

¿Puede ayudar la inteligencia artificial (IA) en la educación en ciencias de la computación?

Un enfoque metaanalítico

Can artificial intelligence (AI) help in computer science education? A meta-analysis approach

Ahmed TLILI. Profesor Titular. Smart Learning Institute de la Beijing Normal University, China
(ahmedtlili@ieee.org).

Resumen:

Varios estudios han investigado el efecto de la inteligencia artificial (IA) en los logros de aprendizaje de los alumnos en educación. Sin embargo, hay un volumen limitado de investigación enfocada en la educación en ciencias informáticas o de la computación (CC), un área que se considera crucial con independencia de la profesión futura. En consecuencia, existe poca información sobre cómo la IA podría influir en los logros de aprendizaje de los alumnos en la educación en CC. A fin de llenar este vacío en la literatura, este estudio realiza una revisión sistemática y un metaanálisis para investigar cómo la integración de la IA afecta a los logros de aprendizaje en la educación en CC y las posibles variables moderadoras de este efecto. En concreto, se incluyeron y metaanalizaron 28 estudios ($n = 2765$ participantes en total) y

el tamaño del efecto obtenido fue muy grande ($g = 1.36$, $p < 0.001$). En particular, se ha hallado que los sistemas de tutoría inteligente (STI) presentan el mayor efecto ($g = 1.45$, un efecto enorme) como tecnología de IA. Adicionalmente, se ha encontrado que la duración de la intervención de la IA y la distribución geográfica de los alumnos moderan el efecto de la IA en la educación en CC. Los hallazgos de este estudio pueden servir como referencia para las diversas partes interesadas (por ejemplo, educadores, científicos computacionales y diseñadores formativos) sobre cómo integrar la IA y mejorar las experiencias y los resultados de aprendizaje en la educación en CC.

Palabras clave: ciencias informáticas, computación, inteligencia artificial, educación, aprendizaje, inteligencia colaborativa, metaanálisis, logros de aprendizaje.

Fecha de recepción del original: 30-06-2024.

Fecha de aprobación: 06-08-2024.

Cómo citar este artículo: Tlili, A. (2024). ¿Puede ayudar la inteligencia artificial (IA) en la educación en ciencias de la computación? Un enfoque metaanalítico [Can artificial intelligence (AI) help in computer science education? A meta-analysis approach]. *Revista Española de Pedagogía*, 82 (289), 469-490. <https://doi.org/10.22550/2174-0909.4172>

Abstract:

Several studies have investigated the effect of Artificial Intelligence (AI) on students' learning achievement in education. However, limited research targeted Computer Science (CS) education, which is considered crucial regardless of the future profession. Consequently, scant information exists on how AI might impact students' learning achievement in CS education. To address this research gap, this study conducts a systematic review and a meta-analysis to investigate how AI integration affects learning achievement in CS education and the potential moderating variables of this effect. Specifically, 28 studies ($n = 2765$ participants in total) were included and meta-analyzed, and the obtained

effect size was very large ($g = 1.36, p < .001$). Particularly, intelligent tutoring systems (ITSs) were found to have the highest effect ($g = 1.45$; huge) as an AI technology. Additionally, the AI integration duration and the geographical distribution of students are found to moderate the AI effect in CS education. The findings of this study can serve as a reference for various stakeholders (e. g., educators, computer scientists, instructional designers) on how to integrate AI and improve learning experiences and outcomes in CS education.

Keywords: computer science, computing, artificial intelligence, education, learning, collaborative intelligence, meta-analysis, learning achievement.

1. Introducción**1.1. La inteligencia artificial en la educación en ciencias de la computación**

La mayor necesidad de formar alumnos en ciencias informáticas o de la computación (CC) ha sido destacada por el expresidente estadounidense Obama, que inició la campaña «CSforAll» para proporcionar educación en CC a todos los niños durante los 12 primeros cursos (K-12) en los Estados Unidos (Smith, 2016). Posteriormente, se han lanzado varias iniciativas para enseñar CC o una tecnología particular, como la inteligencia artificial (IA), a todos los alumnos. Por ejemplo, la Asociación de Profesores de Ciencias de la Computación (CSTA) y la Asociación para el Avance de la Inteligencia Artificial (AAAI) anunciaron, en 2018, el establecimiento de directrices nacionales

para la enseñanza de IA a alumnos de K-12. Estas directrices giran en torno a «cinco grandes ideas» en IA: percepción, representación y razonamiento, aprendizaje, interacción natural, impacto social (AAAI, 2018; Touretzky *et al.*, 2023). El conocimiento de CC y el uso de la tecnología se están convirtiendo en competencias esenciales para la vida cotidiana y para cualquier profesión futura.

Sin embargo, el aprendizaje de las materias de CC puede resultar difícil y requerir más tareas cognitivas que otras materias (Tlili *et al.*, 2015). Silva *et al.* (2019) también destacaron los retos de la enseñanza de CC al analizar las diferentes disciplinas en esta área. En particular, las dificultades a las que se enfrentan los alumnos al aprender algoritmos y estructuras de datos representan una preocupación

importante para educadores de todo el mundo (Silva *et al.*, 2019). En la misma línea, Waraich (2004) señaló que los alumnos consideran que algunos temas de las ciencias de la computación, como la aritmética binaria y las puertas lógicas, son «áridos» y «no muy interesantes».

