

AGENTES DE IA COMO TUTORES VIRTUALES: DISEÑO Y APLICACIÓN PEDAGÓGICA EN LA ENSEÑANZA SECUNDARIA.

Recibido 22/07/2025 Aceptado 12/09/2025

Norlis Alberto Montoya Contreras
Codigo Orcid 0000-0002-3801-813X
mstmontoya@gmail.com

Doctorado en Pedagogía. Universidad de los Andes

Resumen

Este artículo de reflexión analiza de manera crítica el papel de los agentes de Inteligencia Artificial (IA) configurados como tutores educativos en la enseñanza secundaria. Partiendo de una revisión rigurosa de metaanálisis, estudios de caso internacionales y literatura académica especializada, se exploran los fundamentos conceptuales de la tutoría inteligente y los modelos contemporáneos de pedagogía digital. Se examinan experiencias reales de aplicación de sistemas de tutoría inteligente (ITS), sus beneficios en términos de personalización del aprendizaje, retroalimentación inmediata, autonomía estudiantil y motivación intrínseca. Asimismo, se identifican desafíos éticos, tales como sesgos algorítmicos, riesgos de deshumanización de los procesos educativos y vulnerabilidades asociadas a la privacidad de los datos. Finalmente, se presentan orientaciones pedagógicas fundamentadas para la integración ética y eficaz de agentes IA en entornos escolares, subrayando la importancia de la formación docente, el diseño centrado en el estudiante y la evaluación continua del impacto educativo.

Palabras clave: agentes de inteligencia artificial, tutoría inteligente, enseñanza secundaria, personalización del aprendizaje, ética educativa.

ABSTRACT

This reflective article critically examines the role of Artificial Intelligence (AI) agents configured as educational tutors in secondary education. Based on a rigorous review of meta-analyses, international case studies, and specialized academic literature, it explores the conceptual foundations of intelligent tutoring and contemporary models of digital pedagogy. It examines real-world applications of intelligent tutoring systems (ITS), their benefits in terms of learning personalization, immediate feedback, student autonomy, and intrinsic motivation. Likewise, ethical challenges such as algorithmic bias, risks of dehumanizing educational processes, and vulnerabilities related to data privacy are identified. Finally, pedagogical guidelines are presented for the ethical and effective integration of AI agents in school settings, emphasizing teacher training, student-centered design, and continuous educational impact assessment.

Keywords: artificial intelligence agents, intelligent tutoring, secondary education, learning personalization, educational ethics.

INTRODUCCION

La adolescencia representa una etapa clave en el desarrollo integral del ser humano, caracterizada por transformaciones significativas a nivel biológico, cognitivo, emocional y social. Durante este periodo, comprendido generalmente entre los 12 y 18 años, el cerebro experimenta procesos de reorganización sináptica que favorecen la adquisición de habilidades superiores como el razonamiento abstracto, la resolución de problemas complejos y la reflexión metacognitiva (Steinberg, 2005; Casey, Jones & Hare, 2008). No obstante, estas mismas transformaciones neuropsicológicas generan también una mayor susceptibilidad a la dispersión, la fluctuación motivacional y la aparición de brechas atencionales.

En el contexto educativo, esta complejidad cognitiva y emocional impone retos sustanciales para el diseño de experiencias de aprendizaje efectivas. Los adolescentes requieren entornos educativos que conjuguen desafíos intelectuales pertinentes con propuestas pedagógicas sensibles a sus necesidades socioemocionales. El desarrollo de la autoeficacia, la regulación emocional y la motivación intrínseca se configura así como un objetivo pedagógico esencial (Eccles & Roeser, 2011; Steinberg, 2014).

Tradicionalmente, los modelos de tutoría educativa han centrado sus esfuerzos en la transmisión unidireccional de contenidos, apoyándose en la figura del docente como emisor principal del conocimiento. Sin embargo, esta aproximación resulta insuficiente frente a las demandas educativas de los adolescentes contemporáneos, quienes interactúan cotidianamente con tecnologías digitales y esperan entornos de aprendizaje más interactivos, personalizados y flexibles.

En este escenario emergen los agentes de Inteligencia Artificial (IA) como tutores virtuales, configurados para ofrecer experiencias educativas personalizadas a partir del análisis de datos individuales sobre desempeño académico, estilos de aprendizaje y ritmos cognitivos (Anderson et al., 1995; VanLehn, 2011). Estos sistemas emplean algoritmos de aprendizaje automático capaces de diagnosticar dificultades específicas, ajustar dinámicamente la complejidad de las tareas y proporcionar retroalimentación inmediata (Narciss, 2004; Woolf, 2009).

