

Propuesta XII Gala Talento Joven 2024/2025 - Tutorchat: Integración de Agentes Conversacionales en Sistemas Tutoriales Inteligentes

Sergi Solera Monforte

Universitat de València, Burjassot (València), Spain

Resumen.

El objetivo del proyecto es unir la didáctica de las matemáticas y la inteligencia artificial, explorando cómo agentes virtuales basados en modelos de lenguaje (LLM) pueden mejorar el aprendizaje colaborativo en la resolución de problemas verbales aritmético-algebraicos. Los sistemas tutoriales inteligentes (STI), herramientas tecnológicas diseñadas para ofrecer instrucción personalizada y adaptativa, han demostrado ser efectivos en entornos educativos al emular el comportamiento de un tutor humano. Este estudio aborda los retos para la implementación exitosa de agentes en la educación de niños y niñas en edad escolar mediante el aprendizaje colaborativo, donde la interacción social y cognitiva potencia la resolución de problemas. Se propone investigar las habilidades emergentes de los modelos de lenguaje, su capacidad de adaptación a instrucciones, y su implementación en un entorno real para generar agentes colaborativos que actúen como alumnos y alumnas, participando en la colaboración de resolución de Math World Problems (MWP), en los cuales el enunciado, los datos y la resolución se realizan por medio de lenguaje natural.

1. Antecedentes y estado actual del tema. Bibliografía más relevante

1.1. Aprendizaje colaborativo

La resolución colaborativa de problemas se basa en la combinación de habilidades sociales y cognitivas. En PISA, se definió como la capacidad

de trabajar conjuntamente para resolver problemas compartidos [1].

Desde los 70, el impacto del aprendizaje colaborativo ha sido estudiado [2, 3]. Aunque se reconoce su efectividad frente al aprendizaje individual, persisten dudas sobre la composición de los grupos [4, 5].

En matemáticas, [6] señala la importancia de las discusiones en soluciones abiertas, y [7] identifica habilidades metacognitivas clave.

Los sistemas de aprendizaje apoyados por ordenador (CSCL) mejoran la colaboración mediante tecnología [8], con ejemplos como Auto-Tutor [9]. Su efectividad depende de factores como mediación docente y colaboración síncrona.

Los grupos asignados por el profesorado son más efectivos que los auto-formados, y la colaboración síncrona supera a la asíncrona. Las técnicas de **analítica del aprendizaje** pueden optimizar la composición de grupos y los modelos de lenguaje generativos ofrecen nuevas oportunidades para agentes inteligentes en el aprendizaje.

1.2. Sistemas tutoriales inteligentes en la resolución de problemas verbales aritmético-algebraicos

La tecnología en el ámbito educativo ha transformado los métodos de enseñanza, destacando los **Sistemas Tutoriales Inteligentes (STI)**, que utilizan inteligencia artificial para ofrecer retroalimentación personalizada adaptada a las necesidades de cada estudiante.

Un desafío en los STI para problemas aritmético-algebraicos es supervisar el proceso de resolución sin limitar la libertad en la elección de caminos. Algunos STI restringen su supervisión a tipos específicos de resolución o validan solo las respuestas finales.

En aritmética, sistemas como HERON [10] y AnimalWatch [11, 12] destacan por su personalización, mientras que MathCAL [13] se limita a problemas simples. En álgebra, Ms. Lindquist [14] y PAT/Cognitive Tutor Algebra [15] ofrecen retroalimentación en procesos estructurados, mientras que ANIMATE [16] y Word Problem Assistant [17] proporcionan retroalimentación sin validar todas las acciones.

El sistema **HINTS** [18, 19], basado en hipergrafos, apoya la enseñanza de aritmética y álgebra, generando dinámicamente caminos de resolución y ofreciendo supervisión paso a paso. Este sistema ha sido clave en investigaciones sobre flexibilidad en la enseñanza [20], la intensidad de la ayuda [21], y la computación afectiva [22].