Por otra parte, también se ha examinado el papel de la IA como herramienta de apoyo a la educación al ofrecer contenido de aprendizaje personalizado, recomendaciones y predicciones (Onesi-Ozigagun *et al.*, 2024). Esto ha llevado a los investigadores a integrar la IA como una tecnología para facilitar la educación en CC. Por ejemplo, el Instituto de Tecnología de Georgia integró instrucciones basadas en IA para enseñar IA a sus alumnos de máster en línea como parte de un programa de ciencias de la computación (Goel y Joyner, 2017). Zhang *et al.* (2021) desarrollaron un libro electrónico interactivo basado en IA para enseñar esta tecnología a alumnos de K-12. Sus hallazgos revelaron que los alumnos tienen un mayor nivel de aceptación de este libro electrónico para el aprendizaje. Gerdes *et al.* (2017) desarrollaron un tutor de programación adaptable para aprender el lenguaje de programación Haskell.

1.2. Vacío en la investigación y objetivos del estudio

A pesar de la mayor adopción de la IA en la educación en general y en las CC en particular, sus efectos en los logros de aprendizaje de los alumnos aún son objeto de debate (Kim y Lee, 2023). En la literatura, se han llevado a cabo varios estudios metaanalíticos para investigar dichos efectos (Lin *et al.*, 2022; Zheng *et al.*, 2023). No obstante, estos metaanálisis se centraron en la edu-

cación en general. Así, existe poca información sobre los efectos de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos en la educación en CC. En este contexto, varios estudios han realizado una revisión sistemática del uso de sistemas de tutoría inteligente (STI) en la educación en CC (Crow *et al.*, 2018; Francisco y de Oliveira Silva, 2022). Sin embargo, solo efectuaron un análisis cualitativo y no discutieron los logros de aprendizaje. Por tanto, el impacto de la IA sobre estos sigue siendo desconocido.

Un estudio de Nesbit *et al.* (2014) realizó un metaanálisis del uso de STI en la educación en CC en el que analizó 22 artículos publicados entre 1998 y 2013. El tamaño del efecto general fue moderado ($g = 0.46$). Aunque este estudio (Nesbit *et al.*, 2014) se considera una de las primeras tentativas de discutir el presente tema de investigación, sus resultados no pueden generalizarse por dos motivos. En primer lugar, se centró únicamente en un tipo de tecnología de IA (STI) en lugar de cubrir todas las posibles. Por tanto, los resultados obtenidos no reflejan el efecto de la IA en general. En segundo término, los artículos incluidos son anteriores a 2013 (con un único estudio de 2013), por lo que los hallazgos pueden considerarse obsoletos debido a la rápida evolución de la tecnología en general y de la IA en particular, en la que se han producido nuevos avances como la IA generativa (Tlili *et al.*, 2023), entre otros.

Hasta donde alcanza nuestro conocimiento, no hay ningún estudio que haya realizado un análisis para investigar los efectos de la IA en los logros de aprendizaje en la educación en CC. Por tanto, sigue

abierta la cuestión de si la IA, como tecnología de las ciencias de la computación, puede ayudar en la educación en CC. Aunque no hay una definición común aceptada de ciencias de la computación, este estudio considera las CC como el estudio de las computadoras y de los fenómenos conectados con la computación; en particular, algoritmos, programas y programación (Shaw, 1985). Para abordar el vacío de investigación destacado, este estudio responde a las siguientes preguntas de investigación:

P1. ¿Cuál es el efecto de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos en la educación en ciencias de la computación?

P2. ¿Qué variables moderan el efecto de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos en la educación en ciencias de la computación?

2. Metodología

Para realizar este metaanálisis, se han seguido las directrices sobre los elementos de información preferidos para revisiones sistemáticas y metaanálisis (PRISMA) (Page *et al.*, 2021).

2.1. Selección de los datos

Se realizó una búsqueda en las siguientes bases de datos electrónicas: IEEE Xplore, Science Direct, Scopus, Taylor & Francis y Web of Science, escogidas por su popularidad en el campo de la tecnología educativa. El marco temporal de la búsqueda se estableció a partir de 2011 porque (1) se consideró que es el año en el que las aplicaciones de IA se volvieron más maduras (Wang *et al.*, 2023) y, (2) desde

entonces, la investigación sobre el uso de las tecnologías de IA en la educación en CC ha empezado a aumentar de forma significativa (Nesbit *et al.*, 2015). Las palabras clave para la búsqueda se derivaron de varias revisiones de la IA en educación en la literatura (por ejemplo, Nesbit *et al.*, 2015; Zawacki-Richter *et al.*, 2019; Zheng *et al.*, 2023) y son las siguientes: ((subcadena de inteligencia artificial) Y (subcadena de ciencias de la computación)), donde:

- Subcadena de inteligencia artificial: «artificial intelligence OR AI OR machine intelligence OR machine learning OR natural language processing OR deep learning OR robotic» [inteligencia artificial O IA O inteligencia de máquinas O aprendizaje de máquinas/automático O procesamiento del lenguaje natural O aprendizaje profundo O robótica].
- Subcadena de ciencias de la computación: «computer science OR technology OR computer literacy OR information and communication technology OR ICT» [ciencias de la computación O tecnología O conocimientos informáticos O tecnología de la información y la comunicación O TIC].

Se consideraron todos los tipos de publicaciones (actas de conferencias, artículos de revistas, etc.), ya que los artículos para conferencias son el formato más común para los investigadores en ciencias de la computación e ingeniería de *software*, en contraste con el campo de la educación, donde la publicación en revistas es más común (Nesbit *et al.*, 2015).

