

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

María Cecilia Pezzini ¹, Pablo Thomas ²

¹ Alumna de la Especialización en tecnología informática aplicada a la educación. Facultad de Informática – Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

² Instituto de Investigación en Informática LIDI (III-LIDI). Facultad de Informática – Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. Centro Asociado a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC)

c_pezzini@hotmail.com, pthomas@lidi.info.unlp.edu.ar

Resumen. Uno de los ámbitos más afectados por la crisis sanitaria ocasionada por la pandemia de COVID 19 fue la educación, debido a la interrupción de la enseñanza presencial durante los años 2020 y 2021, transformando las trayectorias de aprendizaje de más de 1.600 millones de estudiantes en todo el mundo [26].

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 [3].

Es por esto, que la utilización de sistemas tutores inteligentes, puede resultar oportuno para acompañar el proceso de enseñanza y aprendizaje en el área de matemática, con el fin de ayudar a mejorar el nivel académico de los estudiantes.

En este trabajo se realiza un análisis comparativo de sistemas tutores inteligentes orientados a la educación secundaria para matemática.

Keywords: Sistemas tutores inteligentes, educación secundaria, enseñanza de matemática.

1 Introducción

El Ministerio de Educación de la Nación, a través de la Secretaría de Evaluación e Información Educativa (SEIE), realiza desde el año 2016, una evaluación nacional llamada Aprender [2], que permite medir el nivel de desempeño de los estudiantes tanto de nivel primario como secundario, en áreas básicas de conocimiento, así como identificar distintos factores que inciden en los aprendizajes.

El 1 diciembre de 2021, se realizaron las pruebas Aprender 2021, de forma censal en sexto grado de las 23.000 escuelas primarias de Argentina. Los alumnos hicieron la evaluación de Lengua y Matemática [4][5].

Los resultados de la prueba Aprender 2021 permiten por primera vez tener una mirada sobre los niveles de desempeño de los estudiantes del último año de primaria luego de la interrupción de clases presenciales en 2020 y 2021, por la pandemia de COVID19.

En comparación con los datos previos, de las pruebas Aprender 2018, efectuada a alumnos de 6° año de primaria, los puntajes promedio disminuyeron tanto en Lengua como en Matemática.

En el año 2018, Argentina participó de las pruebas PISA (Programme for International Student Assessment, por sus siglas en inglés), que consiste en un operativo trienal, dirigido a alumnos de 15 años y que estén cursando 7° año o más.

Los alumnos argentinos, se ubicaron por debajo de la media de América Latina, (países latinoamericanos participantes Chile, Uruguay, Costa Rica, México, Brasil, Colombia, Perú, Panamá, República Dominicana) [24].

Mientras que en las pruebas Aprender 2019, dirigida a alumnos del nivel secundario, el 72% de los alumnos terminó la secundaria con deficiencias en Matemática y anticipan que la pandemia agravó los resultados [3].

La evolución de la tecnología, ha llevado a desarrollar sistemas de software que utilizan técnicas de inteligencia artificial, para favorecer la educación personalizada, actuando como un tutor personal para cada uno de los estudiantes, pudiendo discernir sus necesidades y los procesos meta cognitivos que requieren en el aprendizaje.

Tomando como premisa los resultados de las pruebas PISA 2018 y Aprender 2019, el presente trabajo tiene como objetivo, hacer un estudio bibliográfico del impacto de los sistemas tutores inteligentes, sobre investigaciones existentes, metodologías que se aplican; y qué trabajos se realizan en la educación secundaria, y cómo ayudan a mejorar el aprendizaje de los estudiantes.

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 les brinda herramientas para desarrollar el pensamiento analítico, los 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.

En la sección 2 se detalla la selección de sistemas tutores inteligentes. La sección 3 presenta el análisis de sistemas tutores inteligentes. En la sección 4 se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2 Selección de sistemas tutores inteligentes.

Los sistemas tutores inteligentes 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.

Por otra parte, se pueden concebir tutores que trabajen para solucionar paulatinamente los conceptos erróneos (misconceptions), contribuyendo a un cambio conceptual [22][23] ; en el modo de construir el conocimiento en forma significativa.

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

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 1. Motores de búsqueda y cadenas de referencia.

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

Table 2. Sistemas Tutores Inteligentes analizados en este trabajo.