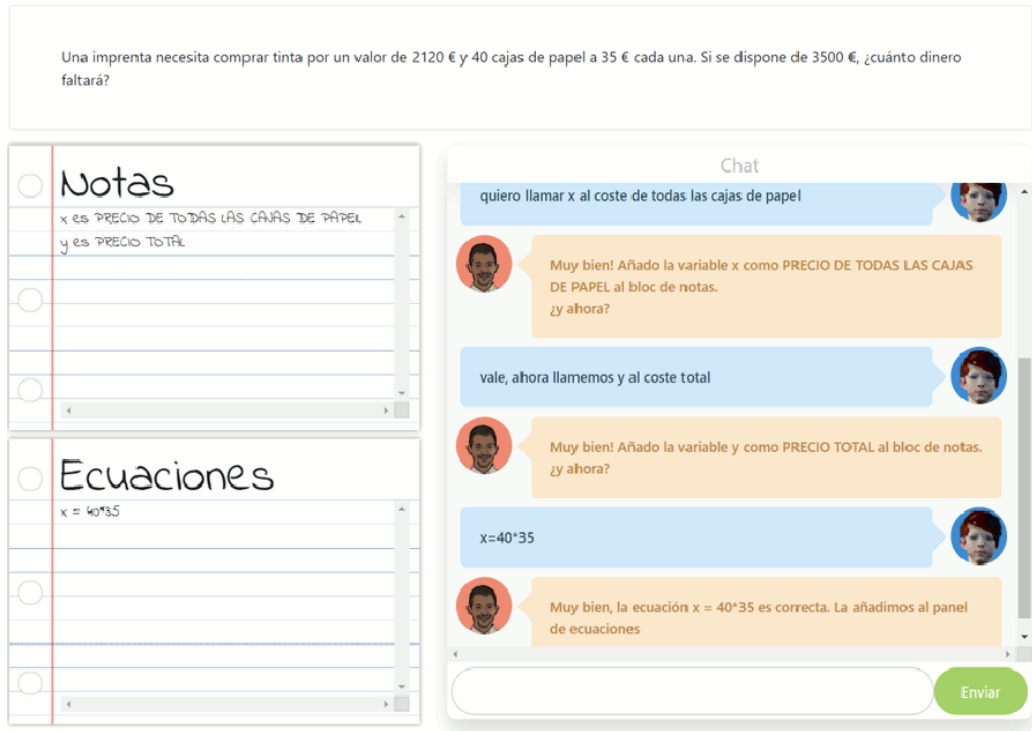


Figure 1: Captura de pantalla de HINTS

Recientemente, se integraron avances en **Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN)** con la plataforma Rasa [23], mejorando la interacción conversacional en HINTS [24, 25]. Estudios como el de Paladines et al. [26] demostraron que los sistemas conversacionales son más efectivos que otras interfaces.

1.3. Sistemas Tutoriales colaborativos para la enseñanza de la matemática

A pesar de las ventajas del **aprendizaje colaborativo**, los sistemas computacionales en educación matemática que lo integran son limitados debido al desafío tecnológico, especialmente en la colaboración síncrona. La integración con sistemas conversacionales ofrece un gran potencial, permitiendo que grupos de estudiantes interactúen en la resolución de problemas matemáticos bajo supervisión de sistemas inteligentes.

Este enfoque presenta desafíos, ya que a diferencia de los **Sistemas Tutoriales Inteligentes (STI)** tradicionales, el aprendizaje colaborativo debe considerar las características de múltiples estudiantes. Esto requiere diseñar

ayudas y trayectorias que fomenten la complementariedad de habilidades en el grupo, optimizando la composición de los mismos.

En el campo del **lenguaje natural**, modelos avanzados como ChatGPT o LLaMA 3 ofrecen nuevas oportunidades en retroalimentación, siendo capaces de resolver problemas verbales. Sin embargo, investigaciones preliminares han identificado errores, como el *error de inversión* descrito por Clement [27], aunque con menor incidencia que en estudiantes de secundaria. Esto subraya la necesidad de evaluar la fiabilidad de estos modelos en contextos educativos.