La búsqueda final se realizó el 1 de enero de 2024 y el proceso completo dio como resultado 548 estudios potenciales. Tras eliminar duplicados, se identificaron 205 estudios potenciales y se confrontaron con los criterios de inclusión/exclusión. El estudio se incluía si (1) era en inglés, (2) era investigación empírica, (3) utilizaba IA para la educación en CC, (4) no era una investigación cualitativa o una revisión, (5) proporcionaba suficiente información (por ejemplo, media, mediana y desviación estándar) para calcular el tamaño del efecto e (6) incluía una condición de control. Finalmente, se consideraron 28 estudios (2765 participantes en total) para este metaanálisis.

2.2. Metaanálisis

Se utilizó el *software* Comprehensive Meta-Analysis V.4 (Borenstein, 2022) para realizar el presente metaanálisis. Además, se empleó la *g* de Hedges para calcular los tamaños del efecto (Hedges, 1981). El motivo para utilizar el tamaño del efecto de la *g* de Hedges en lugar del de la *d* de Cohen fue que la diferencia en el tamaño de la muestra entre los estudios puede producir un sesgo en el tamaño del efecto estimado. Este sesgo afecta a estudios con un tamaño de muestra inferior a 20, en cuyo caso la *g* de Hedges presenta estimaciones más fiables que la *d* de Cohen (Hedges y Olkin, 1985). La Tabla 1 presenta los 28 estudios incluidos en el presente metaanálisis.

Se utilizaron tres métodos para evaluar el sesgo de publicación. En primer lugar, el método de recorte y llenado, con la intención de identificar el sesgo de publicación mediante un gráfico de embudo en el que los estudios se representan con puntos. Si los puntos se distribuyen a ambos lados de una

línea vertical, que representa el tamaño del efecto promedio, se asume que no hay sesgo de publicación (Borenstein *et al.*, 2010). En segundo lugar, el número de seguridad de Rosenthal (1979) trata de determinar la cantidad de estudios con resultados no significativos de datos no publicados necesarios para anular el tamaño del efecto medio. Un número de seguridad mayor que $5k + 10$ (donde *k* es el número original de estudios incluidos en el metaanálisis) es robusto. Significa que es probable que el tamaño del efecto de los estudios no publicados no afecte al tamaño del efecto promedio del metaanálisis. No obstante, este método asume que el tamaño del efecto medio en los estudios faltantes es cero (Borenstein *et al.*, 2021). El tercer método fue la prueba de regresión de Egger, donde una intersección significativa sugiere un sesgo de publicación (Lin *et al.*, 2018).

2.3. Esquema de codificación

Para minimizar el potencial de sesgo, se diseñó un formulario de extracción de datos electrónicos en línea (Kitchenham y Charters, 2007). Este formulario contiene la siguiente información, que podía ayudar a responder las preguntas de investigación mencionadas: (1) tecnología de IA: se refiere al tipo de tecnología de IA utilizada durante el proceso de aprendizaje; (2) campo educativo: se refiere al ámbito educativo en el que se utilizó la IA; (3) nivel educativo: se refiere al nivel educativo en el que se utilizó la IA; (4) modo de aprendizaje: se refiere a dónde y cómo se produjo el proceso de aprendizaje; (5) duración de la intervención: se refiere al intervalo de tiempo durante el que se utilizó la IA en educación; y (6) distribución geográfica: se refiere a la distribución geográfica de los alumnos que participaron en el proceso de aprendizaje.

TABLA 1. Estadísticas descriptivas e inferenciales de los 28 estudios incluidos.

N.º	Autor(es) y año	Tipo de IA	Nivel educativo	Modo de aprendizaje	Duración de la intervención	Distribución geográfica	g de Hedges	Err. est.	Muestra		Total
									Número del experimento	Número del control	
1	Hayashi (2019)	STI	Primaria	En línea	Un mes	Asia	1.335	0.362	18	18	36
2	Cuong <i>et al.</i> (2018)	STI	Educación superior	En línea	Un semestre	Asia	1.297	0.255	37	36	73
3	Yin <i>et al.</i> (2021)	Chatbot	Educación superior	En línea	Un semestre	Asia	0.000	0.200	51	48	99
4	Perikoset (2017)	STI	Educación superior	En línea	Un mes	Europa	3.381	0.207	113	113	226
5	Tegos y Demetriadis (2017)	Chatbot	Educación superior	En línea	Un semestre	Europa	0.859	0.244	38	34	72
6	Tegos <i>et al.</i> (2015)	Chatbot	Educación superior	En línea	Una semana	Europa	0.903	0.315	21	22	43
7	Tegos <i>et al.</i> (2016)	Chatbot	Educación superior	En línea	Una semana	Europa	0.594	0.252	32	32	64
8	Fidan y Gencil (2022)	Chatbot	Educación superior	En línea	Un mes	Europa	9.320	0.711	54	40	94
9	Abbasi <i>et al.</i> (2019)	Chatbot	Educación superior	En línea	Un semestre	Asia	1.214	0.206	55	55	110
10	Abbasi y Kazi (2014)	Chatbot	Educación superior	En línea	Un semestre	Asia	1.852	0.280	36	36	72
11	Grivokostopoulou <i>et al.</i> (2017)	STI	Educación superior	En línea	Un mes	Europa	1.929	0.140	150	150	300
12	Essel <i>et al.</i> (2022)	Chatbot	Educación superior	En línea	Un semestre	África	5.592	0.536	34	34	68
13	Lin y Chen (2020)	Personalizada	Educación superior	Mixto	Un mes	Asia	1.337	0.223	48	49	97

