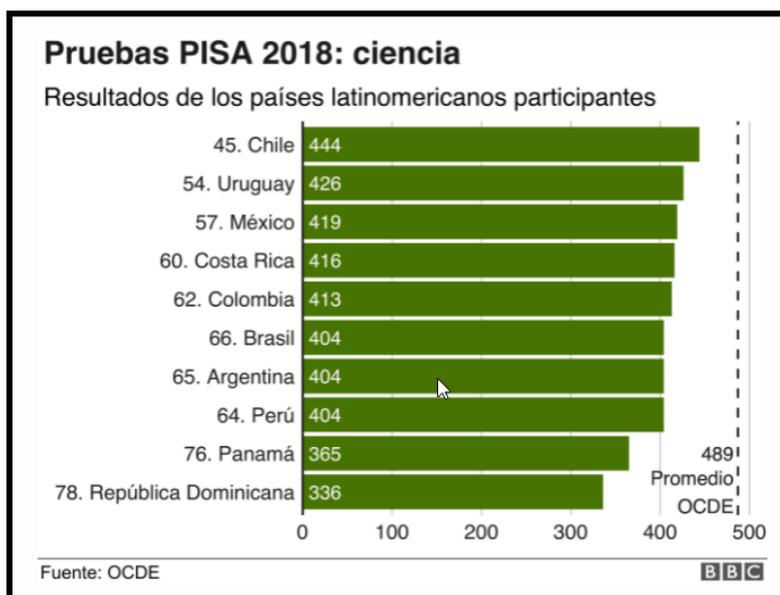
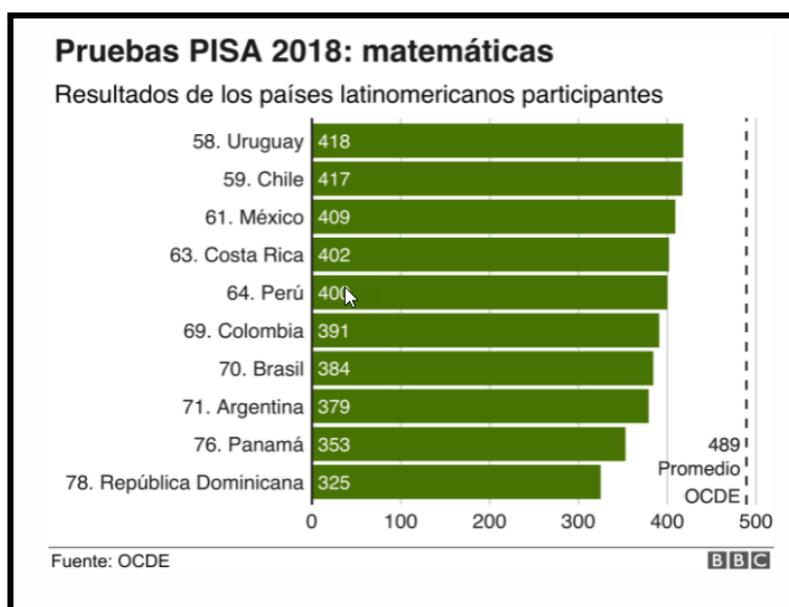


Figura 3. Pruebas PISA 2018. Resultados de los países latinoamericanos. Área de matemática.



En las pruebas “Aprender 2019”, el 72% de los alumnos terminó la secundaria con deficiencias en Matemática y anticipan que la pandemia agravó los resultados [4] .

Se pondrá especial atención en aquellos Sistemas Tutores Inteligentes (en adelante denominados STI) relacionados con la enseñanza de matemática. La preferencia en su selección se debe a que el pensamiento matemático es aquel que mayor dificultad presenta para los alumnos; y la mejora en el mismo le brinda herramientas para desarrollar el

pensamiento analítico, lo predispone para el aprendizaje de otras disciplinas, pudiéndose considerar como una herramienta de aprendizaje bisagra. Además, les permite desarrollar capacidades de razonamiento y abstracción, contribuyendo al análisis de estrategias tanto en la resolución de problemas como en situaciones concretas que se les presenten.

La siguiente pregunta sirvió de guía para realizar la revisión de la literatura.

¿Cómo influyen y colaboran en el aprendizaje de matemática, los sistemas tutores inteligentes?. ¿Qué funcionalidades implementadas en los sistemas tutores inteligentes, mejoran el feedback y el aprendizaje?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Generales

Este trabajo tiene como objetivo estudiar y analizar el uso de sistemas tutores inteligentes, las metodologías que se aplican, y qué trabajos se realizan al respecto en la educación secundaria.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Revisar el concepto de Sistema Tutor Inteligente (STI): componentes modulares (arquitectura de los STI), características.
- Estudiar qué tipos de trabajos de aplicación de sistemas tutores inteligentes se aplican en la educación secundaria.
- Identificar en las investigaciones revisadas:
 - La evolución y el estado de los desarrollos de STI, sistematizando el conocimiento del tema, en el contexto de la educación secundaria.
 - Las técnicas de personalización que permitan definir patrones de comportamiento de los estudiantes.
 - Las técnicas y métodos utilizados en la medición del efecto del uso de los STI.
 - Las debilidades encontradas en la implementación de los STI, en el marco de la educación secundaria.

1.4 Abordaje del trabajo de investigación

En el presente trabajo de investigación, se abordará la temática de los STI, analizando su utilización en la enseñanza y aprendizaje de matemática, en el contexto de la educación secundaria.

El trabajo se basa en la revisión bibliográfica de revistas de carácter científico, y publicaciones de actas de congresos, disponibles en las bibliotecas virtuales.

Se presentan las experiencias seleccionadas que involucran la utilización de sistemas tutores inteligentes en la educación secundaria. Se describen los criterios de análisis de estas experiencias. Se realiza una síntesis de cada una de ellas y se describen las conclusiones.

1.5 Estructura del Trabajo.

La estructura de este trabajo se encuentra organizada en seis capítulos: 1.Introducción; 2.Conceptos teóricos; 3.Selección de Sistemas Tutores Inteligentes; 4.Análisis de Sistemas Tutores Inteligentes; 5.Conclusiones.



Capítulo 2

Conceptos Teóricos

2.1 Introducción

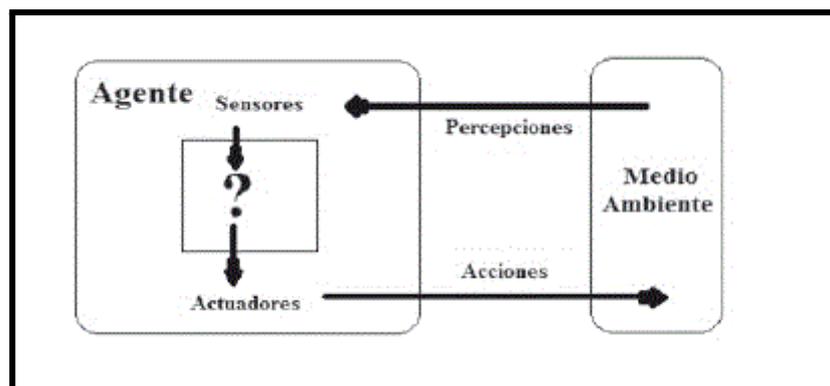
Este capítulo expone conceptos teóricos que permiten dar contexto al presente trabajo. En primer lugar, se define el concepto de agente informático, que forma parte de la tecnología detrás de los STI (sección 2.2).

Luego se aborda el concepto de Sistema Tutor Inteligente (sección 2.3). En 2.4 se mencionan los avances que han tenido los sistemas tutores inteligentes en los últimos años.

2.2 Concepto de agente informático

Un agente es un sistema capaz de percibir a través de sensores la información que proviene del ambiente donde está insertado; se lo puede definir como “una entidad de software que exhibe un comportamiento autónomo, situado en un ambiente en el cual es capaz de realizar acciones para alcanzar sus propios objetivos y a partir del cual percibe los cambios” [83] . En la figura 4, se muestra la representación de la definición mencionada.

Figura 4. Agente interactuando con su medio ambiente [75].



Otra definición sugiere que “un agente es un sistema computacional que está situado en un ambiente y que es capaz de acciones autónomas, para alcanzar sus objetivos de diseño” [110] .

Yendo un poco más allá, se agrega el término *inteligente* a la definición. Definiéndose un agente inteligente, como aquel que es capaz de actuar con autonomía y flexibilidad, teniendo capacidades para percibir su entorno y responder a tiempo a los cambios que ocurren en él; tiene proactividad o capacidad para mostrar un comportamiento dirigido por objetivos, tomando la iniciativa para planificar su actuación a fin de lograr los objetivos y habilidades sociales, como también la capacidad para interactuar por decisión propia en los procesos de cooperación, con otros agentes de software o personas [102].

En referencia a los agentes inteligentes en el marco educativo y de los STI se dice que son: fragmentos de software con características humanas que facilitan el aprendizaje. Estas características pueden expresarse desplegando texto, gráfico, iconos, voz, animación, multimedia o realidad virtual.

Existen otras cualidades que incrementan la inteligencia del agente tales como: las actitudes mentales, el aprendizaje, la movilidad.

El aprendizaje adaptativo y basado en agentes inteligentes es la tecnología central detrás de los STI, que son responsables de proporcionar instrucción personalizada para adaptarse a las diferentes preferencias de aprendizaje y aptitudes del alumno [34].

En general, estos sistemas recomiendan actividades educativas y brindan retroalimentación individual, como generar un camino de aprendizaje personalizado [37], componer material de aprendizaje apropiado [38] [95] y proporcionar estrategias de enseñanza [11] [89], según el perfil de los alumnos.

2.3 Sistemas Tutores Inteligentes.

Un tutor inteligente actúa como un tutor personal para cada uno de los estudiantes, por lo tanto, puede discernir sus necesidades y los procesos metacognitivos que requieren en el aprendizaje. Es un sistema de software, adaptable a los conocimientos previos, y tiene en cuenta el modelo de inteligencia triárquica de Sternberg, y los procesos cognitivos (taxonomía de bloom) subyacentes involucrados.

Los Sistemas Tutores Inteligentes (STI) comenzaron a desarrollarse en los años ochenta con la idea de asistir y guiar al estudiante en su proceso de aprendizaje.

Se buscó emular el comportamiento de un tutor humano, a través de un sistema que pueda adaptarse al comportamiento de los estudiantes, identificando la forma en que éstos resuelven un problema, y brindar ayudas cognitivas cuando lo requieran.

En la literatura se encuentran diversas definiciones del término Sistema Tutor Inteligente (STI).

VanLehn [95], lo define como: “un sistema de software que utiliza sistemas inteligentes para asistir al estudiante que requiere de un tutorizado uno a uno, y lo guía en su aprendizaje; adicionalmente posee una representación del conocimiento y una interface que permite la interacción con los estudiantes para que puedan acceder al mismo”.

Wolf [106] define los STI, como “sistemas que modelan la enseñanza, el aprendizaje, la comunicación y el dominio del conocimiento del especialista y el entendimiento del estudiante sobre ese dominio”.

Giraffa [39] los define como “sistemas que incorporan técnicas de Inteligencia Artificial (IA), a fin de crear un ambiente que considere los diversos estilos cognitivos de los alumnos que utilizan el programa”.

Los STI integran tres áreas básicas:

- La investigación educativa a través de herramientas que proporcionen una enseñanza personalizada asegurando el aprendizaje del estudiante.
- La inteligencia artificial, mediante la aplicación de técnicas de modelado de usuario, representación del conocimiento y razonamiento.
- La psicología cognitiva o educativa al aplicar la simulación cognitiva del comportamiento de un tutor: razonamiento, aprendizaje, conocimiento.

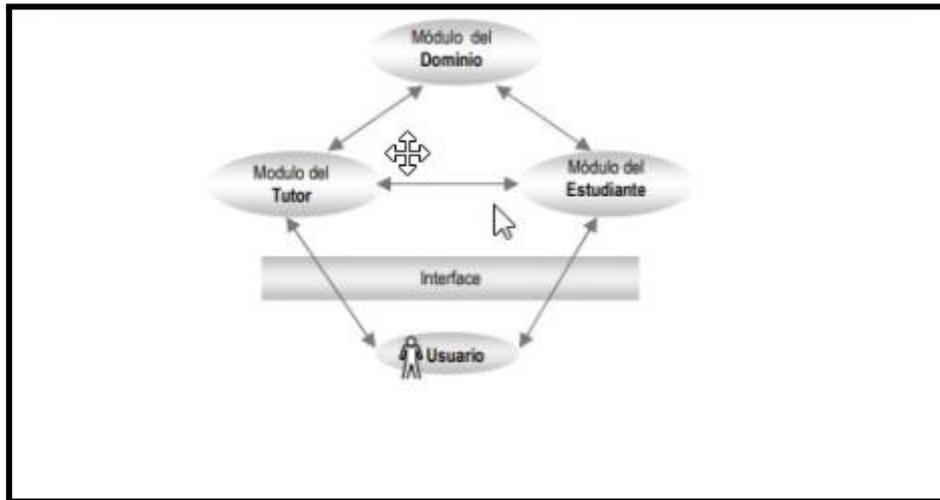
Los Sistemas Tutores Inteligentes, permiten la emulación de un tutor humano en el sentido de saber qué enseñar, cómo enseñar y a quién enseñar.

La mayoría de los sistemas implementados hasta ahora poseen una arquitectura básica común que está constituida por tres módulos:

1. Un módulo del dominio: que define el dominio del conocimiento (conocimiento sobre qué enseñar).
2. Un módulo del estudiante: que es capaz de definir el conocimiento del estudiante en cada punto durante la sesión de trabajo (conocimiento sobre a quién enseñar).
3. Un módulo del tutor: que genera las interacciones de aprendizaje basadas en las discrepancias entre el especialista y el estudiante (conocimiento sobre cómo enseñar).

En la figura 5, se muestra la estructura básica de un sistema tutor inteligente, donde se observa la interacción entre los módulos, y la interfaz que coordina la interacción entre los módulos y el alumno.

Figura 5. Estructura clásica de un Sistema Tutor inteligente [15]



2.4 Avances de los Sistemas Tutores Inteligentes en los últimos años.

A lo largo de los años, los sistemas tutores inteligentes tuvieron avances significativos en uno o más de sus componentes:

- Se agregó una interfaz con agentes informáticos conversacionales, proporcionando métodos de intervención de tutoría electrónica, a través del diálogo.
- Se incorporó tecnología automatizada de obtención de conocimiento para desarrollar contenidos didácticos.
- Se adaptó la enseñanza según cómo aprenden los estudiantes.
- Se logró reducir el comportamiento emocional negativo de los estudiantes que tienen discapacidades de aprendizaje severas.
- Se generaron en forma automática problemas matemáticos verbales, usando conceptos y enseñanzas de otras materias.
- Se agregó la construcción de mapas conceptuales referente al tema que se está estudiando, contribuyendo al proceso de aprendizaje a partir del establecimiento de asociación entre conceptos y sus relaciones, permitiendo un aprendizaje significativo.
- Se integraron recursos de aprendizaje.

- Se determinó mediante un diagnóstico cognitivo, el nivel del estudiante en la materia que se está trabajando, generando una ruta de aprendizaje de acuerdo a sus necesidades.
- Se abordó la cognición, la metacognición y el afecto.
- Se construyeron modelos dinámicos.



Capítulo 3

Selección de Sistemas Tutores Inteligentes

3.1 Introducción

A los Sistemas Tutores Inteligentes (STI) los constituyen tres áreas básicas, la investigación educativa, la inteligencia artificial y la psicología cognitiva o educativa.

En la sección 3.2, se aborda la implicación de los STI en el aprendizaje.

En la sección 3.3, se describen las estrategias de búsqueda de los STI y en la sección 3.4, la metodología utilizada para el análisis de los STI.

3.2 Implicación de los Sistemas Tutores Inteligentes en las actividades educativas

“La inteligencia artificial (IA) cambia la enseñanza, pero más importante que eso, la IA cambia los objetivos y propósitos de la enseñanza” [27] .

Algunos autores mencionan que los STI, superan a los tutores no expertos, e incluso podrían igualar a los tutores humanos expertos, en algunos temas [47] [99].

Los STI, tienen al estudiante como el centro del proceso educativo, siendo éste quien regula su aprendizaje. De esta manera, se mueve el foco de atención del tutor o profesor; hacia el alumno que, según el modelo clásico, cumple con una tarea puramente pasiva de aprendizaje; modificando esta visión; por la de un estudiante, que es el centro del modelo, donde son sus necesidades, las que prevalecen.

Son un intento para proveer de nuevas oportunidades a los estudiantes, permitiéndoles desarrollar procesos mentales de índole superior, tales como la resolución de problemas [104]. De este modo, aportan una nueva perspectiva, a los sistemas educativos, brindando distintas oportunidades de enseñanza y aprendizaje.

Por otra parte, se pueden concebir tutores que trabajen para solucionar paulatinamente los conceptos erróneos (misconceptions), contribuyendo a un cambio conceptual [73] [75]; en el modo de construir el conocimiento en forma significativa.

En este aprendizaje significativo, entra en juego la comprensión, que implica relacionar los conceptos, utilizando las estructuras de conocimiento previo, generando conceptos más específicos, por diferenciación o principios generales.

“Comprender es pensar con lo sabido y aplicarlo con flexibilidad en el mundo (...) [73] . No es simplemente tener conocimiento, como muchas veces se cree, sino tener la habilidad de pensar con lo que se sabe y poder aplicar ese saber de forma flexible en el mundo.

Se entiende la comprensión como una habilidad para desempeñarse con el conocimiento que se tiene [88] .

3.3 Estrategía para la búsqueda de los Sistemas Tutores Inteligentes

La recopilación de los casos seleccionados en el trabajo, se basa en un proceso de revisión bibliográfica; de publicaciones de actas de congresos, disponibles en las bibliotecas virtuales; de experiencias de sistemas tutores inteligentes y su utilización en escenarios educativos reales o simulados.

Se utilizó como directriz para realizar el análisis sistémico de los trabajos, la guía publicada por Kitchenham [59].

La búsqueda bibliográfica, se realizó en bases de datos de investigación académicas, a partir de cadenas específicas, como se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Motores de búsqueda y cadena de búsqueda

| Biblioteca digital | Filtros de búsqueda |
|---|---|
| ACM Digital Library SEDICI IEEExplore Springer | Intelligent tutoring systems; year range; mathematics o stem; affective intelligent tutoring systems. |

Se encontraron 183 trabajos que abordan la temática de interés; de los cuales se seleccionaron 10 sistemas tutores inteligentes, vinculados a la temática de STI en la enseñanza secundaria, con preferencia en el área de matemática, que pueden en algunos casos modelar la afectividad; cuyas fechas de publicación, corresponden a los últimos cinco años.

Como estrategias de selección se tuvo en cuenta:

1.- El título de la publicación, se eliminaron las publicaciones con un título no relacionado con el objeto del trabajo.

2. Exclusión basada en resumen: se excluyeron las publicaciones que en el resumen o las palabras claves no estaban relacionadas con el enfoque de la revisión.

3. Exclusión basada en revisión rápida: se realizó una lectura rápida de las secciones y subsecciones, figuras, tablas y referencias para excluir las publicaciones que no estaban relacionados con el objetivo de la revisión.

4. Exclusión basada en el artículo completo: se realizó la lectura completa de la publicación y se eliminaron aquellos que no coincidían con los criterios de inclusión y exclusión.

La Tabla 2, muestra los sistemas tutores inteligentes seleccionados y la fuente de referencia.