Estos modelos también tienen el potencial de desarrollar **agentes sintéticos** que actúen como compañeros de aprendizaje, creando un nuevo paradigma en el aprendizaje colaborativo. Estos agentes pueden tener características socio-afectivas y personalidades, fortaleciendo tanto las habilidades matemáticas como la interacción, promoviendo dinámicas colaborativas entre estudiantes y agentes sintéticos.

2. Objetivos concretos de la investigación

El proyecto combina **didáctica de la matemática** e **inteligencia artificial** para desarrollar agentes basados en IA que simulan el comportamiento humano y sustituyen a estudiantes en entornos de aprendizaje colaborativo. Los objetivos específicos son:

- **OE1. Estudiar las habilidades emergentes de los modelos de lenguaje en la resolución de problemas verbales.** Los modelos de gran tamaño pueden realizar operaciones aritméticas y descomponer tareas complejas, contribuyendo al aprendizaje [28].
- **OE2. Analizar la capacidad de ajustar respuestas según directrices específicas.** El diseño de *prompts* es esencial para personalizar las interacciones con los estudiantes.
- **OE3. Examinar necesidades para desarrollar agentes que emulen comportamientos humanos.** Esto incluye manejar errores como el *error de inversión* [27] y diseñar intervenciones estratégicas.
- **OE4. Estudiar la coordinación entre agentes para entornos colaborativos.** Se busca un modelo de interacción que sincronice las contribuciones grupales y emule dinámicas interpersonales.

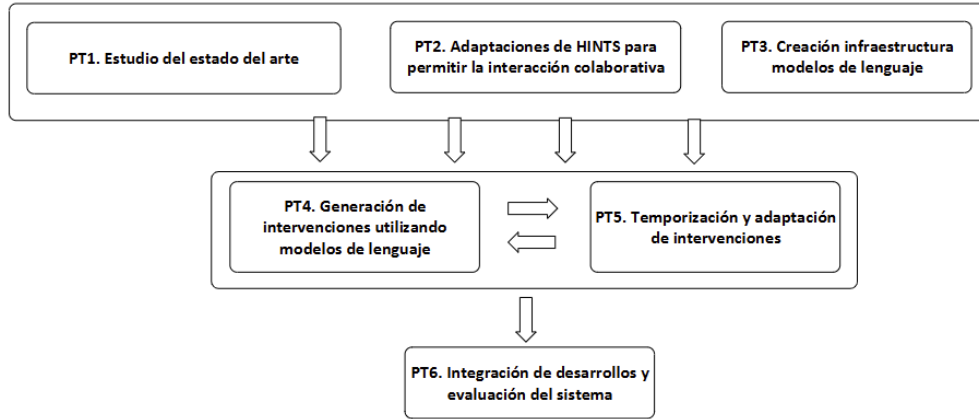


Figure 2: Relación entre los paquetes de trabajo

El proyecto tiene el potencial de transformar el aprendizaje colaborativo mediante agentes inteligentes, mejorando la experiencia educativa y los resultados de los estudiantes.

3. Metodología

El proyecto se organiza en seis paquetes de trabajo (PT) relacionados, estructurados según la Figura 2. La primera etapa se centra en la adquisición de conocimientos y la construcción de infraestructura, mientras que la segunda etapa aborda la generación de agentes conversacionales y su integración en la plataforma HINTS para evaluar la efectividad de las técnicas propuestas.

Primera etapa: Construcción de la infraestructura

- **PT1. Estudio de modelos de lenguaje y diseño de agentes conversacionales.** Se actualizará el conocimiento sobre modelos de lenguaje, *prompt design*, generación de ayudas y diseño de agentes conversacionales, sentando la base para los siguientes paquetes.
- **PT2. Desarrollo de un entorno de experimentación basado en HINTS.** Se creará un entorno experimental para evaluar los desarrollos en contextos reales, actuando como banco de pruebas para validar la aplicabilidad de los resultados.

- **PT3. Definición de una infraestructura modular para modelos de lenguaje.** Se diseñará una infraestructura estándar que facilite el uso e integración de agentes con otros componentes.