N.º	Autor(es) y año	Tipo de IA	Nivel educativo	Modo de aprendizaje	Duración de la intervención	Distribución geográfica	g de Hedges	Err. est.	Muestra		
									Número del experimento	Número del control	Total
14	Stamper et al. (2013)	STI	Educación superior	En línea	Un semestre	Norteamérica	0.086	0.140	105	98	203
15	Ma et al. (2020)	STI	Secundaria	En línea	Un mes	Asia	4.777	0.455	38	36	74
16	Su (2020)	STI	Educación superior	En línea	Un mes	Asia	0.598	0.226	40	40	80
17	Chang et al. (2016)	STI	Educación superior	Mixto	Un semestre	Asia	0.552	0.188	58	58	116
18	Lai et al. (2021)	Personalizada	Educación superior	En línea	Un semestre	Asia	1.726	0.254	43	41	84
19	Eryilmaz y Adabashi (2020)	STI	Educación superior	En línea	Un semestre	Europa	0.342	0.183	60	60	120
20	Arsovic y Stefanovic (2020)	Personalizada	Educación superior	En línea	Un semestre	Europa	0.628	0.161	81	79	160
21	Winkler et al. (2020)	Chatbot	Educación superior	En línea	Un semestre	Europa	0.682	0.240	37	35	72
22	Song y Kim (2021)	Chatbot	Educación superior	En línea	Un semestre	Norteamérica	0.553	0.269	27	29	56
23	Kumar (2021)	Chatbot	Educación superior	En línea	Un semestre	Asia	0.243	0.256	30	30	60
24	Farah et al. (2022)	Chatbot	Educación superior	En línea	Un mes	Europa	0.205	0.432	11	9	20
25	Al-Abdullatif et al. (2023)	Chatbot	Educación superior	Mixto	Un semestre	Asia	0.338	0.257	30	30	60
26	Ortega-Ochoa et al. (2024)	Chatbot	Educación superior	En línea	Un semestre	Europa	0.243	0.143	101	95	196
27	Sun et al. (2024)	Chatbot	Educación superior	En línea	Un semestre	Asia	0.306	0.220	43	39	82
28	Ahn y Oh (2024)	STI	Educación superior	Mixto	Un semestre	Asia	0.459	0.314	20	20	40

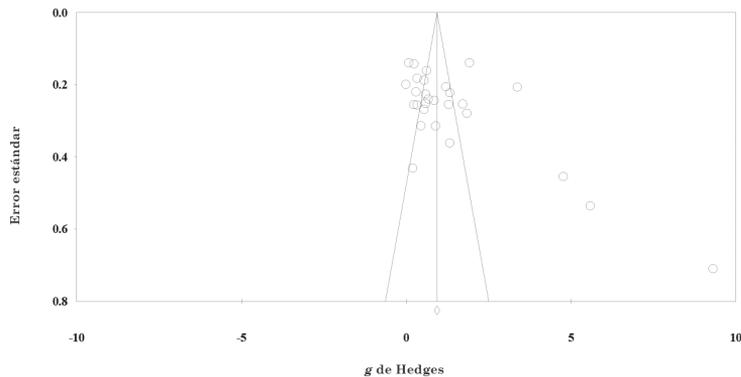
3. Resultados

3.1. Evaluación del sesgo de publicación

La Figura 1 muestra que los puntos en este estudio están distribuidos de forma casi simétrica alrededor de la línea vertical. Aunque algunos puntos quedan fuera del triángulo del

gráfico de embudo, se encuentran en la parte superior de la Figura 1 y no en la inferior. Borenstein *et al.* (2010) afirmaron que un gráfico de embudo simétrico implica que no hay sesgo de publicación. Por tanto, se concluye que la fiabilidad metaanalítica de este estudio no se ve afectada por el sesgo de publicación.

FIGURA 1. Gráfico de embudo del error estándar mediante la g de Hedges.



3.2. Efecto de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos en la educación en CC

La Figura 2 presenta el gráfico de bosque de la variación el tamaño del efecto en los 28 artículos incluidos. El cuadrado negro representa el tamaño del efecto ponderado de cada artículo y un mayor tamaño del cuadrado implica un mayor tamaño del efecto. La flecha bajo cada cuadrado (tamaño del efecto) representa el intervalo de confianza del tamaño del efecto asociado. El tamaño del efecto medio global ($g = 1.364$) se presenta en la última fila del gráfico de bosque. En conjunto, la mayoría de los artículos tuvieron un tamaño del efecto positivo con diferentes intervalos de confianza (IC).

La Tabla 2 muestra que el metaanálisis produjo un tamaño del efecto global de $g = 1.36$, $p < 0.001$, lo que indica que la IA

tuvo un efecto muy grande en los logros de aprendizaje de los alumnos en la educación en CC. En particular, se ve que todas las tecnologías de IA tuvieron un efecto positivo significativo, con cierta variación en el tamaño del efecto; los chatbots ($g = 1.35$, 95 % IC = 0.77 a 1.94) y los sistemas de aprendizaje personalizado ($g = 1.21$, 95 % IC = 0.54 a 1.87) tuvieron un efecto muy grande en los logros de aprendizaje de los alumnos, mientras que los STI ($g = 1.45$, 95 % IC = 0.68 a 2.21) tuvieron un efecto enorme.