Tabla 2. Listado de Sistemas Tutores Inteligentes analizados en este trabajo.

| Nombre del STI | Descripción | Fuente |
|--|--|---|
| AI - Tutor | Generación de preguntas y respuestas correctivas personalizadas basadas en la evaluación de diagnóstico cognitivo | W. Gan, Y. Sun, S. Ye, Y. Fan and Y. Sun, "AI-Tutor: Generating Tailored Remedial Questions and Answers Based on Cognitive Diagnostic Assessment," 2019 6th International Conference on Behavioral, Economic and Socio-Cultural Computing (BESC), 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/BESC48373.2019.8963236. |
| Aleks | Evaluación y Aprendizaje en Espacios de Conocimiento | N. L. Miller, J. E. Sanchez-Galan and B. E. Fernández, "Use of an Intelligent Tutoring System for Mathematics by Students Who Aspire to Enter the Technological University of Panama," 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), 2019, pp. 255-260, doi: 10.1109/IESTEC46403.2019.00-66. |
| Auto-Tutor | SKOPE-IT : superposición de tutoría de lenguaje natural en un sistema de aprendizaje adaptativo para matemáticas (2018) | Graesser, A. C., Chipman, P., Haynes, B. C., & Olney, A. (2005). AutoTutor: An intelligent tutoring system with mixed-initiative dialogue. <i>IEEE Transactions on Education</i> , 48(4), 612-618. Nye, BD, Graesser, AC, Hu, X (2014a). AutoTutor and family: a review of 17 years of science and math tutoring. <i>International Journal of Artificial Intelligence in Education</i> , 24(4), 427-469. |
| SPOKE IT | SKOPE-IT : superposición de tutoría de lenguaje natural en un sistema de aprendizaje adaptativo para matemáticas (2018) | Nye, B., Pavlik, P., Windsor, A. et al. SKOPE-IT (Shareable Knowledge Objects as Portable Intelligent Tutors): overlaying natural language tutoring on an adaptive learning system for mathematics. <i>IJ STEM Ed</i> 5, 12 (2018). https://doi.org/10.1186/s40594-018-0109-4 . |
| Lexue 100 | Evaluación de un sistema de tutoría inteligente para la enseñanza personalizada de matemáticas | B. Zhang and J. Jia, "Evaluating an Intelligent Tutoring System for Personalized Math Teaching," 2017 International Symposium on Educational Technology (ISET), 2017, pp. 126-130, doi: 10.1109/ISET.2017.37. |
| An Intelligent Math E-Tutoring System for Students with Specific Learning Disabilities(SLDs) | Un sistema inteligente de tutoría electrónica de matemáticas para estudiantes con discapacidades específicas de aprendizaje | ASSETS '21: The 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility Virtual Event USA October 18 - 22, 2021 |
| SIMPLIFY ITS | Un sistema de tutoría inteligente basado en modelos de diagnóstico cognitivo y aprendizaje espaciado | N. M. Villanueva, A. E. Costas, D. F. Hermida and A. C. Rodríguez, "SIMPLIFY ITS: An intelligent tutoring system based on cognitive diagnosis models and spaced learning," 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2018, pp. 1703-1712, doi: 10.1109/EDUCON.2018.8363440. |
| MathSpring | Avances de la Oficina de Investigación Naval STEM Grand Challenge: expandiendo los límites de los sistemas de tutoría inteligentes | Craig, S.D., Graesser, A.C. & Perez, R.S. Advances from the Office of Naval Research STEM Grand Challenge: expanding the boundaries of intelligent tutoring systems. <i>IJ STEM Ed</i> 5, 11 (2018). https://doi.org/10.1186/s40594-018-0111-x |
| ASSITments | Avances de la Oficina de Investigación Naval STEM Grand Challenge: expandiendo los límites de los sistemas de tutoría inteligentes | Heffernan, Neil & Heffernan, Cristina. (2014). The ASSISTments Ecosystem: Building a Platform that Brings Scientists and Teachers Together for Minimally Invasive Research on Human Learning and Teaching. <i>International Journal of Artificial Intelligence in Education</i> . 24. 10.1007/s40593-014-0024-x. |
| WAYANG OUTPOST | Avances de la Oficina de Investigación Naval STEM Grand Challenge: expandiendo los límites de los sistemas de tutoría inteligentes | Arroyo, I., Woolf, B.P., Burelson, W. et al. A Multimedia Adaptive Tutoring System for Mathematics that Addresses Cognition, Metacognition and Affect. <i>Int J Artif Intell Educ</i> 24, 387-426 (2014). https://doi.org/10.1007/s40593-014-0023-y |

Se buscaron también, trabajos relacionados con la revisión de sistemas tutores inteligentes, en las bases de datos en los últimos cinco años, con el fin de determinar si ya existía un

estudio previo que comprendiera la temática y cumpliera con los objetivos planteados en el capítulo 1.

De los trabajos encontrados, "Una Revisión Sistemática de la Literatura de los Sistemas Tutores Inteligentes con Diálogo en Lenguaje Natural" [71], presenta una evaluación de la literatura para abordar los STI que incorporan sistemas de diálogo, implementados en los últimos veinte años.

"La Revisión Sistemática de Sistemas Tutores Inteligentes con Diálogo en Lenguaje Natural", encontró 33 STI y se centró en responder las siguientes cinco preguntas de investigación: a) ¿Qué STI con diálogo en lenguaje natural se han desarrollado?. b) ¿Cuál es el objetivo principal del diálogo de tutoría en cada sistema?. c) ¿Cuáles son las características pedagógicas del proceso de enseñanza realizado por los STI con diálogo en lenguaje natural?. d) ¿Qué enfoque de comprensión del lenguaje natural emplea cada sistema para comprender las expresiones de los estudiantes?. e) ¿Qué evidencia existe relacionada con la evaluación de STI con diálogo en lenguaje natural?.

El trabajo, "Una revisión de la literatura comparativa de los sistemas de tutoría inteligente de 1990 a 2015" [20], proporciona un lenguaje unificado a partir del cual se pueden revisar y comprender los STI en el mismo contexto. Los hallazgos de esta revisión se centraron en el marco de 5 componentes.

El primer componente, el modelo de dominio, mostró que la mayoría de los STI se centran en matemática, en la ciencia, y la tecnología. Dentro de estos campos, los STI generalmente tienen el dominio del aprendizaje como el nivel deseado de comprensión.

El segundo componente, el modelo de tutor, muestra que el constructivismo es la estrategia teórica que informa la mayoría de los STI. Las tácticas de tutoría empleadas en los STI parten de este paradigma.

El tercer componente, el modelo del estudiante, describe las diversas formas en que los STI infieren lo que sabe un estudiante. Describe la variedad de datos que recopila un STI y cómo se utiliza para construir el modelo de estudiante.

El cuarto componente, la interfaz, revela que la mayoría de los STI ahora están basados en la web, pero varían en su capacidad para interactuar con los estudiantes. También muestra que la experiencia del usuario no se informa y debería incluirse más en la investigación.

El quinto componente, ganancias de aprendizaje, demuestra que los STI son capaces de producir ganancias de aprendizaje equivalentes a las de un tutor humano. Sin embargo, reportar ganancias de aprendizaje no parece ser un foco de atención en la literatura.

El trabajo, “Sistemas tutores inteligentes afectivos: revisión sistémica de la literatura” [57] , utiliza la metodología de Kitchenham. Establece preguntas de investigación, define las cadenas de búsqueda, los criterios de inclusión/exclusión, la extracción y el análisis de los datos.

La siguiente pregunta de investigación les sirvió de guía para la revisión de la literatura sobre sistemas tutores inteligentes afectivos: ¿Cómo se integró la afectividad al diálogo de los STI?

3.4 Metodología para el análisis de los Sistemas Tutores Inteligentes

La selección de los criterios de análisis, tienen como objetivo describir y analizar, cómo influyen y colaboran en el aprendizaje de los estudiantes.

Los trabajos mencionados anteriormente, no cubren la revisión de los objetivos planteados, pero sirvieron para constatar que la búsqueda efectuada, con respecto a los criterios de inclusión/exclusión, fue acertada, lo mismo que la determinación de las funciones que un sistema tutor inteligente debe brindar a los estudiantes.

De acuerdo a los avances que han tenido los sistemas tutores inteligentes en los últimos años, se propone como aporte del trabajo, un nuevo enfoque al estudio de los sistemas tutores inteligentes, mediante la evaluación de cinco aspectos: aspectos generales, aspectos relacionados con el feedback del STI, aspectos metodológico-educativos, elementos de evaluación de los sistemas tutores inteligentes y aspectos relacionados con la arquitectura del STI.

A continuación se explican cada uno de los criterios de inclusión utilizados en el análisis de los STI:

a) Aspectos generales. Los criterios que incluye esta categoría están vinculados a contextualizar los STI y dar una caracterización general de ellos. A partir de estos indicadores se puede, por ejemplo, conocer de qué países, universidades, provienen los STI, a qué nivel educativo se orientan y el dominio de aplicación.

b) Aspectos relacionados con el feedback del STI. Los criterios incluidos en esta categoría buscan dar a conocer las estrategias y técnicas con las que se plantea desarrollar el STI, su posible vinculación con otros STI y su feedback con el alumno.

c) Aspectos metodológicos-educativos. Al tratarse de STI orientados al proceso de enseñanza y aprendizaje, se busca conocer el tipo de proceso educativo que lleva adelante, y las metas que se propone alcanzar con su uso.

d) Elementos de evaluación de los Sistemas Tutores Inteligentes. El proceso de evaluación permite determinar si los Sistemas Tutores Inteligentes seleccionados, fueron validados cualitativamente y/o cuantitativamente y la técnica utilizada.

La evaluación puede consistir en pruebas en laboratorios, verificación en ambientes controlados, y/o demostración en escenarios reales.

e) Aspectos vinculados con el framework de los Sistemas Tutores Inteligentes. Los criterios presentes en esta categoría permiten conocer cómo está constituido el Sistema Tutor Inteligente.

A continuación se describen, dentro de cada una de las categorías mencionadas anteriormente, los criterios de análisis propuestos para la revisión y estudio de los Sistemas Tutores Inteligentes:

3.4.1 Descripciones generales.

Los criterios que incluyen esta categoría están vinculados a contextualizar los Sistemas Tutores Inteligentes y dar una caracterización general de ellos. A partir de estos indicadores se puede determinar, el tipo de artículo; conocer el país y universidad de origen; y el nivel educativo al cual se dirigen.

- Tipo de Artículo

Este criterio busca determinar el formato de referencia en que fue publicado. Si en conferencia, en un journal, en un workshop, o si corresponde o pertenece al capítulo de un libro, chapter.

- País de investigación.

Este criterio busca indagar los países en que se llevan adelante las experiencias con los STI seleccionados. Luego, se podrán resumir los países con mayor concentración de investigaciones encontradas y enfocadas en el desarrollo de sistemas tutores inteligentes. Los posibles valores del criterio serán los nombres de los países.

- **Universidades de investigación.**

Este criterio busca indagar las universidades donde se investigan, prueban y/o desarrollan las experiencias con STI seleccionadas. Luego, se podrán resumir las universidades con mayor concentración de investigaciones encontradas y enfocadas en el estudio de los STI. Los posibles valores del criterio serán los nombres de las universidades.

- **Nivel educativo.**

Los posibles valores del criterio son:

- **Educación Especial.** Identifica las experiencias llevadas a cabo con personas de educación especial. En este caso, se detalla, si corresponde, las características particulares de la población destinataria.
- **Inicial.** Esta etiqueta determina si los STI son aplicables a destinatarios comprendidos en edades entre los 3 y hasta los 5 o 6 años.
- **Primario.** Esta etiqueta determina si los STI son aplicables a destinatarios, entre los 6 y hasta los 12 o 13 años.
- **Secundario.** Esta etiqueta identifica los STI , donde los destinatarios son adolescentes y jóvenes, cuyas edades promedio se encuentran entre los 13 y hasta los 18 años.
- **Superior/universitario.** Identifica los STI, donde los destinatarios se encuentran cursando en la universidad, una institución de educación superior o son investigadores de una institución educativa.

Se pondrá énfasis preferentemente en los STI, cuyo nivel educativo corresponda al nivel secundario.

- **Dominio.**

Este criterio indica el dominio de aplicación del sistema tutor inteligente.(Matemática, lengua, ciencias,etc)

3.4.2 Aspectos relacionados con el feedback del Sistema Tutor Inteligente.

- **Feedback con otros Sistemas Tutores Inteligentes.**

Este criterio determina si el STI puede integrarse con otro/s Sistemas Tutores Inteligentes.

- **Tipos de feedback con el alumno.**

El feedback consiste en cualquier tipo de mensaje que se genere en respuesta a una acción ejecutada en el STI. Se propone analizar a través de este criterio los tipos de feedback presentes según la clasificación de Van Seters [100].

- **Sobre la tarea.** Este feedback indica al estudiante si las respuestas que proporcionó son correctas o incorrectas.
- **Procesamiento de la tarea.** Especifica los pasos que son necesarios para resolver las tareas (aspectos procedimentales y metodológicos).
- **Autorregulación.** Es el feedback que puede contribuir a la autorregulación de los estudiantes. Por ejemplo, a reflexionar sobre la efectividad de sus estrategias, a gestionar su tiempo.
- **Afectivo.** Expresa evaluaciones positivas, por ejemplo: “Bien hecho”. En algunos casos, busca que, a pesar de los errores, se mantenga la motivación de la persona.

3.4.3 Aspectos vinculados con lo Metodológico- educativo

- **Funciones del STI**

- Determinar el nivel de diagnóstico inicial del estudiante. Se indicará el método utilizado para determinar el diagnóstico inicial.
- Establecer una ruta personalizada de aprendizaje. Se indicará la metodología implementada, para guiar el aprendizaje del alumno en el STI:
- Integrar al STI un agente pedagógico de lenguaje natural. Se indicará si el STI, tiene agente pedagógico de lenguaje natural, que interactúa con el estudiante. Es decir, si posee un Interfaz con lenguaje natural.
- Modelar el comportamiento de los estudiantes para determinar su estado emocional.

- **Herramientas del Sistema Tutor Inteligente.**

Un Sistema Tutor Inteligente debe adaptarse a las necesidades y preferencias del estudiante para que este obtenga mejores resultados. Es necesario contar con modelos computacionales que realicen el diagnóstico sobre el rendimiento de los estudiantes y que provean al STI de datos basados en predicción, para cambiar la estrategia de enseñanza cuando fuera necesario, o simplemente para recomendarle nuevos ejercicios y problemas [17], tales como:

- Redes neuronales
- Algoritmos genéticos,
- Teoría de los espacios de conocimiento, etc.

3.4.4 Procesos de evaluación de los Sistemas Tutores Inteligentes.

El proceso de evaluación determina si los Sistemas Tutores Inteligentes seleccionados, han sido sometidos a un proceso de validación.

La evaluación puede consistir en pruebas en laboratorios, verificación en ambientes controlados, y/o demostración en escenarios reales.

A partir de este criterio se analizan las principales técnicas utilizadas y los resultados alcanzados.

Los valores para este criterio son:

- **Si / No.** Esta etiqueta se orienta a detallar si los STI seleccionadas fueron o no evaluados.
- **Técnica de evaluación.** Esta etiqueta identifica el tipo de evaluación empleada en cada una de los STI; cualitativa, cuantitativa, cuasi-experimental.
- **Enfoque de la evaluación.** Se indaga la finalidad de la evaluación.

3.4.5 Aspectos relacionados con el framework del Sistema Tutor Inteligente.

- **Framework**

Este criterio describe la estructura del sistema.

La tabla 3 propuesta en este trabajo, muestra la clasificación de los criterios en cada una de las categorías descriptas.

Tabla 3. Categorías y criterios de evaluación de los STI

| | | |
|--------------------------|----------------------|--|
| Descripción General | | Tipo de Artículo |
| | | Universidad/País |
| | | Dominio |
| | | Nivel Educativo |
| Feedback con el STI | | Feedback con otros STI |
| | | Feedback con la Actividad |
| Metodológico - Educativo | Funciones del STI | Metodología para el diagnóstico Inicial |
| | | Metodología de personalización del aprendizaje |
| | | Agente pedagógico de lenguaje |
| | Herramientas del STI | Modelado del comportamiento de los estudiantes |
| | | Reglas de Asociación |
| | | Teoría de los espacios de |
| Evaluación del STI | | Algoritmos genéticos |
| | | Si/No |
| | | Técnica de Evaluación |
| Enfoque de Evaluación | | |
| Framework | | |



Capítulo 4

Análisis de Sistemas Tutores Inteligentes

4.1 Introducción

En este capítulo se presentan los STI seleccionados, con sus características, y funciones para apoyar el aprendizaje de los estudiantes en forma personalizada.

En la sección 4.2 se presentan cada uno de los Sistemas Tutores Inteligentes seleccionados; en la sección 4.3 se realiza una comparación de acuerdo a los criterios de evaluación, entre los sistemas tutores inteligentes seleccionados.

4.2 Presentación de los Sistemas Tutores Inteligentes seleccionados.

A continuación, se describen cada una de las experiencias seleccionadas y se especifican para cada uno, los criterios de evaluación.

4.2.1 AI-Tutor: Generating Tailored Remedial Questions.

AI-Tutor [36], es un sistema tutor inteligente desarrollado en conjunto por el Instituto Nacional de Informática, Sokendai, Tokio, Japón y la Universidad de la Academia China de Ciencias, Beijing, que no solo incorpora las funciones básicas de los sistemas de tutoría generales, sino que le agrega tres funciones:

- Evaluación de diagnóstico cognitivo.
- Generación de preguntas correctivas personalizadas.
- Resolución automática de problemas.

La evaluación de diagnóstico cognitivo, actúa como una forma eficaz de evaluar a los alumnos de una manera detallada.

Para refinar el nivel de conocimiento del alumno, AI Tutor propone un diagnóstico cognitivo, basado en el modelo de Chen[18]; quien propuso un sistema de aprendizaje electrónico personalizado, basado en la Teoría de la Respuesta al Ítem, para proporcionar rutas de aprendizaje individuales para los estudiantes.

Wongwatkit [109], llevó a cabo experimentos y demostró que los estudiantes que usaron el sistema de evaluación de diagnóstico, tuvieron logros en el aprendizaje, significativamente mejores, que los que aprendieron con el sistema convencional. Estos resultados muestran la ventaja de la evaluación de diagnóstico cognitivo, como una forma efectiva de ayudar a los alumnos a descubrir sus fallas, y proporcionar un aprendizaje activo.

AI-Tutor, genera automáticamente preguntas correctivas de alta calidad, para cubrir los puntos débiles de conocimiento de los alumnos; en lugar de seleccionar los materiales de aprendizaje de un banco de elementos, lo que hace más eficiente el aprendizaje del dominio de conocimiento en poco tiempo.

El agente de resolución automática de problemas tiene como objetivo comprender y resolver automáticamente los problemas proporcionados por los alumnos o las preguntas generadas por el agente de generación de problemas, y dar respuestas y explicaciones.

La Figura 6, ilustra el marco conceptual de AI-Tutor, que se divide en cuatro partes principales, de acuerdo con las funcionalidades que proporciona, a saber, *el agente de aprendizaje del curso adaptativo, el agente de evaluación de diagnóstico cognitivo, el agente generador de preguntas personalizadas y el agente solucionador de problemas automáticos.*

En función de la arquitectura del sistema, se describe el funcionamiento de AI-Tutor, como una secuencia de pasos a realizar:

- *Paso 1:* AI-Tutor recopila información del perfil del alumno e información del curso, crea un camino de aprendizaje óptimo, y recomienda materiales para el alumno (etiqueta 1-2) .
- *Paso 2:* el alumno comienza a aprender, siguiendo la ruta propuesta por el sistema; el mismo registra los datos generados, en la base de datos del perfil de aprendizaje (etiqueta 3-4).
- *Paso 3:* Después, que el alumno completa el curso, se realiza una evaluación de diagnóstico cognitivo, para saber el nivel de conocimiento y se elabora una lista de deficiencias. Los resultados del diagnóstico se pueden visualizar en el tablero que se presenta a los alumnos, a través de la interfaz de usuario. Estos resultados también se almacenan en la base de datos de perfil de aprendizaje, y en la base de datos de perfil del usuario para su uso posterior (etiqueta 5-8).
- *Paso 4:* Con base en los resultados del diagnóstico cognitivo, se generan preguntas y elementos personalizados para capacitar al alumno (etiqueta 9-11).
- *Paso 5:* el solucionador automático impulsado por IA, resuelve los problemas generados, y proporciona instrucciones paso a paso y sugerencias al alumno según lo solicite (etiqueta 12-13).

- *Paso 6*: el sistema registra los datos durante los pasos 4 y 5 y los analiza para actualizar el perfil de usuario (etiqueta 14-16).