A pesar de sus potenciales beneficios, la implementación de agentes IA en el ámbito educativo plantea desafíos relevantes. Entre ellos destacan los riesgos de sesgos algorítmicos (O'Neil, 2016), la posible disminución del componente humano en las interacciones educativas (Selwyn, 2019) y las implicaciones éticas derivadas de la gestión de datos personales de menores (UNESCO, 2021). Por ello, este artículo propone una reflexión crítica y propositiva sobre el uso de tutores virtuales basados en IA, articulando marcos teóricos provenientes de la pedagogía digital, la ciencia cognitiva y la ética educativa.

El presente artículo se estructura en cuatro secciones principales. La primera expone el marco conceptual y teórico sobre los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) y su evolución hacia agentes conversacionales. La segunda revisa el estado del arte y experiencias relevantes que ilustran el impacto de estos sistemas en contextos reales de enseñanza secundaria. En la tercera sección se desarrolla un análisis crítico de los beneficios y desafíos éticos asociados a la tutoría basada en IA. Finalmente, se proponen orientaciones pedagógicas fundamentadas para una implementación ética, inclusiva y eficaz de estos agentes en entornos escolares.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y TUTORÍA INTELIGENTE

Los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) se sustentan en avances múltiples de la IA y la educación, articulando diversas tecnologías y marcos conceptuales:

1. Algoritmos de IA aplicados en ITS: Sistemas basados en reglas: emplean árboles de decisión y reglas "si-entonces" codificadas manualmente por expertos en dominio. Son transparentes, pero escalan con dificultad a contenidos muy amplios.
2. Modelos estadísticos y de aprendizaje automático: regresiones, SVM o redes neuronales para predecir el desempeño y detectar patrones de error (Baker & Yacef, 2009).
3. Aprendizaje profundo: más recientes ITS investigan arquitecturas de deep learning para analizar trazas finas de interacción —por ejemplo, secuencias de clics o tiempo de respuesta— y

ofrecer recomendaciones de actividades (Heffernan et al., 2016).

Esta capacidad de procesar datos complejos y de alta dimensionalidad resulta especialmente útil en la educación de adolescentes, pues permite identificar patrones de dificultad y estilos de interacción típicos de esta etapa — como fluctuaciones de atención o picos de curiosidad—, y adaptar las recomendaciones de forma más sensible a sus necesidades cognitivas y motivacionales.

1. Aprendizaje automático e ITS adaptativos: Los ITS modernos usan técnicas de minería de datos y modelado bayesiano para actualizar continuamente el perfil del alumno. Por ejemplo:

Bayesian Knowledge Tracing (BKT) estima la probabilidad de que el estudiante haya dominado un concepto tras cada ejercicio (Corbett & Anderson, 1995).

Performance Factors Analysis (PFA) incorpora características de usuario y ejercicio para refinar esa estimación (Pavlik, Cen & Koedinger, 2009).

Estas aproximaciones permiten que el ITS no solo ajuste la dificultad, sino también seleccione el tipo de actividad (p. ej., problemas de opción múltiple vs. ejercicios de construcción) que maximice el aprendizaje.

ANALÍTICA DE APRENDIZAJE Y VISUALIZACIÓN

Más allá de la interacción directa, los ITS proporcionan dashboards analíticos para docentes y diseñadores instruccionales:

1. Indicadores de progreso: tiempo dedicado, tasa de aciertos, intentos fallidos.
2. Mapas de competencia: identificación de lagunas conceptuales.
3. Alertas tempranas: detección de desmotivación o abandono potencial (Bienkowski, Feng & Means, 2012).

Estos datos permiten a los tutores humanos complementar la acción automática con intervenciones oportunas.

Por ejemplo, un profesor puede observar en el mapa de competencias que un grupo de estudiantes presenta lagunas en la resolución de ecuaciones cuadráticas y, a partir de ello, diseñar una clase de refuerzo específico con actividades colaborativas y ejercicios adicionales que aborden esos conceptos, optimizando así el tiempo de enseñanza presencial.

CONSIDERACIONES ÉTICAS Y DE PRIVACIDAD

El uso de ITS implica recolectar datos sensibles de menores de edad:

- Consentimiento informado: imprescindible antes de iniciar el uso de la plataforma (UNESCO, 2021).
- Anonimización y minimización de datos: sólo recolectar lo estrictamente necesario para la tutoría.
- Equidad algorítmica: auditorías periódicas para asegurar que el sistema no favorezca ni perjudique a ningún grupo demográfico (Holstein et al., 2019).