El índice estadístico I^2 mostró que el 95.77 % de la varianza se derivó de factores entre estudios, lo que implica que otras variables podrían moderar el tamaño del efecto de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos. Por tanto, es esencial realizar análisis adicionales e investigar las posibles variables moderadoras.

FIGURA 2. Gráfico de bosque de las estimaciones de la *g* de Hedges e intervalos de confianza.

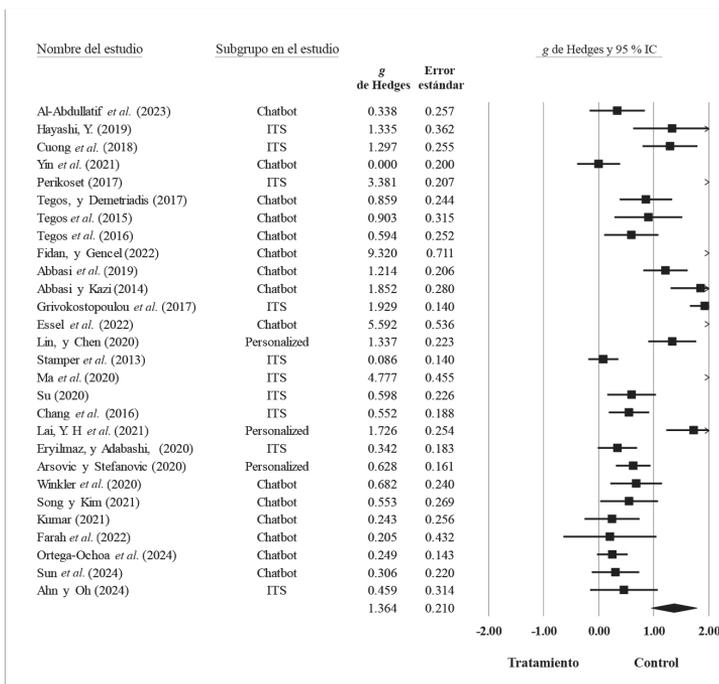


TABLA 2. Efecto de la IA en los logros de aprendizaje en la educación en ciencias de la computación.

Análisis	<i>n</i>	<i>g</i>	95 % IC	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>I</i> ²	τ^2	Interpretación del tamaño del efecto
Global	28	1.36	[0.95, 1.78]	6.50	0.001***	95.77	1.15	Muy grande
Chatbot	15	1.35	[0.77, 1.94]	4.54	0.001***	95.12	1.23	Muy grande
STI	10	1.45	[0.68, 2.21]	3.71	0.001***	97.09	1.45	Enorme
Sistemas personalizados	3	1.21	[0.54, 1.87]	3.56	0.001***	87.18	0.30	Muy grande

Nota: *n* = número de estudios; *g* = tamaño del efecto de la *g* de Hedges; IC = intervalo de confianza; *Z* = valor *Z* para la *g* de Hedges; *p* = valores *p* de la *g* de Hedges; *I*² y τ^2 son medidas de la variabilidad del tamaño del efecto; ****p* < 0.001.

3.3. Variables moderadoras del efecto de la IA en la educación en CC

A fin de investigar las variables moderadoras del efecto de la IA, esta sección comienza por examinar, en primer lugar, cómo el efecto de la IA varía entre las diversas variables, incluyendo el nivel educativo (véase

la Tabla 3), el modo de aprendizaje (véase la Tabla 4), la duración de la intervención de la IA (véase la Tabla 5) y la distribución geográfica de los alumnos (véase la Tabla 6). A continuación, se aplica un modelo de meta-regresión en el que se tienen en cuenta todas las variables mencionadas (véase la

Tabla 7) para identificar aquellas moderadoras del efecto de la IA en la educación en CC.

La Tabla 3 presenta el efecto de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos en los diversos niveles educativos. Se aprecia que la IA se utilizó mayoritariamente en educación superior ($n = 26$) para la enseñanza de asignaturas de ciencias de la computación. El efecto fue muy grande ($g = 1.24$). Por otra parte, un estudio para cada nivel educativo (en concreto, para educación primaria y secundaria) halló que el efecto fue, respectivamente, muy grande ($g = 1.35$) y enorme ($g = 4.77$).

Se analizó el efecto de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos en distintos

modos de aprendizaje (véase la Tabla 4). Resulta evidente que la IA tuvo un efecto positivo significativo en los logros de aprendizaje en todos los modos de aprendizaje. En concreto, la aplicación de la IA en el aprendizaje mixto tuvo un efecto mediano ($g = 0.69$), mientras que el efecto fue muy grande en el aprendizaje en línea ($g = 1.49$).

Se analizó el efecto de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos con distintas duraciones de la intervención (véase la Tabla 5). Se aprecia que la IA, con independencia de la duración de la intervención, tuvo un efecto positivo significativo en los logros de aprendizaje en la educación en CC. En concreto, el efecto de la IA fue enorme

TABLA 3. El efecto de la IA en los logros de aprendizaje en los diversos niveles educativos.