Nombre del STI	Descripción
AI - Tutor	Generación de preguntas y respuestas correctivas personalizadas basadas en la evaluación de diagnóstico cognitivo[29]

Aleks	Evaluación y Aprendizaje en Espacios de Conocimiento [17]
Auto-Tutor	SKOPE-IT: superposición de tutoría de lenguaje natural en un sistema de aprendizaje adaptativo para matemática [14][19][20]
SPOKE IT	SKOPE-IT: superposición de tutoría de lenguaje natural en un sistema de aprendizaje adaptativo para matemática [21]
Lexue 100	Evaluación de un sistema de tutoría inteligente para la enseñanza personalizada de matemática [8]
An Intelligent Math E-Tutoring System for Students with Specific Learning Disabilities(SLDs)	Un sistema inteligente de tutoría electrónica de matemática para estudiantes con discapacidades específicas de aprendizaje [7]
SIMPLIFY ITS	Un sistema de tutoría inteligente basado en modelos de diagnóstico cognitivo y aprendizaje espaciado [18]
MathSpring	Avances de la Oficina de Investigación Naval STEM Grand Challenge: expandiendo los límites de los sistemas de tutoría inteligentes [12]
ASSITments	Avances de la Oficina de Investigación Naval STEM Grand Challenge: expandiendo los límites de los sistemas de tutoría inteligentes [16]
WAYANG OUTPOST	Avances de la Oficina de Investigación Naval STEM Grand Challenge: expandiendo los límites de los sistemas de tutoría inteligentes [6]

3 Análisis de Sistemas Tutores Inteligentes

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 propuestos, los cuales son utilizados en el análisis de los STI, cuyos resultados se pueden ver en la tabla 3.

- **Aspectos 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 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.
 - Dominio: Este criterio indica el dominio de aplicación del sistema tutor inteligente (Matemática, lengua, ciencias, etc.).

- **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.
- **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. Se pueden agrupar en funciones y herramientas del sistema tutor inteligente.

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 STI.

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 [18], tales como redes neuronales, algoritmos genéticos, teoría de los espacios de conocimiento, etc.

- **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.

4 Conclusiones y trabajos futuros.

Del análisis de los trabajos seleccionados se desprenden las tendencias hacia las cuales avanzan los desarrollos de los STI. 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 [19] y ALEKS [13][17].

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 combinaron, ejemplos resueltos [21], autoexplicación [1], aprendizaje impulsado por un callejón sin salida [27].

En el caso de MathSpring, integró Wayang Outpost y ASSISTments. Wayang Outpost [6][9], 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 [16].

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 [15][28].

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 1° año de educación secundaria , y estudiar su impacto en el aprendizaje.

Referencias

1. Aleven, 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.
 2. *Aprender*. <https://www.argentina.gob.ar/educacion/evaluacion-informacion-educativa/aprender>
 3. *Aprender 2019*. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/educacion/aprender2019>. Accedido: Julio 2022.
 4. *Aprender 2021*. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/educacion/evaluacion-informacion-educativa/aprender/aprender-2021>. Accedido: Julio 2022.
 5. *Argentinos por la educación*. <https://argentinosporlaeducacion.org/informes/> Accedido: Julio 2022.
 6. Arroyo, I., Woolf, B.P., Burelson, 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>
 7. ASSETS '21: The 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility Virtual Event USA October 18 - 22, 2021
 8. 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, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8005404>, Accedido: Julio 2022.
 9. Beal CR, Waller, 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.
 10. Berlin, Heidelberg. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-30139-4_22. Accedido: Julio 2022.
 11. 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).
 12. 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). Accedido: Julio 2022
- <https://stemeducationjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40594-018-0111-x>

13. Falmagne, J. C., Albert, D., Doble, C., Eppstein, D., & Hu, X. (Eds.). (2013). *Knowledge spaces: Applications in education*. Springer Science & Business Media.
14. 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.
15. 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.
16. 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*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 24. 10.1007/s40593-014-0024-x.
17. 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. Accedido: Julio 2022
18. 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, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8363440>. Accedido: Julio 2022
19. 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.
20. Nye, BD, Graesser, AC, Hu, X (2014a). *AutoTutor and family: a review of 17 years of science and math tutoring*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 24(4), 427–469.
21. 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>. Accedido: Julio 2022.
22. Perkins, D. (1995) *La escuela inteligente*. Gedisa.
23. Pozo, J. I. (1998). *Aprendices y maestros*. Alianza
24. Programme for International Student Assessment (PISA). <https://www.oecd.org/pisa/data/2018database/>. Accedido: Julio 2022.
25. Schwonke R, Renkl, A, Krieg, C, Wittwer, J, Alevén, V, Salden, R (2009). *The worked-example effect: not an artefact of lousy control conditions*. *Computers in Human Behavior*, 25(2, SI), 258–266.
26. UNESCO. 2022. *Reimaginar juntos nuestros futuros: Un nuevo contrato social para la educación*. <https://es.unesco.org/futuroseducation/cumbre-sobre-la-transformacion-de-la-educacion>. Accedido: Julio 2022.

27. 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.
28. VanLehn, K. (2011). *The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems and other tutoring systems.* *Educational Psychologist*, 46,97–221.
29. 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.