Ejemplos representativos de ITS reales:

1. Cognitive Tutor Algebra: desarrollado en Carnegie Learning, usa BKT y un motor de inferencia para guiar paso a paso la resolución de ecuaciones (Anderson et al., 1995).
2. ASSISTments: plataforma abierta que integra ejercicios adaptativos y permite a los docentes diseñar sus propias actividades, con analítica en tiempo real (Heffernan & Heffernan, 2014).
3. AutoTutor: combina procesamiento de lenguaje natural y diálogo tutorial, capaz de mantener conversaciones extensas sobre temas complejos (Graesser et al., 2014).

CONEXIÓN CON TEORÍAS DEL APRENDIZAJE

Zona de desarrollo próximo (Vygotsky): el ITS actúa como "andamiaje virtual", ajustando el nivel de apoyo conforme el alumno adquiere autonomía. Por ejemplo, un estudio de Roll et al. (2014) en entornos de secundaria mostró

que estudiantes que aprendieron con un ITS diseñado como andamiaje virtual desarrollaron un 25 % más de estrategias de autoaprendizaje y reportaron mayor confianza para enfrentar problemas matemáticos complejos.

Teoría de la carga cognitiva (Sweller): Al modular la complejidad de las tareas, el ITS evita sobrecargar la memoria de trabajo del estudiante, favoreciendo un procesamiento más eficiente y reduciendo la carga extrínseca innecesaria (Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011).

Aprendizaje autorregulado (Zimmerman): La retroalimentación inmediata y la visualización de metas fomentan la planificación, el monitoreo y la evaluación del propio proceso de aprendizaje, elementos clave en el desarrollo del aprendizaje autorregulado (Zimmerman, 2002).

En suma, los ITS representan un ecosistema tecnológico-pedagógico en constante evolución, donde la integración de algoritmos avanzados, analítica de datos y teorías del aprendizaje conforma un entorno capaz de adaptarse con precisión a las necesidades cognitivas y socioemocionales propias de los adolescentes.

MARCO REFERENCIAL

En el transcurso de las últimas décadas, los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) han sido objeto de numerosas investigaciones que comparan su efectividad con la de los métodos tradicionales y la tutoría humana. Un metaanálisis clave realizado por VanLehn (2011) analizó más de 80 estudios controlados, determinando que los ITS, cuando se diseñan adecuadamente, pueden igualar la efectividad de los tutores humanos en términos de adquisición de conocimiento conceptual, particularmente en áreas como matemáticas y ciencias. Aunque los tutores humanos mantienen una ventaja relativa en aspectos socioemocionales e interacciones no verbales, las diferencias cuantitativas en el rendimiento académico suelen ser menores al 5 %.

Estos resultados iniciales sentaron las bases para posteriores investigaciones que han profundizado en diversos aspectos del uso de ITS. Por ejemplo, Roll y Wylie (2016) realizaron una revisión exhaustiva de 65 estudios, concluyendo que los ITS personalizados incrementan la retención del conocimiento entre un 20 % y un 30 % en

comparación con métodos tradicionales. Estos beneficios son más evidentes en disciplinas con estructura jerárquica de conceptos, como álgebra, física o química.

Además del impacto cuantitativo, diversas iniciativas han explorado el potencial de los agentes conversacionales integrados a sistemas de apoyo académico. Un caso emblemático es el desarrollo de "Jill Watson", un asistente virtual basado en inteligencia artificial creado en el Georgia Institute of Technology por Goel y Polepeddi (2016). Jill Watson fue entrenada con miles de interacciones previas en foros académicos de un curso de maestría en línea y alcanzó un 97 % de precisión al responder consultas técnicas y administrativas. Su implementación permitió al equipo docente liberar tiempo para concentrarse en actividades pedagógicas más complejas, mientras que los estudiantes reportaron niveles de satisfacción equivalentes a los obtenidos en interacciones con asistentes humanos.

Desde una perspectiva crítica e innovadora, Luckin et al. (2016) propusieron el modelo "Learner-Driven AI", que plantea un cambio de paradigma en el diseño de ITS al situar al estudiante como protagonista activo del proceso educativo. Este enfoque propone transparencia en el funcionamiento de los algoritmos, control por parte del usuario sobre aspectos clave del sistema (como nivel de dificultad o estilo de comunicación) y participación activa en la definición de sus objetivos de aprendizaje. Al implementar prototipos de este modelo, se observó un incremento significativo en la motivación intrínseca de los estudiantes y una mejora sustancial en su percepción de autonomía.