Nivel educativo	n	g	95 % IC	Z	p	I^2	τ^2	Interpretación del tamaño del efecto
Ed. prim.	1	1.35	[0.63, 2.04]	3.69	0.001***	0	0	Muy grande
Ed. secundaria	1	4.77	[3.89, 5.67]	10.50	0.001***	0	0	Enorme
Ed. sup.	26	1.24	[0.83, 1.65]	5.98	0.001***	95.58	1.04	Muy grande

Nota: n = número de estudios; g = tamaño del efecto de la g de Hedges; IC = intervalo de confianza; Z = valor Z para la g de Hedges; p = valores p de la g de Hedges; I^2 y τ^2 son medidas de la variabilidad del tamaño del efecto; *** $p < 0.001$; * $p < .05$.

TABLA 4. Efecto de la IA en los logros de aprendizaje en distintos modos de aprendizaje.

Modo de aprendizaje	n	g	95 % IC	Z	p	I^2	τ^2	Interpretación del tamaño del efecto
Mixto	4	0.69	[0.23, 1.14]	2.94	0.003**	75.53	0.16	Mediano
En línea	24	1.49	[1.02, 1.97]	6.91	0.001***	96.31	1.31	Enorme

Nota: n = número de estudios; g = tamaño del efecto de la g de Hedges; IC = intervalo de confianza; Z = valor Z para la g de Hedges; p = valores p de la g de Hedges; I^2 y τ^2 son medidas de la variabilidad del tamaño del efecto; *** $p < 0.001$.

TABLA 5. Efecto de la IA en los logros de aprendizaje con distintas duraciones de la intervención.

Duración	<i>n</i>	<i>g</i>	95 % IC	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>I</i> ²	τ^2	Interpretación del tamaño del efecto
Duración < 1 semana	2	0.72	[0.33, 1.10]	3.63	0.001***	0	0	Grande
1 semana ≤ duración < 1 mes	8	2.74	[1.63, 3.84]	4.86	0.001***	97.27	2.40	Enorme
1 mes ≤ duración < 1 semestre	18	0.85	[0.52, 1.17]	5.10	0.001***	90.53	0.44	Grande

Nota: *n* = número de estudios; *g* = tamaño del efecto de la *g* de Hedges; IC = intervalo de confianza; *Z* = valor *Z* para la *g* de Hedges; *p* = valores *p* de la *g* de Hedges; *I*² y τ^2 son medidas de la variabilidad del tamaño del efecto; ****p* < 0.001; **p* < .05.

(*g* = 2.74) cuando se utilizó entre una semana y un mes. No obstante, este efecto disminuyó (hasta ser simplemente grande) cuando la IA se utilizó durante un tiempo mayor o menor que ese período.

Se analizó el efecto de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos en función de su distribución geográfica (véase la Tabla 6). Se aprecia que la IA tuvo un efecto positivo significativo en todos los continentes. En concreto, la IA tuvo un efecto enorme en los logros de aprendizaje de los alumnos en África (*g* = 5.59), mientras que

el efecto fue muy grande en Asia (*g* = 1.10) y en Europa (*g* = 1.59). Por último, el efecto fue pequeño en Norteamérica (*g* = 0.26).

Para investigar la posible covariancia entre las variables analizadas con anterioridad, se realizó una metarregresión que incluye todos los moderadores. Los resultados obtenidos revelaron que el efecto de la IA en los logros de aprendizaje en la educación en CC varía de forma significativa según la duración de la intervención de la IA (*Q* = 6.72, *df* = 2, *p* = 0.03) y la distribución geográfica de los alumnos (*Q* = 14.47, *df* = 3, *p* = 0.001).

TABLA 6. Efecto de la IA en los logros de aprendizaje en función de la distribución geográfica.

Continente	<i>n</i>	<i>g</i>	95 % IC	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>I</i> ²	τ^2	Interpretación del tamaño del efecto
África	1	5.59	[4.54, 6.64]	10.43	0.001***	0	0	Enorme
Asia	14	1.10	[0.65, 1.54]	4.84	0.001***	91.38	0.64	Muy grande
Europa	11	1.59	[0.83, 2.36]	4.08	0.001***	97.26	1.58	Muy grande
Norteamérica	2	0.26	[-0.18, 0.71]	1.16	0.254	57.77	0.06	Pequeño

Nota: *n* = número de estudios; *g* = tamaño del efecto de la *g* de Hedges; IC = intervalo de confianza; *Z* = valor *Z* para la *g* de Hedges; *p* = valores *p* de la *g* de Hedges; *I*² y τ^2 son medidas de la variabilidad del tamaño del efecto; ****p* < 0.001; **p* < .05.

TABLA 7. Resultados de la metarregresión para los logros de aprendizaje considerando el nivel educativo, la duración, la distribución geográfica y el modo de aprendizaje.

Modelo	Coefficiente	Error estándar	95 % inferior	95 % superior	Valor Z	Valor p de 2 lados
Intersección	0.94	0.51	-0.07	1.94	1.83	0.07
Nivel educativo	1 = ed. prim.	1.41	-3.89	1.65	-0.79	0.43
	2 = ed. secundaria	1.56	-0.14	5.99	1.87	0.06
Duración	1 = Duración > 1 semana	1.00	-2.40	1.51	-0.45	0.66
	2 = 1 semana ≤ duración < 1 mes	1.52	0.22	2.81	2.30	0.02*
Distribución geográfica	1 = África	1.42	2.48	8.04	3.71	0.001***
	2 = Europa	0.25	-0.97	1.48	0.41	0.68
	3 = Norteamérica	-0.62	-2.56	1.32	-0.63	0.53
Modo de aprendizaje	1 = Mixto	0.75	-1.82	1.12	-0.47	0.64
						NA

Nota: *** $p < .001$, * $p < .05$.