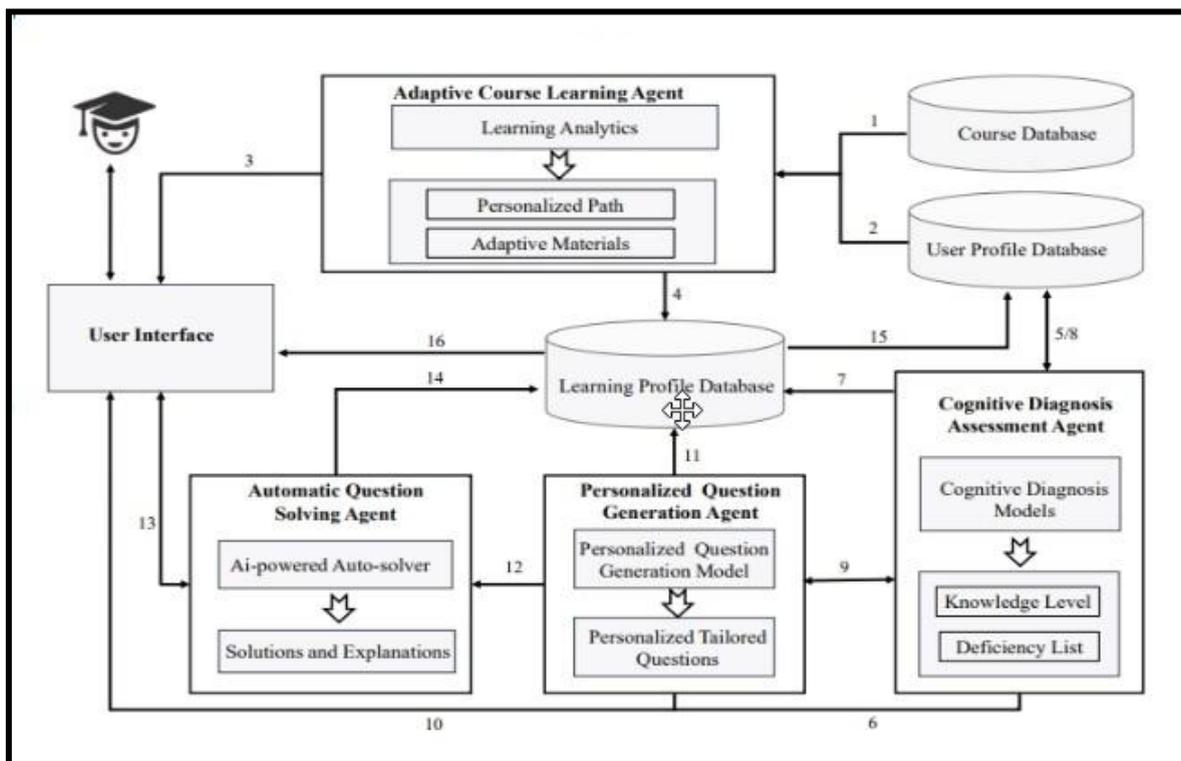
Se repiten los pasos 3 a 6 hasta que el alumno domine todos los puntos de conocimiento del curso actual.

El alumno puede proponer sus propios problemas al solucionador automático, a través de la interfaz de usuario, en cualquier momento del aprendizaje; el solucionador automático, le dará retroalimentación para guiarlo en función de la respuesta y la explicación generada.

Como herramientas de los sistemas inteligentes, AI-Tutor utiliza, algoritmos genéticos [31], técnicas de minería de datos, minería de reglas de asociación, clasificación y árbol de decisión, para obtener el patrón de aprendizaje de los alumnos.

El nivel de conocimiento del alumno lo obtiene el sistema de la evaluación de diagnóstico cognitivo, que realiza al finalizar un tema, y lo va guardando en el perfil del usuario.

Figura 6. Marco Conceptual de AI-Tutor.



El documento presenta una investigación preliminar sobre el Sistema AI-Tutor; no se evaluó el STI, en escenarios pedagógicos reales, y no se realizaron estudios de usuarios, para medir su eficacia en la mejora del aprendizaje de los alumnos.

Las características de AI-Tutor, representadas en la tabla 4, muestran los criterios de análisis del STI.

Tabla 4. Características de AI-Tutor.

| | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|---|--|
| Descripción General | | Instituto Nacional de Informática, SOKENDAI, Tokio, Japón | Japón |
| | | Academia de Ciencias de la Universidad de China, Pekín, China | China |
| | | Tipo de Artículo | Conferencia |
| | | Dominio | Matemática |
| | | Nivel educativo | N/M |
| Feedback con el STI | | Feedback con otros STI | N/M |
| | | Feedback con la actividad | Sobre la tarea: Si |
| | | | Procesamiento de la tarea: Si |
| Autorregulación: Si | | | |
| Metodológico-educativo | Funciones del STI | Métodología para el Diagnóstico Inicial | Evaluación de diagnóstico cognitivo |
| | | Metodología de personalización de aprendizaje | Generación de un camino de aprendizaje y recomendación actividades. |
| | | Agente pedagógico de lenguaje natural | Generación de problemas matemáticos, verbales, personalizados. |
| | | Modelado del comportamiento de los estudiantes | No modela el comportamiento de los estudiantes |
| | Herramientas del STI | | Técnicas de minería de datos |
| | | | Algoritmos genéticos |
| | | | Reglas de asociación |
| Evaluación del STI | | Si/No | SI |
| | | Técnica de Evaluación | Evaluación cualitativa |
| | | Enfoque de Evaluación | Se presenta la evaluación preliminar del STI propuesto, utilizando ejemplos. No fue evaluado en escenarios pedagógicos reales. |
| Framework | | | SI |
| N/M: No se menciona | | | |

4.2.2 Aleks (Assessment and Learning in Knowledge Spaces)

A través del proyecto denominado: "Use of an Intelligent Tutoring System for Mathematics by Students Who Aspire to Enter the Technological University of Panama[63] , durante el ingreso 2018, los participantes tuvieron la oportunidad de interactuar vía Internet, con un STI de matemática, denominado Aleks, para conocer su nivel de conocimiento matemático,

y recibir tutoría personalizada para mejorarlo. La figura 7, muestra la pantalla de inicio de Aleks.

Figura 7. Aleks



El STI consta de una evaluación de colocación (EC) y cinco posibles módulos de preparación (MP). La EC sondea los conocimientos de matemática previos, que posee el estudiante, y permite identificar los temas que domina y los que necesita aprender. A partir del resultado de esta EC diagnóstica, el STI genera una ruta de aprendizaje de acuerdo a las necesidades de cada estudiante dentro del MP.

La plataforma registra de manera automática los datos de la interacción estudiante-STI. Los reportes que genera contienen la siguiente información: fecha, duración, resultado de cada EC (en una escala de 0 – 100 puntos); porcentaje de temas del MP inicialmente dominados por el estudiante (prorratedo directamente del resultado de la EC inicial) y porcentaje de temas dominados al momento de solicitar el informe (determinado a partir de la última EC realizada); tiempo total de estudio en el MP. La tabla 6 presenta los criterios de análisis del STI.

El STI contempla cinco niveles de colocación, los cuales pueden verse en la tabla 5, correspondientes a los cinco módulos de preparación, y alineados básicamente con los contenidos matemáticos usuales de la escuela secundaria entre 7° y 11° grado.

Tabla 5. Niveles de colocación y rangos recomendados[63]

| Resultado de EC | Nivel de colocación | Nivel codificado |
|-----------------|-------------------------------|------------------|
| < 10 | Pre-álgebra (7° grado) | 1 |
| 10 - 24 | Álgebra básica (8° grado) | 2 |
| 25 - 39 | Álgebra intermedia (9° grado) | 3 |
| 40 - 54 | Álgebra avanzada (10° grado) | 4 |
| > 55 | Pre-cálculo (11° grado) | 5 |

El número de estudiantes que activaron su cuenta del STI fue de 2378, de los que 1127 no realizaron o no llegaron a completar la EC inicial. Los otros 1251 que si la completaron conforman la cohorte de usuarios del STI. Esta cifra representa el 13.0% de la población de estudiantes que realizaron la PAA (Prueba de Aptitud Académica).

La distribución por sexo en la cohorte es similar para varones (54.4%) y mujeres (45.6%). También se dio una distribución similar por tipo del colegio: 49.7% para colegios particulares y 50.3% para colegios oficiales (8.4% institutos profesionales y técnicos, IPTs, y 41.9% las demás escuelas oficiales).

La distribución por ingreso familiar revela que 14.6% de los estudiantes provienen de hogares con un ingreso muy bajo, 38.9% de hogares con ingreso medio bajo, 28.4% de hogares con un ingreso medio, 7.4% de hogares con un ingreso medio alto, y 10.8% de hogares con un ingreso alto.

De las respuestas del cuestionario se desprende que 29.6% de los estudiantes siente mucha angustia hacia el estudio de matemática, 31.2% fracasó la asignatura alguna vez en los últimos 3 años de secundaria, dos terceras partes proceden de casas donde se lee de vez en cuando, mientras que los restantes se dividen de manera similar entre hogares en los que se lee frecuentemente y hogares en los que no se lee nunca.

Un total de 1055 estudiantes interactuaron con el MP, un 84.3% de la cohorte. La dedicación horaria promedio fue de 14.2 ± 24.2 horas (rango: 0 – 310 horas), lo que redundó en un incremento promedio en porcentaje de temas aprendidos de 11.7 ± 15.0 % del contenido del módulo. En números redondos, una hora de estudio conlleva un aprendizaje de cerca del 1% del contenido del módulo, aproximadamente 2 temas.

No se detectaron diferencias significativas por sexo, provincia del colegio, o ingreso familiar mensual. Solamente por tipo de colegio se mantuvo una diferencia significativa, mostrando los colegios particulares un mayor incremento que los oficiales .

Respecto a las variables actitudinales y del entorno familiar, sólo resultó significativo haber fracasado en matemática alguna vez en los últimos 3 años.

Por otra parte, se muestra una correlación muy débil entre el promedio de la secundaria, el resultado de la parte de matemática, del examen de admisión, y el resultado de la EC inicial. En cambio, la correlación es fuerte, con respecto al tiempo de estudio, dentro del módulo de preparación.

Para el análisis de los datos se utilizaron métodos cuantitativos y pruebas estadísticas, la prueba t de Student y la prueba ANOVA (por sus siglas en inglés, ANalysis Of VAriance).

El resultado más significativo es la fuerte correlación entre la mejora en el aprendizaje de temas en el MP y el tiempo invertido en estudiar en el módulo, así como la débil correlación con los conocimientos previos, medidos por las variables académicas promedio de secundaria, resultado de la parte matemática del PAA y la EC. Esto sugiere que la plataforma es lo suficientemente amigable para que cualquier estudiante pueda beneficiarse de ella, siempre y cuando le dedique tiempo.

El porcentaje de temas dominados por la cohorte aumentó en promedio más del 10%, con una dedicación promedio de alrededor de 14 horas.

En el corazón de ALEKS está un motor de inteligencia artificial que evalúa a cada estudiante de manera individual y continua, a través de la Teoría de los Espacios de Conocimiento [24].

El aprendizaje y la evaluación en Aleks, actúan como una forma de práctica de recuperación (también conocida como aprendizaje mejorado por evaluaciones (test-enhanced learning)) [81].

Numerosos estudios han demostrado que verse obligado a recordar información de forma activa ayuda a solidificar esa información en la memoria a largo plazo [79][81][82]. Estos beneficios hacen que la interacción entre la evaluación y el aprendizaje sea una característica central del sistema ALEKS.

La figura 8, muestra un ejemplo de interfaz del sistema Aleks. Donde se puede ver, un ejercicio básico de matemática. En la parte superior izquierda se indica que la respuesta al problema fue incorrecta, en la parte derecha se invita al alumno a realizarlo nuevamente y se da la posibilidad de solicitar una explicación, presionado el botón Explain.

Figura.8 Interfaz de Aleks

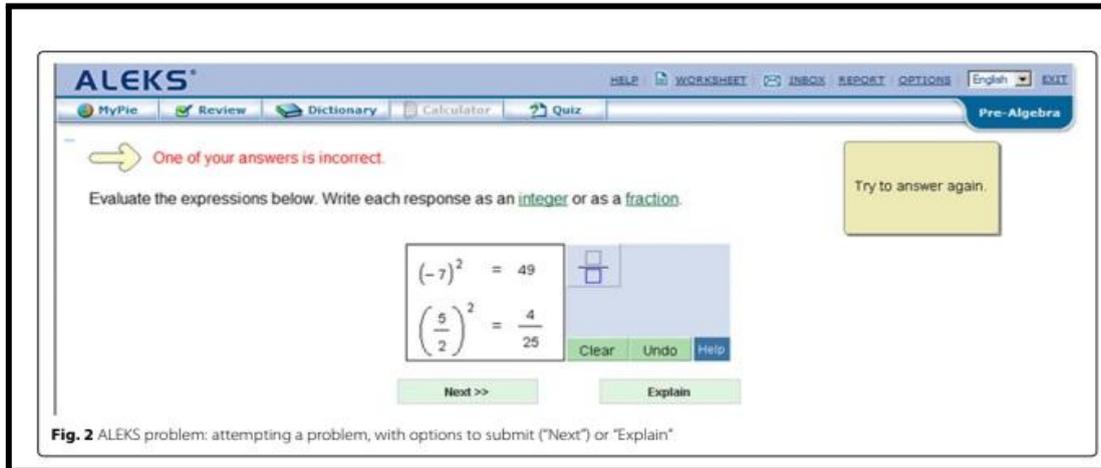


Fig. 2 ALEKS problem: attempting a problem, with options to submit ("Next") or "Explain"

Tabla 6. Características de Aleks

| | | | |
|-------------------------------|----------------------|--|--|
| Descripción General | | Universidad de California en Irvine (UCI) | Estados Unidos. En 2013 lo adquirió McGraw-Hill |
| | | Tipo de Artículo | Documento |
| | | Dominio | Matemática |
| | | Nivel educativo | Secundario |
| Feedback con el STI | | Feedback con otros STI | Si |
| | | Feedback con la actividad | Sobre la tarea: Si Procesamiento de la tarea: Si |
| Metodológico-educativo | Funciones del STI | Metodología para el Diagnostico Inicial | Evaluación de colocación |
| | | Metodología de personalización de aprendizaje | Ruta de aprendizaje de acuerdo al módulo de preparación (MP) |
| | | Agente pedagógico de lenguaje natural | N/M |
| | Herramientas del STI | Modelado del comportamiento de los estudiantes | N/M |
| Evaluación del STI | | Si/No | Si |
| | | Técnica de Evaluación | Evaluación cuantitativa-cualitativa |
| | | Enfoque de Evaluación | Validar la efectividad y confiabilidad de la herramienta para medir y nivelar el conocimiento de los estudiantes que terminaron el secundario y aspiran a ingresar a la Universidad. |
| Framework | | | N/M |
| N/M | No se menciona | | |

4.2.3 Auto-Tutor

Fue desarrollado en el Instituto de Sistemas Inteligentes, de la Universidad de Memphis, EEUU.

AutoTutor es un agente pedagógico que mantiene una conversación en lenguaje natural con los estudiantes, y simula los diálogos de tutores humanos, así como sus estrategias pedagógicas [43][45][66].

Se desarrolló también un AutoTutor sensible al afecto, que responde de manera inteligente a las emociones del estudiante, como la confusión, la frustración y el aburrimiento [30].

Se han hecho experimentos, donde se realizan comparaciones con tutores humanos capacitados, y la utilización de AutoTutor y otros STI que utilizan la técnica conversacional, y no se han encontrado grandes diferencias [70][99][94].

Las características de AutoTutor, que explican las mejoras en el aprendizaje [40][42][57][98] son:

- El contenido de lo que dice el agente.
- La solidez de los mecanismos de conversación.

Un mecanismo de conversación que se utiliza tanto en AutoTutor como en la tutoría humana es el denominado, diálogo adaptado a las expectativas y mensajes erróneos (EMT dialogue, por sus siglas en inglés, expectation & misconception-tailored dialogue).

Al utilizar el mecanismo EMT, los tutores humanos anticipan las respuestas correctas (llamadas expectativas) y los conceptos erróneos, al hacer preguntas o plantear problemas desafiantes a los estudiantes.

A medida que los estudiantes expresan sus respuestas; que se distribuyen en múltiples turnos de conversación; sus contribuciones, se comparan con las expectativas y los conceptos erróneos, mediante la comparación de patrones semánticos.

Los tutores dan retroalimentación a las respuestas de los estudiantes, con respecto a la coincidencia de las expectativas o conceptos erróneos. Algunos de los comentarios son breves y consisten en expresiones positivas, neutras o negativas, ya sea en palabras, con entonación o con expresiones faciales.

Después de una breve retroalimentación, el tutor trata de guiar al alumno para que exprese las expectativas (buenas respuestas), a través de múltiples movimientos de diálogo, como frases: ¿qué más?, sugerencias o indicaciones.

Cuando el alumno no responde correctamente a la pregunta, el tutor aporta información, en forma de enunciado.

AutoTutor implementó con éxito casi todos los mecanismos de conversación de los tutores humanos, pero no pudo manejar la mayoría de las preguntas de los estudiantes.

En las aulas o en la tutoría, las preguntas de los estudiantes son poco frecuentes ya que es el maestro o tutor quien tiende a controlar la enseñanza [41] .

Para dar solución a esto, se utilizan técnicas de distracción, con el objetivo de manejar las preguntas de los estudiantes tales como:

- ¿Cómo respondería a esa pregunta? o
- "AutoTutor" no puede responder esa pregunta ahora.

Como consecuencia del uso de esta técnica, las preguntas de los estudiantes terminan rápidamente, en las sesiones de tutoría con AutoTutor [46].

Hay dos problemas aún vigentes:

- El primer problema aborda los estándares de los estudiantes sobre lo que significa cubrir correctamente una respuesta similar a una oración.

Si una buena respuesta tiene cuatro palabras de contenido (A, B, C, D), los estudiantes quieren crédito completo, si pueden expresar sólo una o dos de las palabras (por ejemplo, A y B).

Se frustran cuando sus respuestas parciales solo reciben comentarios neutrales o negativos del tutor. Los estudiantes creen que han cubierto la respuesta de la oración, pero AutoTutor no la califica como cubierta, a menos que expresen las palabras restantes (C y D).

- El segundo problema aborda el desenfoque semántico que ocurre entre las expectativas y los conceptos erróneos, cuando los algoritmos de comparación, se basan en algoritmos estadísticos como LSA, (basado en superposición de palabras y expresiones regulares).

Una solución a este desafío es hacer que AutoTutor brinde comentarios neutrales, cuando las coincidencias semánticas son inciertas o imperfectas.

Para ayudar a corregir los problemas planteados, se han desarrollado diálogos a tres bandas, en los que el ser humano interactúa con dos agentes, normalmente un agente estudiante y un agente tutor [48][49][50][64]; de esta manera cuando la respuesta del alumno es incompleta, el estudiante agente, puede completar las palabras que faltan y articular una respuesta más completa, brindando un razonamiento colaborativo, y evitando de esta manera, una retroalimentación negativa para el alumno.

AutoTutor tiene distintas estructuras de datos estáticas que se pueden crear, y actualizar. Incluye también, otras formas de representación del conocimiento del mundo, como libros de texto, glosarios y estructuras gráficas conceptuales.

Todas las versiones analizan el conocimiento de los estudiantes, mediante el análisis semántico latente (LSA, por sus siglas en inglés). Auto-Tutor, compara la respuesta de un alumno con un ideal de respuesta; el grado de aprendizaje se refleja en la calidad de la respuesta que se brinda .

También recopila los estados afectivos del alumno, frustración, aburrimiento, fluidez, confusión, eureka, neutral, mediante la utilización de mecanismos no invasivos, como cámara facial, rastreo de pupilas, silla sensible para lectura de postura.

En segundo lugar, hay reglas de conversación [69] .

En tercer lugar, existen diferentes categorías de Expresiones Congeladas que tienen distintas funciones discursivas. Por ejemplo, hay diferentes formas en que AutoTutor puede expresar comentarios positivos (sí, bueno, genial, fantástico, correcto) y diferentes formas en que el estudiante puede expresar actos de habla metacomunicativos (¿Qué dijiste? Por favor, repite. Lo hice. No escuche eso.) En cuarto lugar, está el guión del plan de estudios.

Toda la información recopilada durante la interacción AutoTutor-estudiante se almacena en el "registro de archivos". Estos archivos se introducen en Log Analyzer, y sirven de información al planificador de la lección o al ingeniero de conocimiento.

El grado de aprendizaje de un estudiante se refleja en la calidad de la respuesta, que se mide mediante el uso de la técnica de modelo de estudiante, llamada análisis semántico latente (LSA). Se muestra en la figura 9 el framework de Auto Tutor.

Las mejoras en el aprendizaje con AutoTutor se han evaluado en más de 20 experimentos desde su creación en 1997.

Las evaluaciones de AutoTutor sobre las ganancias de aprendizaje han mostrado tamaños de efecto de aproximadamente 0,8 unidades de desviación estándar en las áreas de alfabetización informática [43] y Física newtoniana [98] , situando a AutoTutor entre un tutor humano no capacitado [19] y un sistema de tutoría inteligente con estrategias de tutoría ideales [23] .