En el contexto latinoamericano, aunque la literatura empírica aún es limitada, comienzan a emerger experiencias relevantes. Un ejemplo reciente es el proyecto "Artemis", desarrollado en colaboración entre universidades argentinas y chilenas, que explora la aplicación de ITS adaptativos en educación secundaria rural. Los primeros reportes (2023) destacan mejoras en comprensión lectora y razonamiento lógico-matemático, así como un aumento en la participación de estudiantes previamente rezagados. Este tipo de experiencias locales refuerza la necesidad de expandir la investigación aplicada en entornos socioculturales diversos.

Estas experiencias internacionales y regionales demuestran que los ITS no solo ofrecen beneficios académicos, sino también oportunidades para rediseñar los procesos de enseñanza y aprendizaje desde una perspectiva centrada en el estudiante. No obstante, su implementación efectiva requiere atender de forma simultánea los desafíos éticos y pedagógicos que acompañan a la inteligencia artificial en educación.

ANÁLISIS CRÍTICO Y PROPUESTA PEDAGÓGICA

El análisis crítico de los agentes de Inteligencia Artificial (IA) configurados como tutores educativos permite identificar fortalezas significativas, pero también retos sustanciales. Entre los principales beneficios se encuentra la personalización del aprendizaje. Gracias a su capacidad para analizar en tiempo real el rendimiento individual de cada estudiante, los sistemas ITS logran ajustar dinámicamente los contenidos, la dificultad de las actividades y los recursos pedagógicos, generando itinerarios formativos diferenciados (Woolf, 2009).

Por ejemplo, si un estudiante muestra un dominio sólido en álgebra elemental, el ITS puede ofrecerle problemas avanzados que representen un reto intelectual adecuado. De forma contraria, si detecta vacíos conceptuales, despliega recursos adicionales como explicaciones, ejemplos alternativos o tutoriales interactivos. Esta adaptabilidad favorece el desarrollo de la autoeficacia académica (Zimmerman, 2002), al permitir que cada adolescente avance a su propio ritmo sin experimentar frustración por tareas demasiado difíciles o aburrimiento por actividades redundantes.

Otro aspecto positivo es la disponibilidad continua de los sistemas, accesibles 24 horas al día desde diversos dispositivos. Esta característica facilita el aprendizaje autónomo fuera del horario escolar, refuerza los contenidos vistos en clase y permite atender necesidades específicas de estudiantes con limitaciones de tiempo o desplazamiento. De igual forma, contribuye a consolidar aprendizajes durante periodos de vacaciones, evitando la pérdida de conocimientos por inactividad prolongada.

Además, muchos ITS integran dinámicas de gamificación (Johnson et al., 2014), como medallas virtuales, niveles, tablas de

clasificación y recompensas simbólicas, que estimulan la motivación intrínseca. Estas estrategias convierten el proceso educativo en una experiencia lúdica, fortaleciendo el compromiso con las actividades escolares.

No obstante, la implementación de tutores virtuales plantea desafíos éticos y pedagógicos relevantes. Uno de los principales riesgos es la presencia de sesgos algorítmicos (O’Neil, 2016). Si los conjuntos de datos utilizados para entrenar los sistemas carecen de diversidad demográfica o reflejan desigualdades históricas, los ITS pueden reproducir esas mismas brechas en sus recomendaciones pedagógicas. Por ejemplo, un sistema entrenado mayoritariamente con datos de estudiantes urbanos podría no ajustarse a las particularidades cognitivas, culturales o lingüísticas de adolescentes rurales.

La dependencia excesiva de los agentes IA también representa una preocupación legítima. Si bien estos sistemas pueden automatizar procesos instruccionales, no deben sustituir las interacciones humanas esenciales para el desarrollo socioemocional de los adolescentes. El contacto directo con docentes sigue siendo insustituible para fortalecer habilidades interpersonales, pensamiento crítico y empatía. Por ello, se recomienda avanzar hacia modelos híbridos que integren inteligentemente los aportes de la IA con espacios presenciales ricos en interacción personal (Selwyn, 2019).