$Q^* = 4.92$,
 $df = 2$,
 $p = 0.09$

$Q^* = 6.72$,
 $df = 2$,
 $p = 0.03^*$

$Q^* = 14.47$,
 $df = 3$,
 $p = 0.001^{***}$

4. Discusión

4.1. Efecto de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos en la educación en CC

El presente estudio reveló que la IA tuvo un efecto muy grande en los logros de aprendizaje cuando se utilizó en la educación en ciencias de la computación en comparación con la educación en general, donde varios estudios en la literatura encontraron que el efecto fue moderado (García-Martínez *et al.*, 2023; Hwang, 2022; Wu y Yu, 2023). Esto podría deberse a que la IA proporciona herramientas y soluciones innovadoras que se adaptan a las distintas necesidades y competencias avanzadas en las ciencias de la computación (Barnes *et al.*, 2017). La IA también se implementa sobre la base de una comprensión profunda de la pedagogía de las ciencias de la computación (Barnes *et al.*, 2017), por lo que contribuye mejor a los logros de aprendizaje en la educación en CC en comparación con otras disciplinas/campos educativos. Además, para hacer pleno uso de la tecnología en educación, se requieren ciertas competencias y un buen bagaje que permitan su comprensión y utilización. Este requisito podrían satisfacerlo los profesores de CC, pues se considera que tienen un buen conocimiento y experiencia en IA (o en tecnología en general) en comparación con otros profesores de otros campos educativos (por ejemplo, de idiomas, ciencias, etc.). En particular, los STI, como tecnología de IA, obtuvieron los mayores logros (un efecto enorme) en comparación con otras tecnologías de IA, como los chatbots y los sistemas de aprendizaje personalizado. Esto podría deberse a que los STI proporcionan instrucciones e interaccionan con los alumnos con

un nivel más fino de granularidad, lo que permite adecuar el aprendizaje a las distintas necesidades de los alumnos y a sus diferencias individuales (Lin *et al.*, 2023).

4.2. Variables moderadoras del efecto de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos en la educación en CC

Este estudio reveló que el nivel educativo no modera el efecto de la IA en la educación en CC. Aunque no se centró, durante el proceso de búsqueda, en un nivel educativo específico o en las ciencias de la computación como plan de estudios (sino más bien como materias educativas incluidas en las CC), los resultados obtenidos revelaron que la IA se utiliza de forma mayoritaria en educación superior al enseñar CC. Esto podría deberse a que las materias de ciencias de la computación se enseñan principalmente en educación superior, a pesar de varias tentativas para enseñar algunas materias, como programación o IA, en niveles educativos anteriores (por ejemplo, en educación primaria o K-12). También podría deberse a que los alumnos en educación superior poseen las competencias necesarias para utilizar y trabajar con IA en comparación con los alumnos en niveles educativos anteriores. En particular, el efecto de la IA en los alumnos de educación superior fue muy grande en la educación en CC. Esto podría deberse a que la integración de la IA en educación superior permite adaptar fácilmente la enseñanza a las diversas necesidades y perfiles de los alumnos (Verdú *et al.*, 2017), proporcionar *feedback* individual y personalizado, mejorar las evaluaciones (Dever *et al.*, 2020) y predecir los logros de aprendizaje (Çağataylı y Çelebi, 2022).

Los resultados indicaron que la IA tuvo un mayor efecto (un efecto enorme) cuando

se utilizó para enseñar CC en entornos en línea que cuando se empleó en entornos mixtos (un efecto mediano). Esto podría explicarse por el hecho de que la implementación de la inteligencia colaborativa (es decir, combinar inteligencia humana e inteligencia artificial) será más sencilla en entornos de aprendizaje en línea, ya que las instrucciones basadas en inteligencia humana y en inteligencia artificial pueden diseñarse, automatizarse y combinarse de manera eficaz en modelos de aprendizaje en línea mediante el apoyo de técnicas y algoritmos de IA, así como mediante la recogida y el análisis de datos de la interacción (*big data*) de profesores y alumnos (es decir, análisis del aprendizaje). Otra razón podría ser que la educación en CC requiere la transferencia de pensamiento computacional, matemático y algorítmico (Pirker *et al.*, 2014), que se transfieren mejor mediante instrucciones en línea que usando instrucciones tradicionales en el aula. Aunque el modo de aprendizaje no moderó el efecto de la IA en la educación en CC, los resultados obtenidos revisten importancia para los desarrolladores educativos y los diseñadores formativos, y ofrecen información valiosa sobre la integración potencial de la IA en la educación y los programas futuros de CC.