AutoTutor mejora el aprendizaje entre 0 y 2,1 sigma (una media de 0,8), según la medida del rendimiento del aprendizaje, la condición de comparación, el tema y la versión de AutoTutor.

Las medidas de aprendizaje han incluido:

- (1) Preguntas de opción múltiple sobre conocimientos superficiales, sobre definiciones, hechos y propiedades de los conceptos.
- (2) Preguntas de opción múltiple sobre conocimientos profundos, sobre razonamiento causal, justificación de afirmaciones y fundamentos de los procedimientos.
- (3) Calidad en el ensayo, cuando los estudiantes intentan responder problemas desafiantes.
- (4) Una “tarea de cloze” que hace que los estudiantes completen las palabras faltantes de textos, que articulan el razonamiento explicativo sobre el tema.
- (5) Desempeño en resolución de problemas .

Las mayores ganancias de aprendizaje de AutoTutor se dan en aquellos aprendizajes de razonamiento profundo.

AutoTutor es más efectivo, cuando existe un desfase intermedio entre los conocimientos previos del alumno, y las respuestas ideales de AutoTutor; por otro lado, no es particularmente eficaz para facilitar el aprendizaje en estudiantes con conocimientos de alto dominio.

La interfaz de Auto Tutor posee un entorno de aprendizaje con dos agentes, un tutor y un compañero, ambos son avatares con inteligencia artificial, que involucran al alumno en una

conversación; se adaptan a su desempeño y le facilitan el proceso de aprendizaje. La figura 10 muestra la interfaz gráfica de Auto Tutor.

AutoTutor demuestra que los sistemas de tutoría conversacional pueden ayudar a los estudiantes en una variedad de dominios y materias.

Se desarrolló para cubrir temas de alfabetización informática [42]. Luego se amplió para cubrir los temas de física newtoniana y las habilidades de pensamiento crítico [29]. En la tabla 7 se muestra el detalle de las características de Auto Tutor.

Figura 9. Framework de AutoTutor

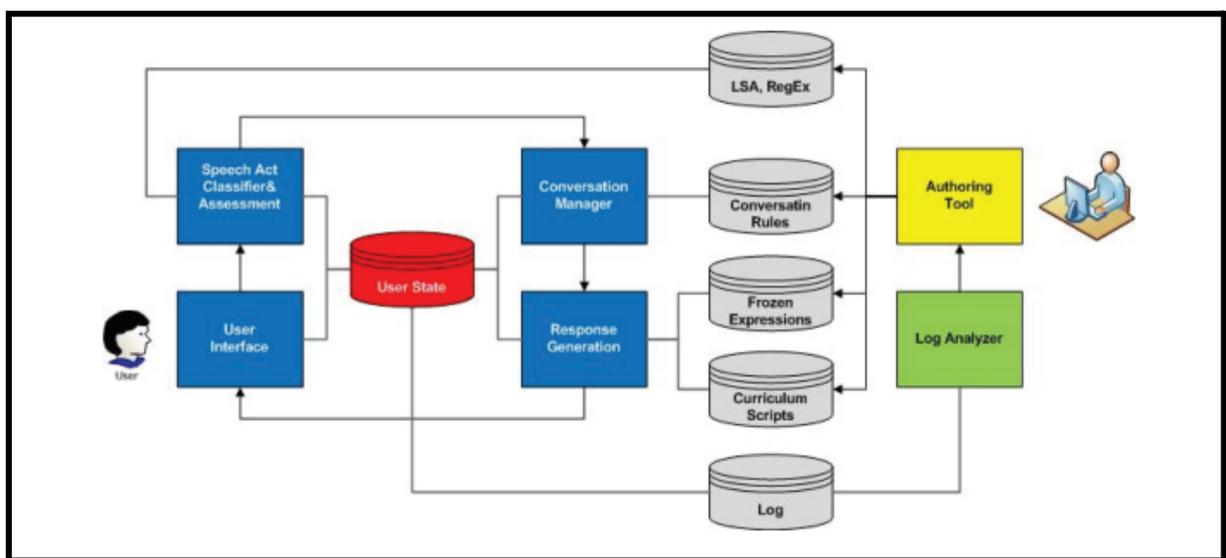


Figura 10. Interfaz de AutoTutor



Tabla 7. Características de Auto-Tutor.

| | | | |
|-------------------------------|----------------------|---|--|
| Descripción General | | Universidad de Menfis, Estados Unidos | Estados Unidos |
| | | Tipo de Artículo | Journal-Research article |
| | | Dominio | Múltiples dominios |
| | | Nivel educativo | Secundario |
| Feedback con el STI | | Feedback con otros STI | Si |
| | | Feedback con la Actividad | Sobre la tarea: Si |
| | | | Procesamiento de la tarea: Si |
| | | | Autorregulación: Si |
| Metodológico-educativo | Funciones del STI | Métodología para el Diagnostico Inicial | N/M |
| | | Metodología de personalización de aprendizaje | Se determina el conocimiento de los estudiantes mediante el análisis semántico latente (LSA) |
| | | Agente pedagógico de lenguaje natural | Agente animado |
| | | Modelado del comportamiento de los estudiantes | Recopila los estados afectivos de los alumnos. |
| | Herramientas del STI | Aprendizaje con dos avatares que poseen inteligencia artificial | |
| Evaluación del STI | | Si/No | Si |
| | | Técnica de Evaluación | Evaluación cualitativa |
| | | Enfoque de Evaluación | Se plantean los logros de aprendizaje. Se sugieren los desafíos de la implementación del STI, y las diferencias entre tutores humanos y virtuales. |
| Framework | | | Si |
| N/M: No se menciona | | | |

4.2.4 SKOPE-IT

SKOPE-IT (Shareable Knowledge Objects as Portable Intelligent Tutors): superposición de tutorías de lenguaje natural en un sistema de aprendizaje adaptativo para matemáticas [67].

El costo de desarrollar y distribuir los STI, a menudo ha significado que las tecnologías menos adaptables, dominen la tecnología educativa (por ejemplo, tareas basadas en la web, videos en línea).

Manejar una gran variedad de dominios es difícil, es por esto, que los SIT tienden a estar estrechamente vinculados a actividades específicas de aprendizaje (p. ej., resolver un problema de matemática).

SKOPE-IT almacena y entrega servicios basados en la web; está diseñado para integrar múltiples aplicaciones, usando mensajería semántica.

Se utilizó SKOPE-IT, para integrar AutoTutor [67], y ALEKS (por sus siglas en inglés, Assessment and Learning in Knowledge Spaces) sistema comercial de aprendizaje de matemática [33].

ALEKS es un entorno comercial de aprendizaje en línea que contiene material sobre matemática, física y química; trabaja en la selección del problema (bucle externo), mientras que Auto Tutor trabaja, a nivel de pasos del problema (bucle interno) [97].

En la figura 12, se puede observar la interfaz de usuario de SKOPE IT.

En términos de la taxonomía de Bloom, ALEKS se enfoca principalmente en aplicar habilidades de matemática, mientras que las preguntas de AutoTutor pueden ayudar a los estudiantes a comprender, analizar y evaluar conceptos matemáticos.

Al construir SKOPE-IT, el objetivo es combinar:(1) ejemplos resueltos[85], (2) autoexplicación [2] y (3) aprendizaje impulsado por un callejón sin salida [96].

SKOPE-IT integra los diálogos usando HTML y coordina la comunicación en tiempo real entre una variedad de servicios web [66]. En SKOPE-IT, cada servicio se comunica con otro servicio mediante mensajes semánticos, que pasan a través de los nodos de enlace (por ejemplo, una solicitud mediante un texto).

Los nodos de enlace determinan la estructura de la red, comunicándose entre sí a través de protocolos estandarizados (HTML5 postMessage). En la tabla 8 se muestran los criterios de análisis de SKOPE IT.

La figura 11, muestra la estructura del servicio central de SKOPE-IT, donde se observa los nodos de enlace representados por círculos, indicando las puertas de enlace del cliente y las puertas de enlace del servidor, con las letras C y S, respectivamente (Ej. C1 frente a S1). Los servicios se muestran como rectángulos, los servicios de terceros en gris. Estos incluyen a ALEK y al servicio LSA (Latent Semantic Analysis).

Utilizando este sistema integrado se llevó adelante un estudio para analizar tres preguntas de investigación:

- a) ¿Las explicaciones de ALEKS conducirán a un mejor aprendizaje?
- b) ¿La tutoría basada en el diálogo conducirá una mayor competencia matemática?
- c) ¿Los estudiantes con dominio de matemática prefieren trabajar con los agentes?.

El estudio se llevó adelante con 112 estudiantes de álgebra básica de la universidad de Mid-South. De los ingresantes el 32% no llegó a la evaluación final.

Existen tres tipos de deserciones: estudiantes que abandonan poco después de la evaluación inicial, bajas en el semestre, bajas que ocurrieron tres semanas antes de la evaluación final. Del total, 76 estudiantes fueron evaluados en sus logros de aprendizaje, ya que lograron llegar a la evaluación final.

La recopilación de datos se realizó a través de cuatro mecanismos:

Registros de datos de ALEKS, registros de SKOPE-IT (recopilación de datos de interacción del estudiante con AutoTutor) , encuestas a los estudiantes, y una prueba de transferencia lejana sobre matemática básica (prueba diagnóstica sobre habilidades básicas, BSDT [32].

Luego del análisis de los datos, se concluyó que no se lograron ganancias significativas en el aprendizaje (a). El sistema tuvo una aceptación moderada pero no fue determinística.

La segunda hipótesis planteada, no pudo comprobarse (b).

La tercera hipótesis no tuvo suficiente apoyo, pero mostró una tendencia si se recolectan más datos.

Estos sistemas mostraron la importancia de los hábitos de estudio autorregulados, que se asociaron con las ganancias de aprendizaje. Del mismo modo se asoció un peor aprendizaje general, con la desconexión al sistema adaptativo, lo que indica que tal escala podría ayudar a predecir rendimientos decrecientes.

Hallazgos previos con AutoTutor indicaron pocas ganancias de aprendizaje adicionales al usar agentes animados en lugar de solo voz o incluso interacciones de solo texto [25][66].

Las revisiones generales de los agentes pedagógicos también han encontrado pequeños efectos en el aprendizaje [84] o ningún efecto en el aprendizaje [54] , lo que indica que sólo pueden ser útiles en ciertos contextos.

Algunos diseños de agentes pedagógicos, permiten a los usuarios controlar el ritmo, usar agentes para dar explicaciones (en lugar de solo retroalimentación) y usar la voz en lugar de texto [54]. La voz y la interactividad tienen un ritmo mínimo inherente que es más lento, que hojear texto o saltar a partes útiles de un video.

Figura 11. Framework de SKOPE-IT. Estructura del servicio central de SKOPE-IT[65]

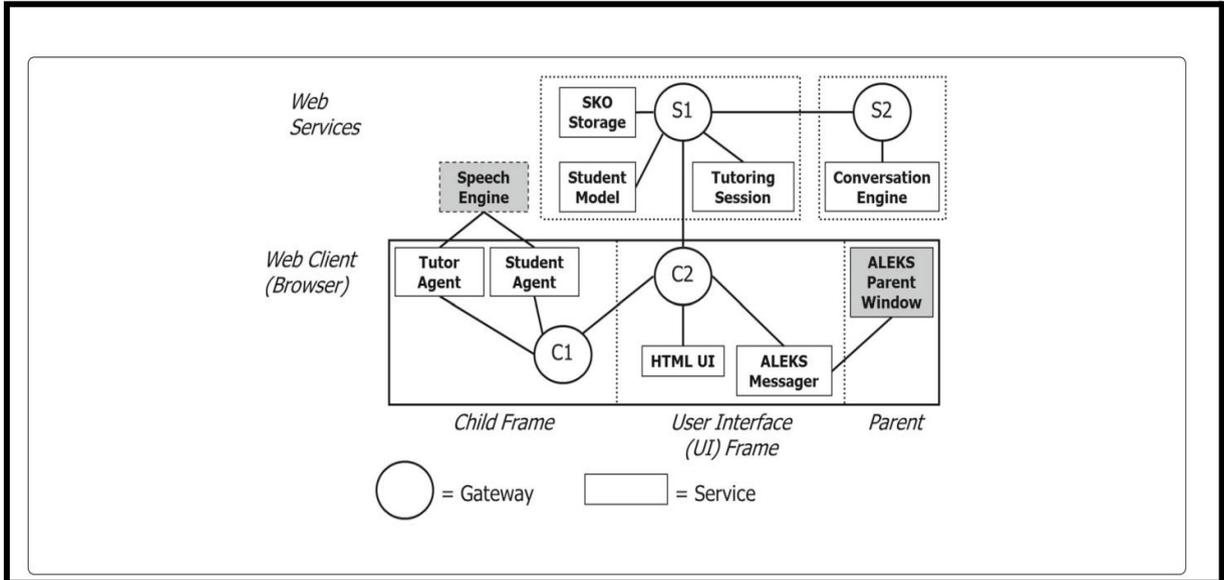


Figura 12. Interfaz de SPOKE-IT. Integración de un ejemplo resuelto tutorizado en ALEKS [65]

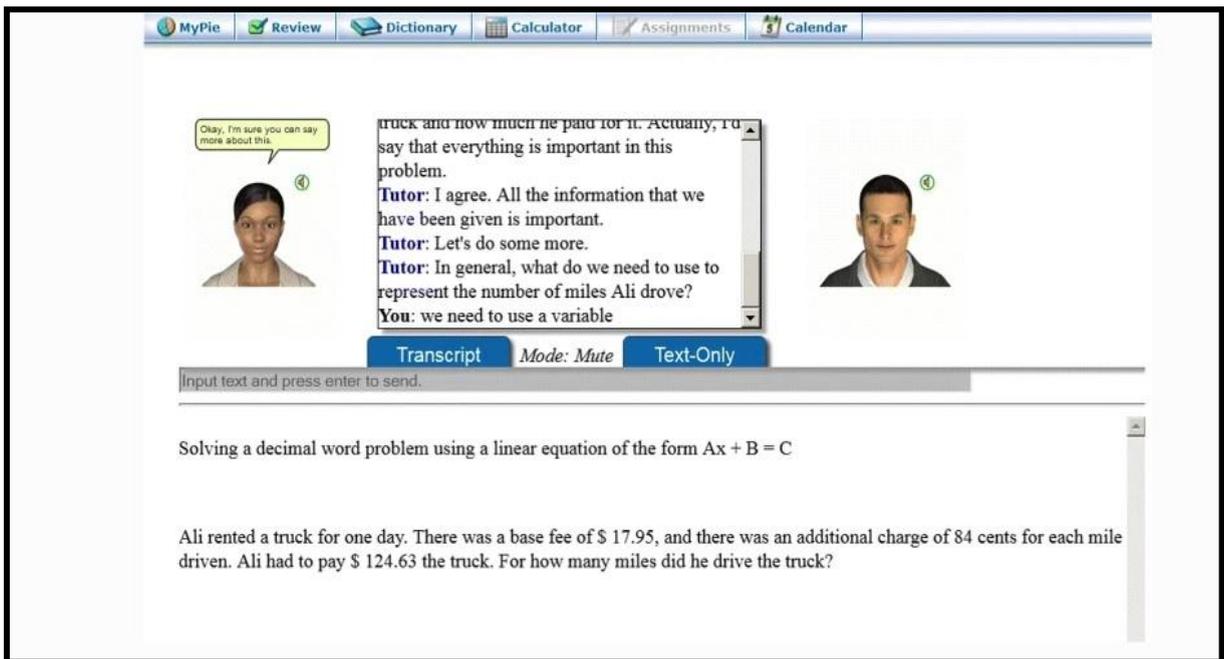


Tabla 8. Características de SPOKE-IT

| | | | |
|-------------------------------|----------------------|--|---|
| Descripción General | | Instituto para Tecnologías Creativas, Universidad del Sur de California, Instituto para Sistemas Inteligentes, Universidad de Memphis | Estados Unidos |
| | | Tipo de Artículo | Journal |
| | | Dominio | Matemática |
| | | Nivel educativo | Secundario |
| Feedback con el STI | | Feedback con otros STI | Arquitectura orientada a servicios. Utiliza mensajes semánticos, HTML5 postMessage |
| | | Feedback con la Actividad | N/M |
| Metodológico-educativo | Funciones del STI | Métodología para el Diagnostico Inicial | N/M |
| | | Metodología de personalización de aprendizaje | N/M |
| | | Agente pedagógico de lenguaje natural | N/M |
| | | Modelado del comportamiento de los estudiantes | N/M |
| | Herramientas del STI | | N/M |
| Evaluación del STI | | Si/No | Si |
| | | Técnica de Evaluación | Evaluación cuantitativa-cualitativa |
| | | Enfoque de Evaluación | Investigar los resultados del aprendizaje y las percepciones de los usuarios a partir de las interacciones con un STI híbrido creado mediante la combinación del sistema de tutoría conversacional AutoTutor, con el sistema de aprendizaje para matemática ALEKS . |
| Framework | | | Si |
| N/M No se menciona | | | |

4.2.5 Lexue 100

En la literatura china sobre STI, se ha escrito mucho sobre el diseño de la arquitectura del sistema, el principio de diseño de enseñanza y aprendizaje, y otras discusiones teóricas, pero se encuentran muy pocos artículos sobre la aplicación práctica y la evaluación de STI.

Para enriquecer la investigación de evaluación de STI en el contexto chino, se llevó adelante una investigación empírica, para verificar los efectos de "Lexue 100", un sistema inteligente para la enseñanza y el aprendizaje de matemática [112] .

"Lexue 100" consiste en un método de enseñanza basado en 3I (por sus siglas en inglés), adaptación individual (Individualized Adaptation), dominio incremental (Incremental Mastery), y descubrimiento interactivo (Interactive discovery).

El sistema utiliza técnicas de análisis de big data para analizar el comportamiento de aprendizaje en línea de los estudiantes, y brinda a los mismos, asesoramiento personalizado. En la tabla 9 se pueden ver las características de Lexue 100.

El objeto de la investigación estuvo formado por alumnos de 19 escuelas, entre primarias y secundarias (12 escuelas primarias y 7 escuelas secundarias) que utilizaron el sistema "Lexue 100" para ayudar en la enseñanza de matemáticas.

Se llevó a cabo un estudio cuasi experimental y se seleccionaron varias clases en cada escuela. Por un lado, hubo clases experimentales, en las que los maestros usaron "Lexue 100" como una herramienta de asistencia a la enseñanza, además de la enseñanza tradicional; mientras que otros alumnos, sólo tuvieron las clases tradicionales, sin asistencia de STI.

El experimento se llevó adelante entre marzo de 2016 y enero de 2017.

Cómo metodología para realizarlo, se recolectaron datos utilizando el método de encuesta a través de un cuestionario en internet, donde se recopiló la actitud y experiencia de los estudiantes, al usar el sistema.

Para evaluar el efecto del estudio, se recolectaron resultados de exámenes finales del segundo semestre de primer grado y del primer semestre de segundo grado.

En cuanto al sexo de los alumnos, los varones fueron 512 (51,9%) y las mujeres 474 (48,1%). La edad es de aproximadamente 10 años. Los estudiantes dedicaron en promedio 5,4 veces por semana y 31,3 minutos por día a trabajar en el STI.

Para medir la validez de la muestra se utilizó la prueba KMO (Métricas de Kaiser-Meyer-Olkin para la suficiencia muestral) y Bartelett (la prueba de Bartelett se utiliza, para saber si k-muestras provienen de poblaciones con la misma varianza). La validez de las herramientas de medición, permiten reflejar la eficacia de la muestra.

Para medir la consistencia, estabilidad y confiabilidad de los resultados de la prueba se utilizó el coeficiente alfa de Cronbach.

De la evaluación efectuada el ítem que obtiene la mayor puntuación (4,41 puntos) es el de “Me complace utilizar el sistema”. Muchos factores en el sistema motivan los intereses de aprendizaje, como son, la interfaz, el diseño, la confianza en el uso, las preguntas de alta calidad, etc.

La retroalimentación que brinda el STI, aumenta la confianza en el aprendizaje de los estudiantes, y el mecanismo de preguntas y respuestas en línea, ayuda a resolver sus problemas de aprendizaje.