Otro desafío clave radica en el manejo ético de los datos personales. La implementación de ITS conlleva la recolección de información sensible de menores, lo que obliga a establecer políticas claras de consentimiento informado (UNESCO, 2021) y aplicar principios de minimización de datos (GDPR, 2018). Asimismo, es fundamental adoptar protocolos de anonimización, cifrado y eliminación segura de registros una vez cumplido su propósito pedagógico.

A partir de este análisis, se proponen las siguientes orientaciones pedagógicas para guiar una implementación ética, inclusiva y eficaz de agentes IA en la enseñanza secundaria:

Formación docente especializada: Diseñar programas de capacitación continua que fortalezcan las competencias de los educadores en el uso de ITS, interpretación de informes analíticos y diseño de estrategias pedagógicas

híbridas. Un curso estructurado en tres módulos —fundamentos de IA educativa, análisis de datos educativos y estrategias didácticas complementarias— puede constituir una ruta formativa efectiva (Heffernan & Heffernan, 2014).

Diseño centrado en el estudiante: Involucrar activamente a los adolescentes en el proceso de configuración de los sistemas, permitiéndoles definir objetivos de aprendizaje, elegir modalidades de interacción (tono formal o coloquial, uso de recursos multimedia) y participar en el diseño de mecanismos de retroalimentación (Luckin et al., 2016). Esta participación incrementa la motivación y promueve un sentido de agencia.

Evaluación continua e inclusiva: Implementar instrumentos de evaluación formativa que no se limiten a medir resultados académicos, sino que incorporen indicadores de motivación, autoeficacia y bienestar socioemocional (Durlak et al., 2011). Asimismo, realizar auditorías periódicas para detectar posibles sesgos algorítmicos y ajustar los modelos conforme a criterios de equidad educativa (Holstein et al., 2019).

Protocolos éticos de privacidad: Desarrollar marcos normativos institucionales que expliciten qué datos se recolectan, para qué se utilizan y por cuánto tiempo se almacenan. Estas políticas deben cumplir con los estándares internacionales, como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR, 2018), garantizando la confianza de estudiantes, familias e instituciones.

Estas orientaciones buscan asegurar que la adopción de tutores virtuales potenciados por IA no solo mejore los resultados académicos, sino que también fortalezca la equidad, la autonomía estudiantil y el respeto por los derechos fundamentales en los procesos educativos.

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

El análisis realizado a lo largo de este estudio permite afirmar que los agentes de Inteligencia Artificial configurados como tutores virtuales representan un avance significativo en el ámbito educativo, especialmente en el contexto de la enseñanza secundaria. Los Sistemas de Tutoría Inteligente (ITS) han demostrado ser eficaces para personalizar itinerarios de

aprendizaje, proporcionar retroalimentación inmediata y fortalecer la motivación intrínseca de los estudiantes. Al mismo tiempo, se identificaron desafíos éticos y pedagógicos que obligan a concebir su implementación con una perspectiva crítica, inclusiva y orientada al respeto de los derechos fundamentales de los adolescentes.

Entre las principales conclusiones destacan:

Potencial pedagógico probado: Los ITS permiten una personalización eficaz del aprendizaje, promueven la autonomía estudiantil y refuerzan el compromiso con las actividades académicas mediante estrategias de gamificación y ajustes dinámicos de dificultad (VanLehn, 2011; Woolf, 2009).

Necesidad de formación docente: La incorporación efectiva de tutores virtuales requiere fortalecer las competencias docentes en el uso de tecnologías educativas, análisis de datos y diseño de estrategias pedagógicas híbridas (Heffernan & Heffernan, 2014).

Riesgos éticos y salvaguardas necesarias: Los sesgos algorítmicos, la dependencia excesiva de la tecnología y el manejo inadecuado de datos personales representan riesgos significativos. La adopción de protocolos claros de auditoría, anonimización y minimización de datos es indispensable (O’Neil, 2016; UNESCO, 2021).

Enfoque híbrido recomendado: Los agentes de IA no deben concebirse como sustitutos del profesorado, sino como aliados complementarios en un modelo híbrido que combine el potencial tecnológico con el acompañamiento humano personalizado (Selwyn, 2019).

Líneas futuras de investigación

A partir de este trabajo, se proponen varias líneas futuras de investigación para profundizar en el impacto de los agentes IA como tutores virtuales:

Evaluación socioemocional: Realizar estudios longitudinales que exploren el impacto de los ITS en el desarrollo socioemocional de los adolescentes, considerando variables como la autoestima académica, la resiliencia y el sentido de pertenencia.