Segunda etapa: Generación e integración de agentes conversacionales

- **PT4. Definición de una taxonomía de intervenciones y evaluación de *prompts*.** Se establecerá una taxonomía de intervenciones para los agentes, evaluándolas desde una perspectiva didáctica y analizando la eficacia de los *prompts* en el aprendizaje colaborativo.
- **PT5. Temporización y parametrización de agentes conversacionales.** Se investigarán estrategias para temporizar las intervenciones, considerando la dinámica colaborativa en la resolución de problemas. Se diseñarán personalidades únicas para los agentes mediante la parametrización de *prompts*, adaptando su comportamiento al contexto.
- **PT6. Integración y evaluación en la plataforma HINTS.** Este paquete integrará los desarrollos en la plataforma HINTS, evaluándolos en centros educativos con estudiantes reales. Se compararán un grupo experimental, que use las nuevas funcionalidades, con un grupo de control que emplee técnicas convencionales.

References

- [1] O. for Economic Co-operation, Development, PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving, OECD Publishing, 2017.
- [2] D. W. Johnson, Student-student interaction: The neglected variable in education, *Educational Researcher* 10 (1) (1981) 5–10.
- [3] R. E. Slavin, Cooperative learning in teams: State of the art, *Educational Psychologist* 15 (2) (1980) 93–111. doi:10.1080/00461528009529219.
- [4] A. J. Gabriele, The influence of achievement goals on the constructive activity of low achievers during collaborative problem solving, *British Journal of Educational Psychology* 77 (1) (2007) 121–141. doi:10.1348/000709905X89490.

- [5] N. M. Webb, Task-related verbal interaction and mathematics learning in small groups, *Journal for Research in Mathematics Education* 22 (5) (1991) 366–389.
- [6] M. Pruner, P. Liljedahl, Collaborative problem solving in a choice-affluent environment, *ZDM – Mathematics Education* 53 (4) (2021) 753–770. doi:10.1007/s11858-021-01232-7.
- [7] J. F. A. Salminen-Saari, E. Garcia Moreno-Esteva, E. Haataja, M. Toivanen, M. S. Hannula, A. Laine, Phases of collaborative mathematical problem solving and joint attention: A case study utilizing mobile gaze tracking, *ZDM – Mathematics Education* 53 (4) (2021) 771–784. doi:10.1007/s11858-021-01280-z.
- [8] D. D. Suthers, Computer-supported collaborative learning, in: N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning*, Springer US, 2012, pp. 719–722. doi:10.1007/978-1-4419-1428-6_389.
- [9] A. C. Graesser, S. Lu, G. T. Jackson, H. H. Mitchell, M. Ventura, A. Olney, M. M. Louwerse, Autotutor: A tutor with dialogue in natural language, *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 36 (2004) 180–192.
- [10] K. Reusser, Tutoring systems and pedagogical theory: Representational tools for understanding, planning, and reflection in problem solving, in: S. P. Lajoie, S. J. Derry (Eds.), *Computers as Cognitive Tools*, Lawrence Erlbaum Associates, 1993, pp. 143–177.
- [11] C. R. Beal, Animalwatch: An intelligent tutoring system for algebra readiness, in: R. Azevedo, V. Aleven (Eds.), *International Handbook of Metacognition and Learning Technologies*, Springer, 2013, pp. 337–348.
- [12] C. Beal, I. Arroyo, P. Cohen, B. Woolf, Evaluation of animalwatch: An intelligent tutoring system for arithmetic and fractions, *Journal of Interactive Online Learning* 9 (1) (2010) 64–77.
- [13] K. E. Chang, Y. T. Sung, S. F. Lin, Computer-assisted learning for mathematical problem solving, *Computers & Education* 46 (2) (2006) 140–151. doi:10.1016/j.compedu.2004.08.002.
- [14] N. Heffernan, K. R. Koedinger, An intelligent tutoring system incorporating a model of an experienced human tutor, in: S. Cerri, G. Gouardères,