Tanto el resultado de la encuesta de los estudiantes, como la puntuación del examen, demuestran que el sistema de tutoría inteligente para la enseñanza personalizada de matemática “Lexue 100”, tiene un efecto positivo en el interés y el aprendizaje de los estudiantes.

Además, el sistema mejora la capacidad de los estudiantes para: analizar y resolver problemas, ayudar al aprendizaje, fomentar el interés por aprender, consolidar la autoconfianza, y dominar los conocimientos relevantes.

Los comentarios negativos y sugerentes de los estudiantes en las encuestas, fueron los siguientes: "aumentar la dificultad de las preguntas de la prueba", "aumentar la cantidad de juegos educativos, y aumentar el mecanismo de incentivos", por lo que se deberá realizar una mejora funcional del mismo, para cubrir estos requerimientos.

Tabla 9. Características de Lexue 100.

| | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|---|--|
| Descripción General | | Departamento de Tecnología Educativa, Facultad de Educación, Universidad de Pekín, Pekín, China | Desarrollado por :Beijing Lexue 100 Online Education Technology Co., Ltd .China |
| | | Tipo de Artículo | Simposio |
| | | Dominio | Matemática |
| | | Nivel educativo | Primaria/secundaria |
| Feedback con el STI | | Feedback con otros STI | N/M |
| | | Feedback con la Actividad | Sobre la tarea: Si |
| | | | Procesamiento de la tarea:Si |
| Metodológico-educativo | Funciones del STI | Métodología para el Diagnostico Inicial | N/M |
| | | Metodología de personalización de aprendizaje | "Método de las 3I "(Adaptación individual, Dominio Incremental, Descubrimiento interactivo) |
| | | Agente pedagógico de lenguaje natural | N/M |
| | | Modelado del comportamiento de los estudiantes | NM |
| | Herramientas del STI | | Técnicas de big data |
| Evaluación del STI | | Si/No | Si |
| | | Técnica de Evaluación | Cuasi-experimental |
| | | Enfoque de Evaluación | Evaluar el efecto del STI en la enseñanza de las matemáticas, en comparación con la enseñanza tradicional de la materia. |
| Framework | | | N/M |
| N/M: No se menciona | | | |

4.2.6 Prototipo de diseño de sistema inteligente de tutoría electrónica de matemática para estudiantes con problemas de aprendizaje específicos.

Los estudiantes con discapacidades específicas de aprendizaje (SLDs, specific learning disabilities) a menudo experimentan emociones negativas cuando resuelven problemas matemáticos, las cuales tienen dificultad para manejar. Esta es una de las razones por las que las herramientas de aprendizaje electrónico de matemática , no son efectivas para estos estudiantes.(Ejemplos, Khan Academy (2019), STMath(2019)).[112]

Se trabajó con cinco maestros especializados en estudiantes con SLD para diseñar un sistema inteligente de tutoría electrónica. En la figura 10 , se pueden observar las

características del sistema de tutoría para alumnos con problemas de aprendizaje específicos.

El sistema propuesto combina datos de seguimiento ocular, entradas en la pantalla táctil y tiempo de respuesta, para modelar el comportamiento de los estudiantes.

Muchos estudiantes con SLDs muestran comportamientos emocionales negativos específicos [112]. El sistema detecta tres tipos de conductas emocionales negativas:

1. Si sus ojos no han mirado la pantalla durante más de un minuto, el sistema interpreta que el estudiante está distraído.
2. Si presiona la pantalla más de tres veces en 0.1 segundo, el sistema interpreta que el estudiante está en una situación de tensión, confusión o irritabilidad.
3. Si no ha tocado la pantalla durante más de dos minutos y ha pasado más del 70 % del tiempo mirando los botones de la interfaz de usuario , el sistema interpreta que el estudiante está vacilante.

Luego de detectar que el estudiante está exhibiendo uno de los tres comportamientos, el sistema confirmará el estado emocional a través del diálogo.

Para ayudar a los estudiantes que no saben cómo resolver un problema, se diseñaron dos métodos: dar pistas o cambiar a un problema más simple.

Proporcionar pistas es un método tradicional para orientar a los estudiantes en la dirección de la respuesta correcta. Sin embargo, si los estudiantes no pueden comprender la pista, debido a sus débiles habilidades en matemática, cambiar a un problema más simple, que coincida con su habilidad matemática, es más útil que proporcionar nuevas pistas.

Es posible que reducir el nivel de dificultad de los ejercicios no ayude a los estudiantes a recuperarse del cansancio o la ira. Muchos estudiantes con SLD, debido a las diferencias cognitivas, se sienten agotados o enojados más rápido que los estudiantes de educación general[28] .

Siguiendo las pautas para la tutoría de estudiantes con SLD [72] (recuperado de: descanso cerebrales para niños), [103], se diseñaron dos métodos para ayudar a los estudiantes a mantener o restaurar una buena emoción: elogiar un comportamiento correcto de resolución de problemas o proporcionar descansos para el cerebro.

El elogio específico del comportamiento, describe la aprobación de los aportes correctos de los estudiantes (p. ej., “¡Buen trabajo, al cortar con el dedo la pizza!”), como se puede ver en la figura 13, donde los estudiantes practican habilidades de fracción manipulando pizza de dos maneras: cortando una pizza en diferentes porciones y moviendo la cantidad correcta de porciones de pizza en diferentes platos.

La aprobación genuina es más eficaz para alentar a los estudiantes con SLDs, que el estímulo genérico (p. ej., “¡lo estás haciendo genial!”) [103].

Sin embargo, los estudiantes necesitarán descansos cerebrales, en lugar de estímulo, cuando alcancen el punto de inflexión de las emociones negativas. Un descanso mental, es un descanso de la tarea de aprendizaje actual. Pueden descansar los ojos o hacer ejercicio físico.

El sistema incorpora una especie de pausa para el cerebro, que oculta temporalmente todas las interfaces de aprendizaje electrónico, y guía a los estudiantes a jugar un juego corporal cinestésico (es decir, un juego de baile corporal que hace que el estudiante se mueva y disfrute).

Para elaborar el diseño del sistema se llevó adelante un estudio, con maestros para estudiantes con SLDs (3 mujeres, 2 hombres, entre 0,5 y 7 años de experiencia en la enseñanza de estudiantes con SLDs en los grados 3-6). Se partió de entrevistar a los docentes.

Como conclusión se determinó que el sistema responde a las necesidades de estudiantes con SLDs, pero habría que adaptarlo para estudiantes con discapacidades más severas de SLDs. En la tabla 10, se pueden ver las características generales del sistema.

Figura 13. Interfaz de Tutor inteligente de matemática para estudiantes con SLDs.

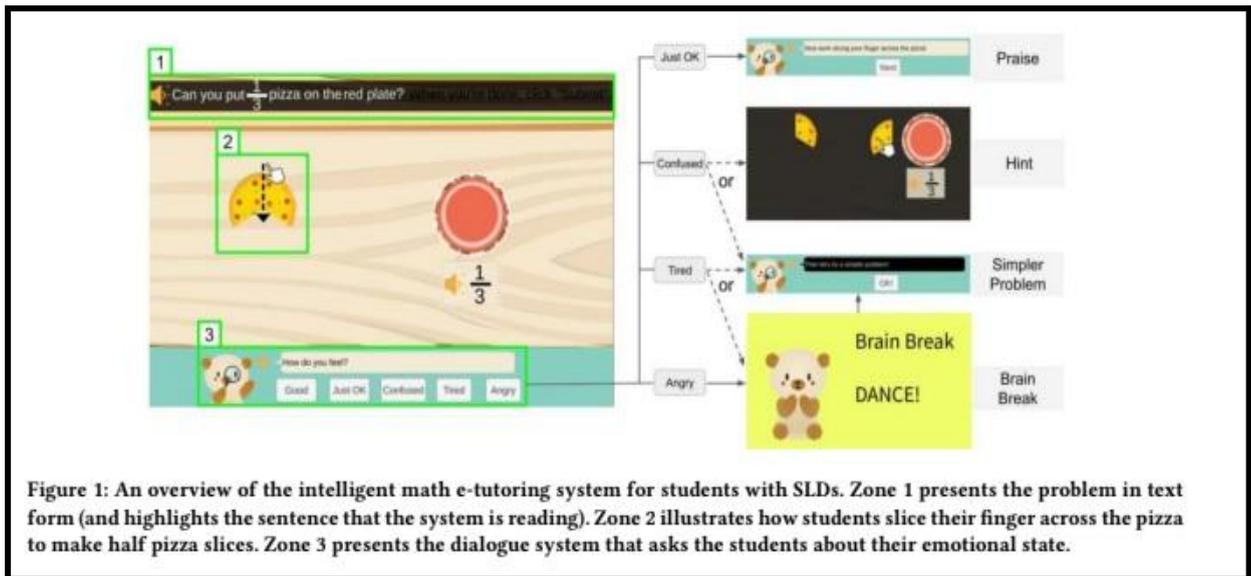


Tabla 10. Características del sistema de tutoría inteligente para estudiantes con SLDs.

| | | | |
|-------------------------------|----------------------|--|---|
| Descripción General | | Ciencias de la Computación, Cornell Tech, Estados Unidos, Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Wisconsin-Madison, Estados Unidos | Estados Unidos |
| | | Tipo de Artículo | Conferencia |
| | | Dominio | Matemática |
| | | Nivel educativo | Primaria-secundaria-Ed.Especial |
| Feedback con el STI | | Feedback con otros STI | N/M |
| | | Feedback con la Actividad | Sobre la tarea: Si |
| | | | Procesamiento de la tarea: Si |
| | | | Autorregulación: Si |
| Afectivo: Si | | | |
| Metodológico-educativo | Funciones del STI | Métodología para el Diagnostico Inicial | N/M |
| | | Metodología de personalización de aprendizaje | N/M |
| | | Agente pedagógico de lenguaje natural | SI |
| | | Modelado del comportamiento de los estudiantes | SI |
| | Herramientas del STI | | N/M |
| Evaluación del STI | | Si/No | Si |
| | | Técnica de Evaluación | Evaluación cualitativa |
| | | Enfoque de Evaluación | Diseñar un prototipo de juego de matemática, que utilice el sistema de tutoría electrónica, para reducir los comportamientos negativos en el aprendizaje de estudiantes con LSDs. |
| Framework | | | N/M |
| N/M: No menciona | | | |

4.2.7 Simplify ITS

Simplify ITS [101], es parte de un sistema más grande llamado SIMPLIFY (Sistema Tutor Inteligente basado en Modelos de Diagnóstico Cognitivo y Aprendizaje Espaciado), que consta de varios módulos donde los más importantes son, el seguimiento de los estudiantes, los informes de los estudiantes y las recomendaciones de actividades. En la tabla 11 se muestran las características de Simplify ITS.

Simplify ITS es el módulo basado en recomendaciones de actividades, que ayuda a los profesores a seleccionar la actividad más adecuada para cada alumno en función de las interacciones previas del alumno con la plataforma de aprendizaje.

Simplify ITS, no pretende reemplazar el papel de los docentes, sino que les proporciona información, para la toma de decisiones, sobre cómo adaptar la experiencia de aprendizaje a las necesidades de los estudiantes. Además, aborda dos de los desafíos más importantes en las soluciones de análisis de aprendizaje: crear bases sólidas en el aprendizaje y centrarse en el estudiante.

El perfil de habilidades de un estudiante se determina automáticamente, mediante el uso de modelos de diagnóstico cognitivo (CDMs, Cognitive Diagnosis Models).

El enfoque combina inteligencia y adaptabilidad. Para la medida psicológica se utiliza un modelo psicométrico. Y para medir la adaptabilidad se utiliza un procedimiento de diagnóstico basado en sistemas de pruebas adaptativas. El núcleo de tales sistemas es la capacidad de medir rasgos latentes, es decir, evaluar el nivel de conocimiento del estudiante y luego decidir cuál es la actividad que mejor les conduce a la meta del curso.

Los primeros modelos psicométricos aparecieron a mediados del siglo pasado cuando Benjamín D. Wright (1967) y George Rasch(1966) escribieron las primeras propuestas que constituyeron la base para los modelos actuales.

La más utilizada actualmente es la teoría de la respuesta al ítem (IRT, por sus siglas en inglés).

Simplify ITS, recomienda actividades, basado en el modelo CDMs. Por otro lado, combina el modelo psicométrico, con el método de repetición, para mejorar el proceso de aprendizaje.

Si no hay información en el sistema sobre el estudiante, el sistema ofrecerá actividades aleatoriamente, hasta lograr tener un tamaño de muestra mínimo. Una vez que se tienen

suficiente datos sobre la experiencia de aprendizaje del alumno en el curso, el sistema recomienda actividades si aún no tiene todas las habilidades del dominio.

Si ha pasado mucho tiempo desde que dominó una actividad, el sistema envía actividades de refuerzo de temas ya aprendidos, para evitar perder las habilidades dominadas. Es decir, se da prioridad al refuerzo, por sobre el aprendizaje de nuevas habilidades.

Uno de los objetivos de Simplify ITS es apoyar al docente, brindándole información que lo ayude a tomar decisiones, de cómo adaptar la experiencia de aprendizaje a sus alumnos. Es el docente quien acepta o rechaza, la actividad sugerida por el STI, para un estudiante en particular.

Si la actividad es rechazada, el sistema proporciona automáticamente otras, hasta que la recomendación es aceptada.

Simplify ITS puede considerarse como una caja negra con entradas y salidas. Las entradas son las declaraciones xAPI, la palabra API es un acrónimo que significa Interfaz de Programación de Aplicaciones (Application Programming Interface) .

Es un sistema que funciona como intermediario entre diferentes aplicaciones de software y su función es permitir que estas aplicaciones puedan comunicarse entre sí.

Mientras que las salidas son las recomendaciones que se basarán en el modelo de usuario creado a partir de los datos en las declaraciones xAPI.

Ambas interfaces (xApi rest y recommended activities) son RESTful (es decir, el servicio Web RESTful facilita la interconexión con cualquier sistema, que se encuentre en servidores remotos. Consta de cinco operaciones: listar, crear, leer, actualizar y borrar. En la figura 14, se pueden ver las operaciones RESTful.

Cada operación utiliza el método URI y el método HTTP. Donde URI es un “sustantivo” que contiene el nombre del recurso, y HTTP es un “verbo”).

En el medio hay un sistema de transmisión de datos, construido sobre la familia de herramientas de Apache Foundation, como Apache Kafka⁷ y Apache Flink⁸, como se ve en la figura 15.

A partir de la especificación xAPI, este sistema se puede integrar con cualquier sistema compatible con xAPI. El sistema fue evaluado con datos artificiales, no se realizaron pruebas concretas.

La evaluación preliminar muestra que Simplify ITS tiene éxito, en la producción de contenido de recomendación y revisión de actividades, pero se planea una evaluación más exhaustiva.

Figura 14. Operaciones RESTful:

| Operación | Método HTTP | URI | Parámetros | Resultado |
|-----------|-------------|------------|------------------------------|---------------------------|
| Listar | GET | /{recurso} | No aplica | Lista del tipo de recurso |
| Crear | POST | /{recurso} | Dentro del cuerpo en el POST | Se crea un nuevo recurso |

Figura 15. Framework del sistema SIMPLIFY.[101]

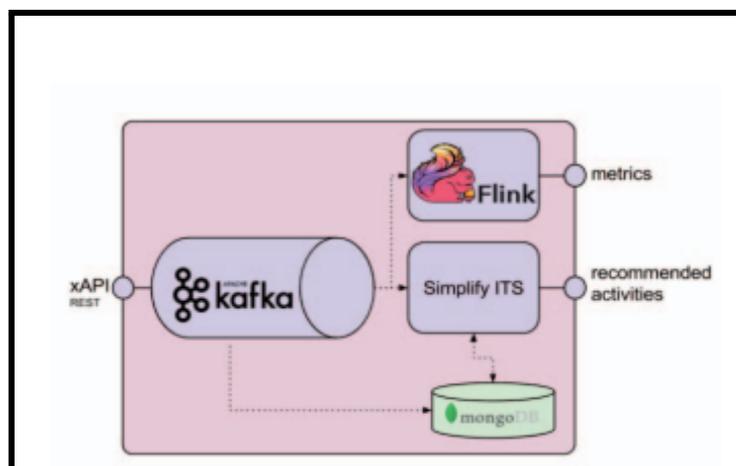


Tabla 11. Características de SIMPLIFY ITS.

| | | | | |
|-------------------------------|----------------------|--|---|-----------------|
| Descripción General | | Departamento de Servicios y Aplicaciones | España | |
| | | Centro de Investigación y Desarrollo de Galicia en Telecomunicaciones Avanzadas (GRADIANT) | | |
| | | Tipo de Artículo | | Conferencia |
| | | Dominio | | No especificado |
| | | Nivel educativo | | Secundario |
| Feedback con el STI | | Feedback con otros STI | Tiene una interfaz xAPI. | |
| | | Feedback con la Actividad | Sobre la tarea: Si | |
| | | | Procesamiento de la tarea: Si | |
| Metodológico-educativo | Funciones del STI | Métodología para el Diagnostico Inicial | N/M | |
| | | Metodología de personalización de aprendizaje | Evaluación de diagnóstico cognitivo. Sistemas de pruebas adaptativas. | |
| | | Agente pedagógico de lenguaje natural | N/M | |
| | | Modelado del comportamiento de los estudiantes | N/M | |
| | Herramientas del STI | | Especificaciones xAPI | |
| Evaluación del STI | | Si/No | Si | |
| | | Técnica de Evaluación | Evaluación cualitativa | |
| | | Enfoque de Evaluación | Evaluación preliminar en la elaboración de contenido de recomendación y revisión de actividades, en base a la estimación de las habilidades de los estudiantes. No se realizaron pruebas concretas, se utilizaron datos artificiales. | |
| Framework | | | Si | |
| N/M: No se menciona | | | | |

4.2.8 MathSpring.

MathSpring, es un entorno de práctica de matemática dentro de un tutor adaptativo, que brinda instrucción matemática, y fusiona sugerencias, ayuda y enlaces a videos educativos externos[8]. En la figura 16, se muestra la pantalla de acceso al sistema y la tabla 12 muestra las características de MathSpring.

El sistema es una integración de **Wayang Outpost y ASSISTments**. Wayang Outpost [12] es un sistema de tutoría en línea que se enfoca en las habilidades de matemática para estudiantes de nivel secundario.

ASSISTments es una plataforma que utilizan los profesores para asignar tareas digitales y actividades en el aula [53]. Tiene una biblioteca de contenido matemático, pero también es flexible para que los profesores puedan generar las preguntas que quieran. El sistema MathSpring, en su evaluación de uso, reportó una mejora de un 75%, en el aprendizaje de los estudiantes.

Figura 16. Pantalla de inicio de MathSpring.

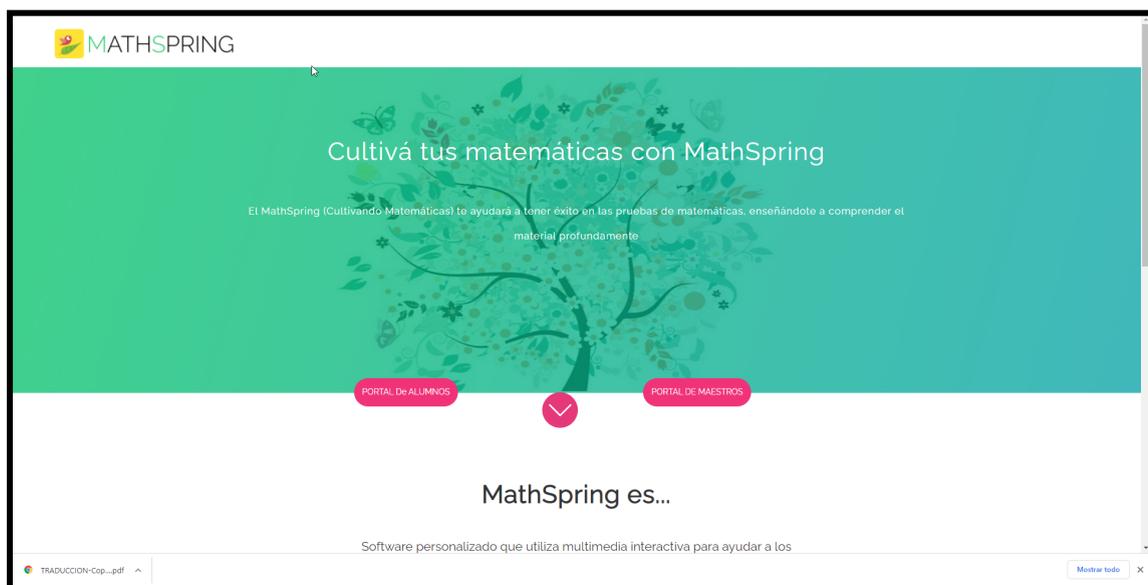


Tabla 12. Características de MathSpring

| | | | |
|-------------------------------|---------------------|--|---|
| Descripción General | | Universidad de Massachusetts-Amherst | Estados Unidos |
| | | Tipo de Artículo | Journal |
| | | Dominio | Matemática |
| | | Nivel educativo | Secundario |
| Feedback con el STI | | Feedback con otros STI | Assitments-Wayang outpost |
| | | Feedback con la Actividad | N/M |
| Metodológico-educativo | Funciones del STI | Métodología para el Diagnostico Inicial | N/M |
| | | Metodología de personalización de aprendizaje | N/M |
| | | Agente pedagógico de lenguaje natural | N/M |
| | | Modelado del comportamiento de los estudiantes | N/M |
| | Herramientas el STI | | N/M |
| Evaluación del STI | | Si/No | Si |
| | | Técnica de Evaluación | Evaluación cuantitativa-cualitativa |
| | | Enfoque de Evaluación | Evaluación de uso para determinar su eficacia |
| Framework | | | N/M |
| N/M: No se menciona | | | |

4.2.9 Wayang Outpost

Es un sistema de instrucción, que contiene el modelo empírico del estudiante, sus comportamientos e intervenciones; se enfoca en la naturaleza afectiva, cognitiva y metacognitiva del estudiante. Es decir, trabaja sobre tres áreas: la cognición, el compromiso y el afecto.[8]

Wayang Outpost es un sistema de tutoría inteligente basado en multimedia [108], brinda una amplia gama de apoyo pedagógico mientras los estudiantes resuelven problemas matemáticos [5].