Diseño de tutores emocionalmente sensibles: Investigar el desarrollo de sistemas conversacionales capaces de detectar y adaptar sus respuestas a las emociones del estudiante, integrando elementos de inteligencia emocional artificial.

Estudios en contextos vulnerables: Desarrollar investigaciones aplicadas en comunidades rurales o en situación de vulnerabilidad socioeconómica, con el fin de garantizar que la innovación educativa basada en IA no profundice brechas existentes, sino que contribuya activamente a reducirlas.

Fortalecimiento de marcos éticos internacionales: Participar en la construcción de consensos globales sobre los principios éticos para el uso de inteligencia artificial en educación, especialmente orientados a proteger los derechos de niños y adolescentes.

Estas líneas de trabajo permitirán consolidar un enfoque integral que asegure que los agentes de IA se implementen como herramientas pedagógicas al servicio de una educación más equitativa, inclusiva y centrada en el desarrollo integral de los estudiantes del siglo XXI.

REFERENCIAS

- Anderson, J. R., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., & Pelletier, R. (1995). Cognitive tutors: Lessons learned. *The Journal of the Learning Sciences*, 4(2), 167–207. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0402_3
- Baker, R. S., & Yacef, K. (2009). The state of educational data mining in 2009: A review and future visions. *Journal of Educational Data Mining*, 1(1), 3–17. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3554659>
- Bienkowski, M., Feng, M., & Means, B. (2012). Enhancing teaching and learning through educational data mining and learning analytics: An issue brief. U.S. Department of Education. <https://tech.ed.gov/files/2013/10/edmla-brief.pdf>
- Casey, B. J., Jones, R. M., & Hare, T. A. (2008). The adolescent brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 111–126. <https://doi.org/10.1196/annals.1440.010>
- Corbett, A. T., & Anderson, J. R. (1995). Knowledge tracing: Modeling the acquisition of procedural knowledge. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 4(4), 253–278. <https://doi.org/10.1007/BF01099821>
- Durlak, J. A., Weissberg, R. P., Dymnicki, A. B., Taylor, R. D., & Schellinger, K. B. (2011). The impact of enhancing students' social and emotional learning: A meta-analysis of school-based universal interventions. *Child Development*, 82(1), 405–432. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01564.x>
- Eccles, J. S., & Roeser, R. W. (2011). Schools as developmental contexts during adolescence. *Journal of Research on Adolescence*, 21(1), 225–241. <https://doi.org/10.1111/j.1532-7795.2010.00725.x>
- Goel, A., & Polepeddi, L. (2016). Jill Watson: A virtual teaching assistant for online education (Technical report). Georgia Institute of Technology. <https://home.cc.gatech.edu/dil/uploads/226/JillWatson.pdf>
- Graesser, A. C., Chipman, P., Haynes, B. C., & Olney, A. (2014). AutoTutor: An intelligent tutoring system with mixed-initiative dialogue. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 4(4), 274–287. <https://doi.org/10.1109/TLT.2010.10>
- Heffernan, N. T., & Heffernan, C. L. (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(4), 470–497. <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0024-x>
- Holstein, K., Wortman Vaughan, J., Daumé III, H., Dudík, M., & Wallach, H. (2019). Improving fairness in machine learning systems: What do industry practitioners need? *Proceedings of the 2019 CHI*

- Conference on Human Factors in Computing Systems, 1–16. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300830>
- Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., & Freeman, A. (2014). NMC Horizon Report: 2014 K–12 Edition. The New Media Consortium.
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). Intelligence unleashed: An argument for AI in education. Pearson Education. <https://www.pearson.com/content/dam/corporate/global/pearson-dot-com/files/innovation/Intelligence-Unleashed-Publication.pdf>
- Narciss, S. (2004). The impact of informative tutoring feedback and self-efficacy on learning outcomes. *Learning and Instruction*, 14(1), 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2003.10.002>
- O’Neil, C. (2016). Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy. Crown.
- Roll, I., & Wylie, R. (2016). Evolution and revolution in AI in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(2), 582–599. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0106-z>
- Selwyn, N. (2019). Should robots replace teachers? AI and the future of education. Polity Press.
- Steinberg, L. (2005). Cognitive and affective development in adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(2), 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.12.005>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). Cognitive load theory. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>
- UNESCO. (2021). Recommendation on the ethics of artificial intelligence. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf00000380455>
- VanLehn, K. (2011). The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems. *Educational Psychologist*, 46(4), 197–221. <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369>
- Woolf, B. P. (2009). Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning. Morgan Kaufmann.
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64–70. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2