- F. Paraguaçu (Eds.), *Intelligent Tutoring Systems*, Vol. 2363, Springer, 2002, pp. 596–608. doi:10.1007/3-540-47987-2_61.
- [15] K. R. Koedinger, J. R. Anderson, Illustrating principled design: The early evolution of a cognitive tutor for algebra symbolization, *Interactive Learning Environments* 5 (1) (1998) 161–179. doi:10.1080/1049482980050111.
 - [16] M. J. Nathan, Knowledge and situational feedback in a learning environment for algebra story problem solving, *Interactive Learning Environments* 5 (1) (1998) 135–159. doi:10.1080/10494829800501110.
 - [17] P. W. Thompson, Artificial intelligence, advanced technology, and learning and teaching algebra, in: S. Wagner, C. Kieran (Eds.), *Research issues in the learning and teaching of algebra*, Lawrence Erlbaum Associates and National Council of Teachers of Mathematics, 1989, pp. 135–161.
 - [18] M. Arevalillo-Herráez, D. Arnau, L. Marco-Giménez, Domain-specific knowledge representation and inference engine for an intelligent tutoring system, *Knowledge-Based Systems* 49 (2013) 97–105. doi:10.1016/j.knosys.2013.04.017.
 - [19] D. Arnau, M. Arevalillo-Herráez, L. Puig, J. A. González-Calero, Fundamentals of the design and the operation of an intelligent tutoring system for the learning of the arithmetical and algebraic way of solving word problems, *Computers & Education* 63 (2013) 119–130. doi:10.1016/j.compedu.2012.11.020.
 - [20] J. del Olmo-Muñoz, J. A. González-Calero, P. D. Diago, D. Arnau, M. Arevalillo-Herráez, Using intra-task flexibility on an intelligent tutoring system to promote arithmetic problem-solving proficiency, *British Journal of Educational Technology* 53 (6) (2022) 1976–1992. doi:10.1111/bjet.13228.
 - [21] J. A. González-Calero, D. Arnau, L. Puig, M. Arevalillo-Herráez, Intensive scaffolding in an intelligent tutoring system for the learning of algebraic word problem solving, *British Journal of Educational Technology* 46 (6) (2015) 1189–1200. doi:10.1111/bjet.12183.
 - [22] M. Arevalillo-Herráez, L. Marco-Giménez, D. Arnau, J. A. González-Calero, Adding sensor-free intention-based affective support to an intelligent tutoring system, *Knowledge-Based Systems* 132 (2017) 85–93. doi:10.1016/j.knosys.2017.06.024.

- [23] T. Bocklisch, J. Faulkner, N. Pawlowski, A. Nichol, Rasa: Open source language understanding and dialogue management, arXiv preprint arXiv:1712.05181 (2017).
- [24] P. Arnau-González, M. Arevalillo-Herráez, R. A.-D. Luise, D. Arnau, A methodological approach to enable natural language interaction in an intelligent tutoring system, *Computer Speech & Language* 81 (2023) 101516. doi:10.1016/j.csl.2023.101516.
- [25] R. S. A. de Luise, M. Arevalillo-Herráez, D. Arnau, On using conversational frameworks to support natural language interaction in intelligent tutoring systems, *IEEE Transactions on Learning Technologies* 16 (5) (2023) 722–735.
- [26] J. Paladines, J. Ramírez, M. Berrocal-Lobo, Integrating a dialog system with an intelligent tutoring system for a 3d virtual laboratory, *Interactive Learning Environments* 31 (7) (2023) 4476–4489. doi:10.1080/10494820.2021.1972012.
- [27] J. Clement, Algebra word problem solutions: Thought processes underlying a common misconception, *Journal for Research in Mathematics Education* JRME 13 (1) (1982) 16 – 30. doi:10.5951/jresmetheduc.13.1.0016.
URL <https://pubs.nctm.org/view/journals/jrme/13/1/article-p16.xml>
- [28] J. Wei, Y. Tay, R. Bommasani, C. Raffel, B. Zoph, S. Borgeaud, D. Yogatama, M. Bosma, D. Zhou, D. Metzler, E. H. Chi, T. Hashimoto, O. Vinyals, P. Liang, J. Dean, W. Fedus, Emergent abilities of large language models (2022). arXiv:2206.07682.
URL <https://arxiv.org/abs/2206.07682>