El tutor apoya las habilidades estratégicas y de resolución de problemas basadas en la teoría del aprendizaje cognitivo [21] que tienen lugar cuando un maestro enseña habilidades a un aprendiz. En este caso, el experto es el sistema Wayang que asiste a los estudiantes durante la resolución de problemas matemáticos.

Las sugerencias, son un componente importante del tutor, para ayudar a los estudiantes a aprender estrategias de abordaje de problemas matemáticos; utilizando la teoría del aprendizaje propuesto por Mayer [62].

Un elemento importante del aprendizaje cognitivo, es desafiar a los estudiantes, al proporcionarles problemas un poco más difíciles que los que podrían resolver por sí mismos.

Vygotsky [104] se refirió a esto como la zona de desarrollo próximo, y sugirió que fomentar el desarrollo dentro de esta zona conduce a un aprendizaje más rápido [65]. El software proporciona una selección adaptativa de problemas con mayor o menor dificultad dependiendo del éxito y esfuerzo reciente del estudiante [6] [22].

Además de apoyar a los estudiantes, Wayang Outpost brinda apoyo a los maestros. En particular, la evaluación de Wayang del desempeño de los estudiantes a lo largo de su interacción con el sistema se realiza a través de una interfaz gráfica diseñada para mostrar el progreso de los estudiantes a los maestros.

Las herramientas para maestros se convierten así, en un punto de apoyo; ayudándolos a analizar las fortalezas y dificultades de los estudiantes en las habilidades de matemática específicas; características relacionadas con el aprendizaje profundo, como el comportamiento detallado mientras los estudiantes resuelven problemas (por ejemplo, el tiempo para intentar una respuesta o leer un problema, la cantidad de ayuda solicitada, etc.).

Estos datos se entregan a los maestros, en tiempo real a medida que los estudiantes trabajan en los problemas. Por lo tanto, los maestros pueden evaluar rápidamente qué estudiantes han dominado las habilidades, junto con el compromiso, la dimensión emocional y la motivación que han tenido en el desempeño de la actividad desarrollada.

El enfoque de tutoría del STI, se basa en el esfuerzo (EBT, por sus siglas en inglés), que es diferente en muchos aspectos al rastreo de conocimiento bayesiano más tradicional, BKT [22][105] o la Teoría de Respuesta al Ítem (IRT) [77].

EBT modela los estados cognitivos, afectivos y metacognitivos de los estudiantes a medida que interactúan con el sistema de tutoría, en base a combinaciones de tiempo de resolución, intentos o correcciones; ayudas recibidas. El BKT tradicional modela solo el

componente cognitivo del conocimiento de los estudiantes, asumiendo que la dificultad del problema, está relacionada con el conocimiento del estudiante.

Otro componente de Wayang Outpost que ha demostrado mejorar el aprendizaje de los estudiantes es la capacitación en fluidez matemática [7] . Esto implica entrenar habilidades aritméticas muy básicas, como sumas, restas, multiplicaciones y divisiones de números de uno y dos dígitos, centrándose no solo en la precisión sino especialmente en la velocidad de respuesta.

Basado en el modelo de procesamiento de información del cerebro de Baddeley[9] , también denominado “Entrenamiento de recuperación de hechos matemáticos” (MFR), intenta reducir la carga de la memoria de trabajo, al automatizar la recuperación de hechos matemáticos de la memoria a largo plazo, desarrollando la automaticidad en las operaciones de matemática básicas [93][92].

Wayang Outpost también incluye componentes que apuntan a la metacognición, es decir, recursos y mecanismos cognitivos que ayudan a los estudiantes a regular su propio aprendizaje.

El apoyo a la autorregulación en Wayang Outpost se basa en varios modelos de aprendizaje [14][51].

Estos modelos definen el proceso de aprendizaje como un modelo de flujo, en el que cada individuo usa estrategias para producir un resultado que luego se somete a retroalimentación o revisión externa basada en un ciclo de monitoreo interno dentro del sistema cognitivo.

Según los autores mencionados, el aprendizaje ocurre en las siguientes fases: definición de tareas, establecimiento y planificación de objetivos, estudio de tácticas y estrategias, ejecución de un plan para generar un producto, comparación de resultados con estándares y adaptaciones a la metacognición.

El monitoreo es un proceso importante y necesario a medida que se resuelve un problema, mientras que la evaluación ocurre a nivel de resultado.

Otro modelo que utiliza Wayang Outpost, es el andamiaje metacognitivo definido por Zimmerman y Moylan [114] ; es un modelo sociocognitivo de autorregulación que le agrega un componente motivacional/afectivo.

Los estudiantes pasan por tres fases cíclicas: previsión, desempeño y autorreflexión.

La fase de previsión se refiere a los procesos motivacionales/afectivos que preceden a los esfuerzos por aprender, y que influyen en la predisposición de los estudiantes para iniciar o continuar el proceso de aprendizaje.

El desempeño involucra procesos que ocurren durante el estudio y/o la resolución de problemas, y que impactan en la concentración y los resultados (incluyendo el monitoreo durante la ejecución de la resolución de problemas).

La fase de autorreflexión involucra procesos que siguen a la resolución de problemas o esfuerzos de estudio, con un enfoque en las reacciones del alumno a la experiencia (incluida la autoevaluación y el autojuicio). Estas autorreflexiones, a su vez, influyen en la previsión con respecto a los esfuerzos de aprendizaje posteriores, lo que completa el ciclo de autorregulación.

Es decir, incorpora componentes metacognitivos, que ayudan a los estudiantes a regular su propio aprendizaje.

El sistema también incorpora el uso del software de entrenamiento de recuperación de datos/hechos matemáticos (MFR, math facts retrieval, por sus siglas en inglés). Volver a los temas previos ya dominados es una estrategia eficiente, facilitando el aprendizaje profundo de los temas. Las características generales del sistema se pueden ver en la tabla 13.

Los mejores resultados cognitivos de los estudiantes se midieron con pruebas previas, posteriores, y pruebas estandarizadas estatales.

Para fomentar la metacognición y la motivación de los estudiantes, Wayang Outpost incorpora compañeros de aprendizaje afectivos e informes de progreso, además de sensores para el reconocimiento de emociones. La figura 17 muestra la interfaz del tutor de matemática de Wayang Outpost. Un compañero animado proporciona comentarios y apoyo individualizados.

El trabajo sobre el sistema Wayang Outpost, hace referencia a la experimentación del reconocimiento de emociones sin sensores, utilizando datos de registros [10].

Wayang Outpost fue evaluado en el desempeño de sus componentes cognitivos, afectivos y metacognitivos, mostrando beneficios, en el aprendizaje de los estudiantes, en cada uno de los dominios mencionados.

La mayor limitación radica en la complejidad del diseño, y en la evaluación de cada uno de los componentes, que integran el sistema Wayang Outpost.

Figura 17. Interfaz de Wayang Outpost.[8]

The screenshot shows a user interface for a math problem. At the top right, there is a progress bar for 'Skill Level' at 50% and a title 'expressions with variables'. The main text reads: 'Dion wants to earn a minimum quiz average of 92% in his biology course. His grades so far are 89%, 95%, and 85%. Which inequality below represents the possible scores for his next quiz which will allow Dion to achieve his goal?'

The problem is solved step-by-step on a virtual chalkboard:

$$\frac{\text{Sum of the values}}{\text{Number of values}} \geq 92 \quad \longrightarrow \quad \frac{89 + 95 + 85 + x}{4} \geq 92$$

Solve for x.

$$269 + x \geq 368$$
$$\cancel{269} + x - \cancel{269} \geq 368 - 269$$

Four multiple-choice options are listed:

- (A) $\{x \mid x > 99\}$
- (B) $\{x \mid x < 99.5\}$
- (C) $\{x \mid x \geq 99\}$
- (D) $\{x \mid x \leq 99.5\}$

At the bottom of the screen, there are navigation buttons: 'Formulas', 'new problem', 'resources', and 'village'. On the right side, there is a character at a podium with buttons for 'problem_553', 'Go To', 'Hide me', and 'Mute'.

Tabla 13. Características de WAYANG OUTPOST.

| | | | |
|-------------------------------|----------------------|--|--|
| Descripción General | | Instituto Politécnico, Worcester. Universidad de Massachusetts. Universidad de Nueva York. Universidad de Carleton, Ottawa, Canadá | Paises: Estados Unidos/ Canada |
| | | Tipo de Artículo | Documento |
| | | Dominio | Matemática |
| | | Nivel educativo | Secundario |
| Feedback con el STI | | Feedback con otros STI | Si |
| | | Feedback con la Actividad | Sobre la tarea: Si |
| | | | Procesamiento de la tarea: Si |
| | | | Autorregulación: Si |
| Afectivo: Si | | | |
| Metodológico-educativo | Funciones del STI | Métodología para el Diagnostico Inicial | N/M |
| | | Metodología de personalización de aprendizaje | Metodología basada en el esfuerzo, (EBT, por sus siglas en inglés), modela los estados cognitivos, afectivos y metacognitivos de los estudiantes a medida que interactúan con el sistema de tutoría. |
| | | Agente pedagógico de lenguaje natural | Compañeros de aprendizaje, que brindan retroalimentación afectiva y metacognitiva |
| | | Modelado del comportamiento de los estudiantes | Se determina con sensores: software de reconocimiento facial, pulsera inalámbrica para medir la conductividad de la pie, un ratón de presión y un asiento sensible a la presión |
| | Herramientas del STI | Teoría del aprendizaje cognitivo (Collins et al. 1989). Teoría del aprendizaje (Mayer 2001). Zona de desarrollo próximo (Vygotsky 1978). MFR: Software de entrenamiento de recuperación de datos/hechos matemáticos. | |
| Evaluación del STI | | Si/No | Si |
| | | Técnica de Evaluación | Evaluación cuantitativa-cualitativa |
| | | Enfoque de Evaluación | Evaluar la enseñanza basada en las necesidades de aprendizaje, integrando los factores cognitivos, metacognitivos y afectivos del estudiante. |
| Framework | | | N/M |
| N/M: No menciona | | | |

4.2.10 ASSISTments

ASSISTments es un sistema de evaluación formativa, no es un medio para evaluar a los estudiantes.

ASSISTment consta de una sola pregunta principal (también conocida como pregunta original) y una sesión de tutoría para llegar al aprendizaje deseado. (Se lo puede incluir

dentro de la categoría de los tutores cognitivos, no monitorea el aprendizaje del estudiante, sino monitorea el progreso del estudiante en la resolución del problema). La figura 18, muestra la pantalla de ingreso a ASSISTments.

La asistencia a los estudiantes está disponible en forma de una secuencia de sugerencias o conjunto de preguntas de andamiaje. Las pistas son mensajes que brindan información y sugerencias para resolver un problema específico, y cada secuencia de pistas termina, con una pista de fondo que le da la respuesta al estudiante.

Las preguntas de andamiaje están diseñadas para guiar al estudiante paso a paso hacia la solución, y cada paso aborda las habilidades específicas necesarias, para responder a la pregunta original. Cada pregunta de andamiaje tiene también asociadas, secuencia de sugerencias.

Utiliza tecnologías web comunes como HTML y JavaScript.

Se han realizado estudios, entre ellos el de Heffernan[52] donde se evaluaron las herramientas de autor, en términos de usabilidad y disminución del tiempo de creación de tutores, dando como resultado una reducción, tanto en las habilidades necesarias para crear contenido, como en el tiempo necesario para hacerlo.

Comenzó brindando ayuda de tutoría en matemática [80] , sin embargo, ASSISTments, fue diseñado para ser independiente del dominio de aplicación, se ha utilizado en tutoría en física, inglés, estadística, ciencias de la tierra, etc.[40].

Una debilidad de ASSISTments es que no ofrece dominio sobre el aprendizaje del alumno y tampoco selección de actividades adaptativas, por lo que si los estudiantes tienen dificultades, no se ajusta automáticamente.

El sistema recopila para cada estudiante, el tiempo dedicado en ASSISTments, el número de problemas vistos, el porcentaje correcto, el Id del estudiante, la identificación del problema, la entrada y respuesta del estudiante, el número de preguntas de andamiaje, el número de solicitud de pistas, la velocidad de respuesta y precisión, el número de intentos, la proporción correcta de acciones, y los números de primeros intentos en los problemas.

Estos datos pueden ser usados por el maestro para ver el desempeño de cada uno de los estudiantes y de esta manera, decidir (el maestro y no el sistema informático) si el

estudiante necesita volver atrás para repasar algún tema nuevamente. En la tabla 14 se pueden ver los criterios de evaluación de ASSISTments.

Figura 18. ASSISTments

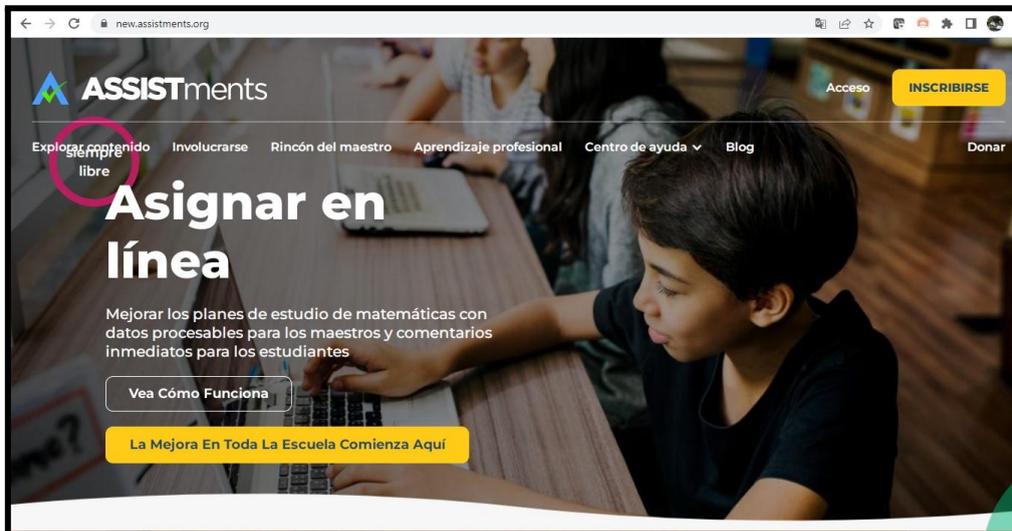


Tabla 14. Características de ASSISTments

| | | | |
|--|-----------------------------|---|--|
| Descripción General | | Instituto Politécnico de Worcester y la Universidad Carnegie Mellon | Estados Unidos |
| | | Tipo de Artículo | Journal |
| | | Dominio | Matemática/ Diseño libre de aplicación. |
| | | Nivel educativo | Secundario |
| Feedback con el STI | | Feedback con otros STI | Si |
| | | Feedback con la Actividad | Sobre la tarea: Si Procesamiento de la tarea: Si |
| Metodológico-educativo | Funciones del STI | Métodología para el Diagnostico Inicial | N/M |
| | | Metodología de personalización de aprendizaje | |
| | | Agente pedagógico de lenguaje natural | |
| Modelado del comportamiento de los estudiantes | | | |
| | Herramientas del STI | | N/M |
| Evaluación del STI | | Si/No | Si |
| | | Técnica de Evaluación | Evaluación cuantitativa-cualitativa |
| | | Enfoque de Evaluación | Análisis de la eficacia del aprendizaje utilizando ASSISTments |
| Framework | | | N/M |
| N/M: No se menciona | | | |

4.3 Comparación de acuerdo a los criterios de evaluación, entre los Sistemas Tutores Inteligentes seleccionados

En esta sección se presentan los distintos STI con sus criterios de evaluación, para tener un análisis general de las características descritas en la sección 4.2, y poder compararlos.

4.3.1 Descripciones generales

A continuación, se presenta la aplicación del criterio “País de Investigación”, “Universidad de Investigación”, con el objetivo de identificar los países cuyas universidades han llevado adelante investigaciones sobre Sistemas Tutores Inteligentes y su implicancia en la educación.

Como se observa en la tabla 15, de acuerdo con los 10 STI analizados, la mayoría de las investigaciones se llevaron a cabo en América del Norte.

Seis corresponden a Estados Unidos, una investigación se realizó conjuntamente entre Canadá y Estados Unidos. Mientras que sólo una investigación corresponde al continente Europeo (España), y dos corresponden al continente asiático, una desarrollada conjuntamente entre Japón y China, y otra desarrollada por China individualmente. Las Universidades de Memphis, y Masachusset son las que más han investigado sobre la temática elegida para el trabajo.

Tabla 15. Sistemas Tutores Inteligentes por País de Investigación y Universidades de Investigación.

| Países | Universidad | Sistema Tutor Inteligente | |
|----------------|---|----------------------------------|--|
| España | GRADIANT(Centro de Investigación y Desarrollo de Telecomunicaciones Avanzadas de Galicia | | Simplify ITS |
| Japón | Instituto Nacional de Informática | AI-tutor | |
| China | Academia de Ciencias de la Universidad de China | | |
| | Universidad de Pekín | | Lexure100 |
| Canadá | Universidad de York-Carleton | WAYANG OUTPOST | |
| | Universidad de Massachusetts | | |
| Estados Unidos | Universidad de Menfis | | Auto-Tutor |
| | UCI (Universidad de California, Irvine) | | Aleks |
| | Universidad de Menfis | | Spoke it |
| | Universidad de Wisconsin | | Sistema de Tutoria para estudiantes con SLDs |
| | Universidad de Massachusetts | | MathSpring |
| | Instituto Politécnico Worcester-Universidad Carnegie Mellon | | Assitments |

El enfoque “Tipo de Artículo”, muestra donde fueron publicados los papers sobre los cuales se realizó la investigación.

En la tabla 16, se observa que cuatro de los diez trabajos, fueron presentados en journal, mientras que en orden de categoría, el resto, fueron publicados en conferencias. Sigue en orden de prioridad la publicación en documentos, y simposios.

Tabla 16. Sistemas Tutores Inteligentes por Tipo de Artículo de investigación

| | Conferencia | Documento | Journal-Research article | Simposio |
|--|-------------|-----------|--------------------------|----------|
| AI-Tutor | X | | | |
| Aleks | | X | | |
| Auto-Tutor | | | X | |
| Spoke IT | | | X | |
| Lexue100 | | | | X |
| Sistema de Tutoría para estudiantes con SLDs | X | | | |
| Simplify Its | X | | | |
| MathSpring | | | X | |
| Assistments | | | X | |
| Wayang outpost | | X | | |

El criterio “Dominio”, nos permite determinar el dominio de conocimiento hacia el cual está dirigido el STI.

Todos los STI, estudiados, menos AUTO-TUTOR, que está pensado para múltiples dominios, SIMPLIFY IT que no lo especifica, ASSITments permite aplicación libre; el resto fueron desarrollados para que el dominio de aplicación sea Matemática.

El enfoque del criterio “Nivel Educativo”, está basado en obtener una referencia sobre los niveles educativos al que se orientan los STI revisados; también se analiza si están enfocados a distintas poblaciones, o si han sido desarrollados específicamente para cubrir una población determinada.

La tabla 17, muestra que el nivel educativo secundario ha sido el foco de nueve, de los diez STI analizados. Puede considerarse como el principal público para el cual fueron desarrollados los STI; y en una segunda instancia el nivel primario. Además, el sistema de

tutoría para estudiantes con SLDs, es el único antecedente estudiado en el trabajo, que fue pensado para ser utilizado en Educación Especial.

Tabla 17. Criterio Nivel Educativo

| Nombre del STI | Ed.Especial | Inicial | Primario | Secundario | Superior/ Universitario | No Especificado |
|--|-------------|---------|----------|------------|----------------------------|--------------------|
| "Sistema de tutoría para estudiantes con SLDs" | X | | X | X | | |
| Aleks | | | | X | | |
| SPOKE-IT | | | | X | | |
| Lexue100 | | | X | X | | |
| Auto-Tutor | | | | X | | |
| Wayang Outpost | | | | X | | |
| SIMPLIFY ITS | | | | X | | |
| MATHSPRING | | | | X | | |
| ASSITMENTS | | | | X | | |
| AI-Tutor | | | | | | X |

4.3.2 Aspectos relacionados con el feedback del Sistema Tutor Inteligente.

Los criterios vinculados con el feedback, comprenden la posibilidad que el STI se integre con otro/s STI, y el tipo de feedback del STI con el alumno.

- Feedback con otros STI

Al analizar el criterio de feedback con otros STI, se observa en la tabla 18, que en los antecedentes estudiados, tres entornos, integran sistemas de tutoría, logrando aplicaciones híbridas complementarias en sus funciones.

Spoke, almacena y entrega servicios basados en la web; está diseñado para integrar múltiples aplicaciones, usando mensajería semántica.

Se combina con AutoTutor, que es un agente pedagógico, que brinda conversación en lenguaje natural, simulando los diálogos con tutores humanos y sus estrategias pedagógicas.[43][45][66]; y Aleks, que es un programa de tutoría y evaluación que incluye material de matemática (entre otros).

Simplify ITS es un módulo del sistema Simplify, basado en recomendaciones de actividades, que ayuda a los profesores a seleccionar la actividad más adecuada para cada

alumno en función de las interacciones previas del alumno con la plataforma de aprendizaje. Tiene una interfaz del tipo RESTful, facilitando la interconexión con cualquier sistema.

MathSpring es un entorno de práctica de matemática dentro de un tutor adaptativo, que brinda instrucción matemática, y fusiona sugerencias, ayuda y enlaces a videos educativos externos [8].

El sistema es una integración de Wayang Outpost y ASSISTments. Wayang Outpost [12] es un sistema de tutoría en línea que se enfoca en las habilidades en matemática para estudiantes de nivel secundario.

ASSISTments es una plataforma que utilizan los profesores para asignar tareas digitales y actividades en el aula [53].

Tabla 18. Feedback entre STI

| Nombre STI | Feedback |
|--------------|------------------------------|
| SPOKE IT | ALEKS AutoTutor |
| Simplify ITS | No especificado |
| MathSpring | Assitments Wayang outpost |

- **Feedback con la actividad.**

Al analizar los criterios referidos al feedback con la actividad, (ver tabla 19), se observa que cinco (Auto-Tutor, Spoke-It, el prototipo para estudiantes con SLDs, MathSpring, Wayang Outpost) de los diez STI seleccionados, cubren todos los ítems evaluados, es decir, el feedback sobre la tarea, sobre el procedimiento de la tarea, sobre la autorregulación y la afectividad.

Sólo dos, de los STI seleccionados, cubren solamente el feedback sobre la tarea y sobre el procesamiento de la tarea.

Se puede concluir que todos los STI evaluados, tratan de guiar al estudiante en el proceso de aprendizaje, brindando estrategias para el abordaje de la resolución de problemas.

Tabla 19. Feedback con la actividad.

| Nombre del STI | Sobre la Tarea | Procesamiento de la Tarea | Autoregulación | Afectivo |
|--|----------------|---------------------------|----------------|----------|
| AI-Tutor | x | x | x | |
| Aleks | x | x | | |
| Auto-Tutor | x | x | x | x |
| SPOKE -IT | x | x | x | x |
| LEXUE100 | x | x | x | |
| Sistema de tutoría electrónica para estudiantes con SLDs | x | x | x | x |
| SIMPLIFY ITS | x | x | x | |
| MATHSPRING | x | x | x | x |
| Wayang Outpost | x | x | x | x |
| ASSISTments | x | x | | |

4.3.3 Aspectos Metodológicos - Educativos.

- Funciones y Herramientas del STI

Al analizar las funciones de los STIs, en la tabla 20, se puede ver que solamente dos tutores poseen una metodología de diagnóstico inicial, estos son, AI-Tutor y Alek.

Tabla 20. Funciones de los Sistemas Tutores Inteligentes

| Nombre del STI | Métodología para el Diagnóstico Inicial | Metodología de personalización de aprendizaje | Agente pedagógico de lenguaje natural | Modelado del comportamiento de los estudiantes |
|----------------|---|---|---------------------------------------|--|
| AI-tutor | x | x | x | |
| Aleks | x | x | | |
| Lexue100 | | x | | |
| SLDs | | | x | x |
| Simplify ITS | | x | | |
| Wayang Outpost | | x | x | x |

AI-Tutor, realiza una evaluación de diagnóstico inicial, utilizando reglas de clustering, algoritmos de clasificación y árboles de decisión.

Alek efectúa una evaluación de colocación, que se lleva a cabo, luego de finalizado cada tema, y que guarda en el perfil del usuario.

Con respecto a la metodología de personalización del aprendizaje, de los diez STI, seleccionados, cinco tienen definida una metodología de personalización del aprendizaje. Estos son:

AI-Tutor, mediante un algoritmo genético, establece un camino personalizado de aprendizaje.

Aleks, aplica la teoría del espacio de conocimiento, para determinar la ruta de aprendizaje de los alumnos.

Lexue 100, utiliza el método de las 3I (Adaptación Individual, Dominio Incremental, Descubrimiento Interactivo, por sus siglas en inglés), y técnicas de big data, para modelar la ruta de aprendizaje. *Simplify ITs*, se basa en la recomendación de actividades, utilizando modelos de repetición, para propiciar el aprendizaje y la retención de los conocimientos.

Wayang Outpost, posee el modelo empírico y sociocognitivo del estudiante, para regular el desempeño, y ayudar a la autoreflexión.

Con respecto a la incorporación de uno o varios Agente pedagógico de lenguaje natural, de los 10 STI, sólo cuatro lo poseen. *AI-Tutor*, posee un generador de problemas matemáticos verbales, personalizado.

Auto-Tutor, utiliza dos avatares con inteligencia artificial, que ayudan en el aprendizaje. *SLDs*, utiliza el diálogo al detectar un comportamiento negativo por parte del estudiante, para ayudarlo a superarlo. *Wayang Outpost*, posee compañeros de aprendizaje afectivos.

Con respecto al *Modelado del comportamiento de los estudiantes*, no todos los STI, lo modelan. Sólo dos, de los sistemas tutores inteligentes investigados lo incorporan.

SLDs, que combina el seguimiento ocular, las entradas en la pantalla táctil, y el tiempo de respuesta en la resolución de un problema; y *Wayang Outpost*, que utiliza sensores para el reconocimiento de emociones (se está experimentando con datos de registros).

- **Evaluación de los STI**

La aplicación del criterio de evaluación, que se observa en la tabla 21, evidenció que todos los antecedentes estudiados presentan una valoración cuantitativa y/o cualitativa (método científico de observación para recopilar datos) respectivamente.

Se utilizaron distintas técnicas en la evaluación, algunas cuantitativas, donde solamente se puso el foco en la demostración de las características de los STI, puestos que aún no fueron desarrollados, otras valoraciones tuvieron tanto un enfoque cualitativo como cuantitativo, utilizando para recoger los datos de la evaluación, integración del STI en la clase, técnicas de observación, cuestionarios, entrevistas, encuestas, comentarios y la utilización de técnicas estadísticas, para medir la eficiencia del STI.

A continuación se detalla el enfoque de la evaluación de cada uno de los STI relevados:

Aleks, se evaluó con una muestra autoseleccionada de alumnos, donde se validó la efectividad y confiabilidad de la herramienta, para medir y nivelar el conocimiento de los estudiantes que terminaron el secundario y aspiran a ingresar a la Universidad.

Wayang-Outpost, se integró el STI, en escuelas de áreas rurales y urbanas de Massachusetts, a las actividades normales.

Auto-Tutor, se evaluó la interacción de la herramienta en distintos grupos de estudiantes, con respecto a los logros de aprendizaje, los desafíos de implementación, y las diferencias entre tutores humanos e ideales. Fue validado por expertos.

AI-Tutor, se realizó la evaluación preliminar del STI con ejemplos, no se lo evaluó en escenarios pedagógicos reales.

Spoke-IT, se evaluó el aprendizaje y las percepciones de los estudiantes a partir de la interacción con SPOKE IT, que combina el sistema de tutoría conversacional Auto Tutor, con el aprendizaje para matemática ALEKs.

Lexue100, se evaluó la interacción con el STI, comparando la enseñanza de matemática utilizando la herramienta, con la enseñanza tradicional de la materia. Se realizó una evaluación cuasi-experimental.

Simplify IT, se realizó una evaluación preliminar, simulando la utilización de datos artificiales, donde se estimó el contenido de recomendación y revisión de actividades, en base a la valoración de las habilidades de los estudiantes. La evaluación realizada fue del tipo cualitativa.

Sistema de tutoría para estudiantes con SLDs, se diseñó un prototipo de juego de matemática, que utiliza el sistema de tutoría electrónica, para reducir los comportamientos

negativos en el aprendizaje de estudiantes con SLDs. No fue evaluado en escenarios pedagógicos reales. La evaluación fue realizada por expertos y del tipo cualitativa.

MathSpring, se realizó una evaluación cuantitativa y cualitativa, validando la interacción con el STI, para determinar su eficacia en el aprendizaje de matemática.

Assitments, se realizó una evaluación cuantitativa y cualitativa, de la eficacia del uso de la herramienta en escenarios pedagógicos reales.

Tabla 21. Técnica de Evaluación de los Sistemas tutores inteligentes

| Nombre de los STI | Evaluación Cuantitativa | Evaluación cualitativa | Evaluación cuasi-experimental |
|-------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|
| AI-Tutor | | X | |
| Aleks | X | X | |
| Auto-Tutor | | X | |
| Spoke-It | X | X | |
| Lexue100 | | | X |
| SLDs | | X | |
| Simplify ITS | | X | |
| MathSpring | X | X | |
| Assitments | X | X | |
| Wayang Outpost | X | X | |

Del análisis de los STI, se desprende que todos han sido evaluados, algunos en lo que respecta a la validez de su propuesta pedagógica y otros tanto en su propuesta pedagógica como en su beneficio para mejorar el aprendizaje en los alumnos.

En la tabla 22, se pueden observar los detalles de las características de los STI estudiados.



Capítulo 5

Conclusiones

5.1 Introducción

Este capítulo presenta las conclusiones del trabajo, el cual tuvo como objetivo principal estudiar y analizar el uso de sistemas tutores inteligentes en la educación secundaria, poniendo especial atención en aquellos STI, relacionados con la enseñanza de matemática.

En los últimos años la inteligencia artificial, aplicada en los Sistemas Tutores Inteligentes, se ha orientado a mejorar el aprendizaje, representando un potencial para los procesos educativos, permitiendo fortalecer la enseñanza y el aprendizaje.

A continuación, se presentan las conclusiones del trabajo.

5.2 Conclusiones

El documento se ha dividido en 5 capítulos:

- Presentación.
- Conceptos teóricos.
- Selección de Sistemas Tutores Inteligentes.
- Análisis de Sistemas Tutores Inteligentes.
- Conclusiones.

En el capítulo 1, se planteó la motivación para escribir sobre sistemas tutores inteligentes. Se definieron los objetivos y se estableció la estructura del trabajo.

En el capítulo 2, se expusieron los conceptos teóricos, que permiten dar contexto al documento. Se enunciaron distintas definiciones de sistemas tutores inteligentes, se formuló cómo se constituyen, cuáles son los módulos básicos que los integran, y los avances en el dominio.

En el capítulo 3, se determinó la selección de los Sistemas Tutores Inteligentes. Se buscaron antecedentes bibliográficos sobre la revisión de los objetivos del trabajo.

Paladines [71] , en su trabajo, presenta una revisión sistemática de la literatura para abordar los STI que incorporan sistemas de diálogo y que se han implementado en los últimos veinte años.

Colby [20] , se centró en la revisión de cinco componentes:

- El modelo de dominio: mostró que la mayoría de los STI se centran en matemática, en la ciencia, y la tecnología. Dentro de estos campos, los STI generalmente tienen el dominio del aprendizaje como el nivel deseado de comprensión.
- El modelo de tutor: exhibió que el constructivismo es la estrategia teórica que informa la mayoría de los STI.
- El modelo del estudiante: describió las diversas formas en que los STI infieren lo que sabe un estudiante.
- La interfaz: reveló que la mayoría de los STI están basados en la web, pero varían en su capacidad para interactuar con los estudiantes. Señalando que la experiencia del usuario no se informa y se debería incluir en las investigaciones.
- Las ganancias en el aprendizaje: demostró que los STI son capaces de producir ganancias de aprendizaje equivalentes a las de un tutor humano.

Jiménez [57], hizo una revisión sistémica de la literatura, de sistemas tutores inteligentes afectivos. Utilizó la metodología de Kitchenham. Estableció preguntas de investigación, definiendo cadenas de búsqueda, criterios de inclusión/exclusión, y el posterior análisis de los datos.

Las revisiones anteriores no contemplan lo planteado como propuesta del trabajo.

Se definieron cinco aspectos a considerar al revisar los sistemas tutores inteligentes: aspectos generales, aspectos relacionados con el feedback del STI, aspectos metodológico-educativos, y de framework del STI.

Del análisis de los papers, se desprenden las tendencias hacia las cuales avanzan los desarrollos de los STI, que fueron esbozadas al final del capítulo 2. Estas tendencias involucran:

- La incorporación de agentes informáticos conversacionales, ayudando a la tutoría electrónica, a través del diálogo.
- El diagnóstico cognitivo, para determinar el nivel del estudiante en la materia que se está trabajando, generando una ruta de aprendizaje personalizada, de acuerdo a las necesidades del alumno.

- La integración de sistemas tutores inteligentes con fortalezas complementarias para potenciar el aprendizaje y permitir la complementariedad de los recursos de aprendizaje. Es el caso de SPOKE IT, y MathSpring.

SKOPE-IT, integró AutoTutor [66], y ALEKS [33].

En términos de la taxonomía de Bloom, ALEKS (bucle externo) se enfoca principalmente en aplicar habilidades de matemática, mientras que las preguntas de AutoTutor (bucle interno) pueden ayudar a los estudiantes a comprender, analizar y evaluar conceptos matemáticos.

Al construir SKOPE-IT, se combinó:(1) ejemplos resueltos[85], (2) autoexplicación [2] y (3) aprendizaje impulsado por un callejón sin salida [96].

En el caso de MathSpring, integró Wayang Outpost y ASSISTments. Wayang Outpost [12] es un sistema de tutoría en línea que se enfoca en las habilidades de matemática para estudiantes de nivel secundario y ASSISTments es una plataforma que utilizan los profesores para asignar tareas digitales y actividades en el aula [53].

Es decir, Wayang Outpost, se ubica en el lazo externo, seleccionando los problemas apropiados a resolver por un estudiante. Mientras que ASSISTments, se ubica en el lazo interno, el tutor proporciona apoyo al estudiante dentro de la resolución de un problema, incluyendo la orientación paso a paso, la reflexión y revisión de la solución al final.

La utilización de sistemas híbridos, reduce el esfuerzo en el desarrollo de los STI.

De la lectura de los textos se desprende que los STI tienen al estudiante como el centro del proceso educativo, siendo éste quien regula su aprendizaje.

Los hábitos de estudio autorregulados, se transforman entonces, en un elemento determinante para el éxito del proceso educativo.

También se observó que el uso del STI, como herramienta complementaria, reduce las diferencias entre alumnos de un mismo curso de matemática, al tiempo que da luces a los docentes sobre el estado de aprendizaje de cada uno de sus alumnos, permitiéndoles llevar un control detallado de sus dificultades y conocimientos alcanzados.

Las evaluaciones de los sistemas tutores inteligentes, llevadas a cabo por los autores de los trabajos muestran que los sistemas de tutoría, superan a los tutores no expertos e incluso podrían igualar a los tutores humanos expertos, en algunos temas [47][99].

En el capítulo 4, se realizó una comparación de acuerdo a los criterios de evaluación definidos, entre los sistemas tutores inteligentes seleccionados.

5.3. Trabajos futuros

Los resultados de este trabajo son un punto de partida para continuar con el desafío de mejorar el aprendizaje de los estudiantes en el área de matemática, donde se han agravado aún más las deficiencias en el aprendizaje, como consecuencia de la pandemia del COVID 19.

Como trabajo futuro se plantea implementar el uso de alguno de los STI analizados en alumnos de 1º año de educación secundaria y estudiar su impacto en el aprendizaje.



Referencias Bibliográficas

Referencias bibliográficas.

- [1] Aleks. <https://www.aleks.com/>. Fecha de acceso: 21/12/2021.
- [2] Alevén, V., McLaren, B., Roll, I., Koedinger, K. (2004). Toward Tutoring Help Seeking. In: Lester, J.C., Vicari, R.M., Paraguaçu, F. (eds) Intelligent Tutoring Systems. ITS 2004. Lecture Notes in Computer Science, vol 3220. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30139-4_22
- [3] Alevén V., McLaren, BM, Sewall, J, Koedinger, KR (2009). A new paradigm for intelligent tutoring systems: example-tracing tutors. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 19(2), 105–154.
- [4] Aprender 2019. <https://www.argentina.gob.ar/educacion/aprender2019>. Fecha de acceso: 13 de marzo de 2022.
- [5] Arroyo I., Beal, C., Murray, T., Waller, R., & Woolf, B. P. (2004) Web-Based Intelligent Multimedia Tutoring for High Stakes Achievement Tests Intelligent Tutoring Systems. In Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS'04), 142–169.
- [6] Arroyo I., Cooper, D., Bureson, W., & Woolf, B. P. (2010a). Bayesian networks and linear regression models of students' goals, moods, and emotions. In C. Romero, S. Ventura, M. Pechenizkiy, & R. Baker (Eds.), Handbook of Educational Data Mining (pp. 323–338). Boca Raton: CRC Press.
- [7] Arroyo I., Royer, J. M., & Woolf, B. P. (2011a). Using an Intelligent Tutor and Math Fluency Training to Improve Math Performance. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 21(2), 135–152.
- [8] Arroyo I., Woolf, B.P., Bureson, W. et al. A Multimedia Adaptive Tutoring System for Mathematics that Addresses Cognition, Metacognition and Affect. Int J Artif Intell Educ 24, 387–426 (2014). <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0023-y>.
- [9] Baddeley A. D. (1986). Working memory. Oxford: Clarendon.
- [10] Baker, R.S.J.d., S.M. Gowda, M. Wixon, J. Kalka, A.Z. Wagner, A. Salvi, V.Alevén, G. Kusbit, J.Ocuppaugh, and L. Rossi (2012) Sensor-free automated detection of affect in a

Cognitive Tutor for Algebra. In Proceedings of 5th International Conference on Educational Data Mining, 126–133.

[11] Baylari A. and Montazer G. A., "Design a personalized e-learning system based on item response theory and artificial neural network approach," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 4, pp. 8013– 8021, 2009.

[12] Beal CR, Walles, R, Arroyo, I, Woolf, BP. (2007). On-line tutoring for math achievement testing: a controlled evaluation. *Journal of Interactive Online Learning*, 6(1), 43–55.

[13] Burton R. R.; Brown, J. S. (1981). An investigation of computer coaching for informal learning activities. In: Sleeman, D., Brown, J. (eds.): *Intelligent Tutoring Systems*, Capítulo 4, p. 79-98, London: Academic Press.

[14] Butler D. L., & Winne, P. H. (1995). Feedback and self-regulated learning: A theoretical synthesis. *Review of Educational Research*, 65, 245–281.

[15] Carbonell, J. R. (1970). AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer assisted instruction. *IEEE transaction on Man Machine System*. Volumen 11 número 4, p. 190-202.

[16] Casanovas, I. (2005) La didáctica en el diseño de simuladores digitales para la formación universitaria en la toma de decisiones, Tesis de Magíster en Docencia Universitaria: UTN-FRBA.

[17] Cataldi Zulma, Fernando J. Lage."Sistemas Tutores Inteligentes: Procedimientos, métodos, técnicas y herramientas para su creación". (Este artículo es parte del PID Modelado del tutor basado en redes neuronales para un sistema tutor inteligente. SeCyT 2007-2008. UTN-FRBA EZINBA 639. Programa Incentivos código 25/C099).

[18] Chen C.-M., H.-M. Lee, and Y.-H. Chen, "Personalized e-learning system using item response theory," *Computers & Education*, vol. 44, no. 3, pp. 237–255, 2005.

[19] Cohen, P. A., Kulik, J. A., & Kulik, C. C. (1982). Educational outcomes of tutoring: A meta-analysis of findings. *American Educational Research Journal*, 19, 237–248.

[20] Colby, Brice Robert, "A Comparative Literature Review of Intelligent Tutoring Systems from 1990-2015" (2017). <https://scholarsarchive.byu.edu/etd/7239>.

- [21] Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, Learning, and Instruction: essays in honor of robert glaser* (pp. 453–494). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- [22] Corbett, A. T., & Anderson, J. R. (1995). Knowledge tracing: Modeling the acquisition of procedural knowledge. *User Modeling and User Adapted Interaction*, 4, 253–278.
- [23] Corbett, A. T. (2001). Cognitive computer tutors: Solving the two-sigma problem. *User Modeling: Proceedings of the Eighth International Conference, UM 2001*, (pp. 137-147).
- [24] Cosyn E., H. Uzun, C. Doble, & J. Matayoshi. A practical perspective on knowledge space theory: ALEKS and its data. *Journal of Mathematical Psychology*, Volume 101, 2021.
- [25] Craig, SD, Driscoll, DM, Gholson, B (2004). Constructing knowledge from dialog in an intelligent tutoring system: interactive learning, vicarious learning, and pedagogical agents. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 13(2), 163.
- [26] Craig, S.D., Graesser, A.C. & Perez, R.S. Advances from the Office of Naval Research STEM Grand Challenge: expanding the boundaries of intelligent tutoring systems. *IJ STEM Ed* 5, 11 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0111-x>.
- [27] Dede Christopher, profesor de educación y tecnología en la Escuela de Graduados en Educación de Harvard , <https://www.gse.harvard.edu/>. Fecha de acceso: 11 de junio de 2022.
- [28] Diane Pedrotty Bryant, Brian R. Bryant, and Donald D. Hammill. 2000. Characteristic behaviors of students with LD who have teacher-identified math weaknesses. *J. Learn. Disabil.* 33, 2 (March 2000).
- [29] D’Mello, S., Jackson, T., Craig, S., Morgan, B., Chipman, P., White, H., ... & Graesser, A. (2008). AutoTutor detects and responds to learners' affective and cognitive states. In *Workshop on Emotional and Cognitive Issues at the International Conference on Intelligent Tutoring Systems* (pp. 306-308). Montreal, Canada.
- [30] D’Mello, S. K., & Graesser, A. C. (2012). AutoTutor and affective AutoTutor: learning by talking with cognitively and emotionally intelligent computers that talk back. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 2, 1–39.

- [31] Dwivedi P., V. Kant, and K. K. Bharadwaj, "Learning path recommendation based on modified variable length genetic algorithm," *Education and Information Technologies*, vol. 23, no. 2, pp. 819–836, 2018.
- [32] Epstein, J (2014). Basic skills diagnostic test.
- [33] Falmagne, J. C., Albert, D., Doble, C., Eppstein, D., & Hu, X. (Eds.). (2013). *Knowledge spaces: Applications in education*. Springer Science & Business Media.
- [34] Felder R., Silverman, L. (1988) Aprendiendo Estilos de aprendizaje, en la enseñanza de la ingeniería. *Ing. Ed.*,78,7, 674-681.
- [35] Feng, Mingyu & Heffernan, Neil & Koedinger, Kenneth. (2010). Student Modeling in an Intelligent Tutoring System. *Intelligent Tutoring Systems in E-Learning Environments: Design, Implementation and Evaluation*. 10.4018/978-1-61692-008-1.ch011.
- [36] Gan W., Y. Sun, S. Ye, Y. Fan and Y. Sun, "AI-Tutor: Generating Tailored Remedial Questions and Answers Based on Cognitive Diagnostic Assessment," 2019 6th International Conference on Behavioral, Economic and Socio-Cultural Computing (BESC), 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/BESC48373.2019.8963236.
- [37] Gardner, H. (1993) *Las inteligencias múltiples en la práctica*. Paidós. Barcelona.
- [38] Gardner, H. (2001) *La inteligencia reformulada*. Paidós, Barcelona.
- [39] Giraffa, L., Nunes, M. A. and Viccari, R. M. (1997). Multi-Ecological: A Learning Environment using Multi-Agent architecture. *MASTA'97: Multi-Agent System: Theory and Applications. Proceedings*. Coimbra: DE-Universidade de Coimbra.
- [40] Gobert, J. D., Montalvo, O., Toto, E., Sao Pedro, M., & Baker, R. S. J. D. (2010). The science ASSISTments project: Scaffolding scientific inquiry skills. In V. Aleven, J. Kay, & J. Mostow (Eds.), *Intelligent Tutoring Systems* (pp. 445-445). Berlin/Heidelberg: Springer.
- [41] Graesser, A. C., Person, N. K., & Magliano, J. P. (1995). Collaborative dialogue patterns in naturalistic one to one tutoring. *Applied Cognitive Psychology*, 9, 495–522.
- [42] Graesser, A.C., Wiemer-Hastings, K., Wiemer-Hastings, P., Kreuz, R., & TRG (1999). AutoTutor: A simulation of a human tutor. *Journal of Cognitive Systems Research*, 1, 35-51

- [43] Graesser, A. C., Lu, S., Jackson, G. T., Mitchell, H., Ventura, M., Olney, A., et al. (2004). AutoTutor: a tutor with dialogue in natural language. *Behavioral Research Methods, Instruments, and Computers*, 36, 180–193.
- [44] Graesser, A. C., Chipman, P., Haynes, B. C., & Olney, A. (2005). AutoTutor: An intelligent tutoring system with mixed-initiative dialogue. *IEEE Transactions on Education*, 48(4), 612-618.
- [45] Graesser, A. C., Jeon, M., & Dufty, D. (2008). Agent technologies designed to facilitate interactive knowledge construction. *Discourse Processes*, 45, 298–322.
- [46] Graesser, A. C., & McNamara, D. S. (2010). Self-regulated learning in learning environments with pedagogical agents that interact in natural language. *Educational Psychologist*, 45, 234–244.
- [47] Graesser, A. C., & D'Mello, S. (2012). Emotions during the learning of difficult material. In B. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 57, pp. 183–226). San Diego, CA: Elsevier.
- [48] Graesser, A. C., Li, H., & Forsyth, C. (2014). Learning by communicating in natural language with conversational agents. *Current Directions in Psychological Science*, 23, 274–280.
- [49] Graesser, A. C., Foltz, P. W., Rosen, Y., Shaffer, D. W., Forsyth, C., & Germany, M. (2015a). Challenges of assessing collaborative problem solving. In E. Care, P. Griffin, & M. Wilson (Eds.), *Assessment and teaching of 21st century skills*. Berlin: Springer Publishers (in press).
- [50] Graesser, A.C., Forsyth, C., & Lehman, B. (2015b). Two heads may be better than one: learning from computer agents in conversational dialogues. *Teachers College Record* (in press).
- [51] Greene, J. A., & Azevedo, R. (2007). A Theoretical Review of Winne and Hadwin's Model of Self-Regulated.
- [52] Heffernan N.T., Turner T.E., Lourenco A.L.N., Macasek M.A., Nuzzo-Jones G., & Koedinger K.R. (2006). The ASSISTment Builder: Towards an Analysis of Cost Effectiveness of ITS creation. In Sutcliffe, G., & Goebel R. (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*.

- [53] Heffernan, NT, & Heffernan, CL. (2014). The ASSISTments Ecosystem: Building a Platform that Brings Scientists and Teachers Together for Minimally Invasive Research on Human Learning Teaching. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 24. 10.1007/s40593-014-0024-x.
- [54] Heidig, S, & Clarebout, G (2011). Do pedagogical agents make a difference to student motivation and learning? *Educational Research Review*, 6(1), 27–54.
- [55] Huang Y.-T., M. C. Chen, and Y. S. Sun, “Development and evaluation of a personalized computer-aided question generation for English learners to improve proficiency and correct mistakes,” arXiv preprint arXiv:1808.09732, 2018.
- [56] Huapaya, Constanza Raquel (2009). *Sistemas Tutoriales Inteligentes. Un análisis crítico*. <https://postgrado.info.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/2014/07/Huapaya.pdf>. Fecha de acceso: 22 de noviembre de 2021.
- [57] Jiménez, Samantha & Juárez-Ramírez, Reyes & Castillo, Víctor & Ramírez Noriega, Alan. (2016). *An Affective Learning Ontology for Educational Systems*.
- [58] Khan Academy. Khan Academy Free Online Courses. Fecha de Acceso: 4 de Diciembre 2021. <https://www.khanacademy.org/>
- [59] Kitchenham Barbara. “Procedures for Performing Systematic Reviews “. *Software Engineering Group Department of Computer Science Keele University. Australia*. July, 2004.
- [60] Kopp, K., Britt, A., Millis, K., & Graesser, A. (2012). Improving the efficiency of dialogue in tutoring. *Learning and Instruction*, 22, 320–330.
- [61] Liu H.-I. y Yang M.-N. (2005), “Adaptación y personalización de calidad de vida garantizada en sistemas de aprendizaje electrónico”, *IEEE Transactions on Education*, vol. 48, núm. 4, págs. 676–687, 2005. pp. 515-520.
- [62] Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.
- [63] Miller N. L., J. E. Sanchez-Galan and B. E. Fernández (2019). "Use of an Intelligent Tutoring System for Mathematics by Students Who Aspire to Enter the Technological University of Panama," 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), 2019, pp. 255-260, doi: 10.1109/IESTEC46403.2019.00-66.

- [64] Millis, K., Forsyth, C., Butler, H., Wallace, P., Graesser, A., & Halpern, D. (2011). Operation ARIES! A serious game for teaching scientific inquiry.
- [65] Murray, T., & Arroyo, I. (2002) Towards measuring and maintaining the zone of proximal development in adaptive instructional systems. In Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, 749–758.
- [66] Nye, BD, Graesser, AC, Hu, X (2014). AutoTutor and family: a review of 17 years of science and math tutoring. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 24(4), 427–469.
- [67] Nye, B., Pavlik, P., Windsor, A. et al. SKOPE-IT (Shareable Knowledge Objects as Portable Intelligent Tutors): overlaying natural language tutoring on an adaptive learning system for mathematics. *IJ STEM Ed* 5,12(2018). <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0109-4>
- [68] Oikonomou Ma. A., & J. Lakhmi (Eds.), *Serious games and edutainment applications* (pp. 169–196). London, UK: Springer-Verlag.
- [69] Olney, A. M., Graesser, A. C., & Person, N. K. (2010). Tutorial dialog in natural language. In Nkambou, R., Mizoguchi, R., & Bourdeau, J. (Eds.), *Advances in intelligent tutoring systems* (p. xx). New York, NY: Springer. doi:10.1007/978-3-642-14363-2_9.
- [70] Olney, A., D’Mello, S. K., Person, N., Cade, W., Hays, P., Williams, C., et al. (2012). Guru: a computer tutor that models expert human tutors. In S. Cerri, W. Clancey, G. Papadourakis & Panourgia K. (Eds.), *Proceedings of intelligent tutoring systems (ITS) 2012* (pp. 256–261). Berlin, Germany: Springer.
- [71] Paladines José, Ramírez Jaime (2020). A Systematic Literature Review of Intelligent Tutoring Systems With Dialogue in Natural Language. Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2020.3021383.
- [72] Peg Rosen. Tutoring Kids With Dyscalculia | Tutors for Math Issues. Fecha de acceso 10 de de 2021. <https://www.understood.org/en/articles/tutoring-kids-with-dyscalculia-what-you-need-to-know>
- [73] Perkins, D. (1995) *La escuela inteligente*. Gedisa.
- [74] Polozov O., E. O’Rourke, A. M. Smith, L. Zettlemoyer, S. Gulwani, and Z. Popovic, “Personalized mathematical word problem generation,” in *Twenty-Fourth IJCAI*, 2015.

- [75] Pozo, J. I. (1998). *Aprendices y maestros*. Alianza
- [76] Programme for International Student Assessment (PISA).
<https://www.oecd.org/pisa/data/2018database/>. Fecha de acceso: 02 de diciembre de 2021.
- [77] Rasch, G. (1960). *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*. Chicago: The University of Chicago Press.
- [78] Rasch, G. (1966). "An individual-centered approach to item analysis with two categories of answers", In *psychological measurement theory, Proceedings of the NUFFIC international summer session in science at "Het oude Hof", The Hague, July 1966*.
- [79] Rawson, Katherine & Dunlosky, John. (2011). *Optimizing Schedules of Retrieval Practice for Durable and Efficient Learning: How Much Is Enough?*. *Journal of experimental psychology. General*. 140. 283-302. 10.1037/a0023956.
- [80] Razzaq, L. M., Feng, M., Nuzzo-Jones, G., Heffernan, N. T., Koedinger, K. R., Junker, B., & Rasmussen, K. (2005). *Blending assessment and instructional assisting*. In C. Looi, G.
- [81] Roediger III, H.L., Butler, A.C., 2011. *The critical role of retrieval practice in long-term retention*. *Trends in Cognitive Sciences* 15, 20–27.
- [82] Roediger, Henry & Karpicke, Jeffrey. (2006). *The Power of Testing Memory Basic Research and Implications for Educational Practice*. *Perspectives on Psychological Science*. 1. 10.1111/j.1745-6916.2006.00012.x.
- [83] Russell and Norvig: Russell S.J and Norvig P (1995). *Artificial Intelligence: A modern Approach*. Prentice-Hall, upper Saddle River, New Jersey.
- [84] Schroeder CE, Wilson DA, Radman T, Scharfman H, Lakatos P. *Dynamics of Active Sensing and perceptual selection*. *Curr Opin Neurobiol*. 2010 Apr;20(2):172-6. doi: 10.1016/j.conb.2010.02.010. Epub 2010 Mar 20. PMID: 20307966; PMCID: PMC2963579.
- [85] Schwonke R, Renkl, A, Krieg, C, Wittwer, J, Aleven, V, Salden, R (2009). *The worked-example effect: not an artefact of lousy control conditions*. *Computers in Human Behavior*, 25(2, SI), 258–266.
- [86] Soltanpoor R., C. Thevathayan, and D. D'Souza, "Adaptive remediation for novice programmers through personalized prescriptive quizzes," in *ITICSE*. ACM, 2018, pp. 51–56.

- [87] Stevens, A.; Collins, A. (1977). The goal structure of a Socratic tutor. Proc.s of the National ACM Conference. New York.
- [88] Stone Wiske, M. (2007A) Conferencia Enseñar para la comprensión con nuevas tecnologías. Universidad de San Andrés. 8 de mayo
- [89] Sun Y. and M. Suzuki, "Diagnostic assessment for improving teaching practice," IJIED, vol. 3, no. 6, p. 607, 2013.
- [90] Sun Y., S. Ye, S. Inoue, and Y. Sun, "Alternating recursive method for q-matrix learning," in EDM, 2014.
- [91] System for Mathematics by Students Who Aspire to Enter the Technological University of Panama," 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), 2019, pp. 255-260, doi: 10.1109/IESTEC46403.2019.00-66.
- [92] Tronsky, L. N., & Royer, J. M. (2003). Relationships among basic computational automaticity, working memory, and complex mathematical problem solving: What we know and what we need to know. In J. M. Royer (Ed.), *Mathematical cognition*. Greenwich: Information Age Publishing.
- [93] Tronsky, L. N. (2005). Complex multiplication: Strategy use, the development of automaticity with practice, and working memory involvement. *Memory & Cognition*, 33, 927–940. *Int J Artif Intell Educ* (2014) 24:387–426 425
- [94] Understood -For learning and thinking differences. Brain Breaks for Kids.
- [95] VanLehn, K (1988). Student Modelling. M. Polson. *Foundations of Intelligent Tutoring systems*. Hillsdale. N.J. Lawrence Erlbaum Associates, 55-78.
- [96] VanLehn, K, Siler, S, Murray, C, Yamauchi, T, Baggett, WB (2003). Why do only some events cause learning during human tutoring? *Cognition and Instruction* , 21(3), 209–249.
- [97] VanLehn, K (2006). The behavior of tutoring systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education* , 16(3), 227–265.
- [98] VanLehn, K., Graesser, A. C., Jackson, G. T., Jordan, P., Olney, A., & Rose, C. P. (2007). When are tutorial dialogues more effective than reading? *Cognitive Science*, 31, 3–62.

- [99] VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, 46, 197–221.
- [100] Van Seters, J. R., Ossevoort, M. A., Trampler, J., & Goedhart, M. J. (2012). The influence of student characteristics on the use of adaptive e-learning material. *Computers and Education*, 58(3), 942– 952.
- [101] Villanueva N. M., A. E. Costas, D. F. Hermida and A. C. Rodríguez, "SIMPLIFY ITS: An intelligent tutoring system based on cognitive diagnosis models and spaced learning," 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2018, pp. 1703-1712, doi: 10.1109/EDUCON.2018.8363440.
- [102] Villarreal Farah, G. (2003). Agentes Inteligentes en educación. *EduTec* número 16, abril de 2003.
- [103] Villeda Stephanie T., Brooke C Shuster, Lauren Magill, and Erik W Carter. 2016. Behavior-Specific Praise in the Classroom.
- [104] Vygotsky, L. (1978) *Mind in society: The development of higher psychological processes*: Harvard University Press.
- [105] Wang, Y., & Heffernan, N.T. (2013). Extending Knowledge Tracing to Allow Partial Credit: Using Continuous versus Binary Nodes. *AIED*.
- [106] Wolf, B. (1984). *Context Dependent Planning in a Machine* (Ph. D. dissertation). University of Massachusetts, Amherst, Massachusetts.
- [107] Wolf, B. (1988). Theoretical frontiers in building machine tutor. En Kearsley, G. (Ed.) *Artificial Intelligence and Instruction. Applications and methods*. Addison-Wesley. p. 259-267.
- [108] Woolf, B. (2009). *Building Intelligent Tutors: Bridging Theory and Practice*. San Francisco: Elsevier Inc./ Morgan Kauffman.
- [109] Wongwatkit C., N. Srisawasdi, G.-J. Hwang, and P. Panjaburee, "Influence of an integrated learning diagnosis and formative assessment-based personalized web learning approach on students learning performances and perceptions," *Interactive Learning Environments*, vol. 25, no. 7, pp. 889–903, 2017.

[110] Wooldridge, MJ y NR Jennings (1995). Agente teorías, arquitecturas y lenguajes: una encuesta. En MJ Wooldridge and NR Jennings (Eds.), Agentes Inteligentes, Tomo 890 de la LNAI. págs. 1 -- 39. Springer-Verlag.

[111] Wright B., "Sample-free test calibration and person measurement". Invitational Conference on Testing Problems, pp 85-101, February 1967.

[112] Zikai Alex Wen, Erica Silverstein, Yuhang Zhao, Anjelika Lynne Amog, Katherine Garnett, and Shiri Azenkot. 2020. Teacher Views of Math E-learning Tools for Students with Specific Learning Disabilities. In The 22nd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, Association for computing Machinery (ACM), New York, NY, USA, 1–13. DOI

[113] Zhang B. and J. Jia, "Evaluating an Intelligent Tutoring System for Personalized Math Teaching," 2017 International Symposium on Educational Technology (ISET), 2017, pp. 126-130, doi: 10.1109/ISET.2017.37.

[114] Zimmerman, B. J., & Moylan, A. R. (2009). Self-regulation: Where motivation and metacognition intersect. Handbook of Metacognition in Education.