Los resultados revelaron que la IA tuvo un efecto enorme en los logros de aprendizaje cuando la duración de la intervención fue de entre una semana y un mes. No obstante, este efecto disminuyó cuando la IA se utilizó durante un período menor o mayor que esta duración (entre una semana y un mes). Esto podría deberse a que esta duración se considera suficiente a fin de fomentar la familiarización de los alumnos y estimular la motivación para una interacción y un rendimiento

adecuados (Merilampi *et al.*, 2014), mientras que una duración menor podría ser insuficiente para producir los resultados positivos deseados (Sung *et al.*, 2016). Además, se aprecia que, cuanto mayor es la duración de la intervención de la IA, menor es el efecto en los logros de aprendizaje. Esto puede explicarse, como han destacado varios metodólogos, por el hecho de que las intervenciones con una mayor duración podrían provocar una menor fidelidad de la implementación, lo que causaría un desplazamiento de los objetivos iniciales del experimento y alcanzaría efectos más reducidos (Mihalic, 2004; Wang *et al.*, 2023). La disminución del efecto de la IA en períodos más largos también podría deberse al efecto de novedad (Pisapia *et al.*, 1993), según el cual los alumnos pierden interés por una tecnología determinada a medida que pasa el tiempo. Se encontró que la duración de la intervención modera de forma significativa el efecto de la IA en la educación en CC. Esto revela la necesidad de una reflexión sistemática sobre el tiempo durante el que se utilizará la IA y cómo puede alcanzar los objetivos educativos deseados con una duración específica.

Los resultados indicaron que el efecto de la IA en los logros de aprendizaje en la educación en ciencias de la computación varía en función de la distribución geográfica de los alumnos y también modera el efecto de la IA en la educación en CC. Esto se debe a que la educación en CC posee unas particularidades geográficas que deberían tenerse en cuenta (Francisco y De Oliveira, 2022). En particular, los resultados revelaron que la IA tuvo un efecto enorme en los logros de aprendizaje de los alumnos en África. No obstante, este resultado no puede generalizarse, ya que solo se obtuvo un estudio

en esa subcategoría (Tabla 6). Por otra parte, el efecto de la IA en los logros de aprendizaje fue muy grande en Europa y en Asia. Este gran efecto podría atribuirse a los esfuerzos prolongados y continuos de la Comisión Europea para desarrollar conocimientos básicos de IA (Tangi, 2022) y promover la implementación segura y responsable de la IA (Jarota, 2023). Esto ha conducido a políticas claras, experiencias ricas y sistemas educativos organizados que incorporan la IA, con lo que producen mejores resultados de aprendizaje. De forma similar, varios países asiáticos están incorporando actualmente la IA en sus programas de enseñanza y aprendizaje. Esto podría haber promovido una mejora en los resultados de aprendizaje. En este contexto, Nye (2015) destacó que la comunidad de IA en educación está aumentando rápidamente y reconociendo la importancia de diseñar tecnologías a nivel mundial.

5. Conclusiones, implicaciones y direcciones futuras

Este estudio llevó a cabo un metaanálisis de 28 artículos para investigar el efecto de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos en la educación en CC. Los resultados revelaron que la IA tiene un efecto muy grande en los logros de aprendizaje. En particular, se ha encontrado que la duración de la intervención de la IA y la distribución geográfica de los alumnos moderan este efecto de la IA en la educación en CC.

5.1. Implicaciones

Los hallazgos de este estudio pueden contribuir a la literatura desde varias perspectivas. Desde una perspectiva teórica, contribuye al debate actual sobre el efecto

de la IA en la educación en general y en la educación en CC en particular. Destaca qué debe tenerse en cuenta (y de qué manera) al implementar la IA en la educación en CC para contribuir así al desarrollo de marcos y teorías al respecto. Además, este estudio reveló una disparidad en el efecto de la IA en la educación en CC según la distribución geográfica de los alumnos. Por tanto, deberían organizarse más mesas redondas y establecerse normativas y colaboraciones entre países para aumentar la eficacia del uso de la IA en la educación en CC en todo el mundo.

Desde una perspectiva metodológica, este estudio mostró que el efecto de la IA en los logros de aprendizaje de los alumnos en la educación en CC podría disminuir durante períodos de intervención más prolongados. Por tanto, los investigadores, los pedagogos y los metodólogos deberían reconsiderar la duración de la intervención de la IA al diseñar sus experimentos o enfoques docentes. En este contexto, Wang *et al.* (2023) destacaron que el efecto de la IA en educación podría estar modelado por varias variables de confusión o terceras variables, incluida la duración de la intervención, y que debería prestarse más atención a estas variables para medir con precisión el efecto de la IA y ofrecer resultados más generalizables.

Desde una perspectiva práctica, esta investigación reveló que la IA puede aumentar los logros de aprendizaje de los alumnos en la educación en CC. Por ello, es importante sensibilizar sobre las oportunidades de la IA en educación y fomentar su adopción y desarrollo en diversas disciplinas de CC. Además, el estudio halló que el desarrollo de una tecnología educativa adecuada basada en IA

no es una tarea sencilla, porque debe tratarse como un ecosistema, donde varias terceras variables (nivel educativo, modo de aprendizaje, duración de la intervención, ubicación geográfica, etc.) podrían influir en la eficacia general de la IA en educación. Esto subraya la necesidad de una colaboración multidisciplinar (educadores, científicos computacionales, científicos de datos, diseñadores formativos, etc.) para el desarrollo de sistemas de IA en educación en general y en educación en CC en particular. Por último, los hallazgos de este estudio pueden contribuir a lograr una «educación de calidad», que es el cuarto objetivo de desarrollo sostenible (ODS) de las Naciones Unidas hacia el que trabajan varias organizaciones y universidades.

5.2. Limitaciones y direcciones futuras

A pesar de la fiabilidad de este estudio, tiene todavía varias limitaciones que deben reconocerse y seguir investigándose. En primer lugar, sus hallazgos están limitados por las palabras clave y las bases de datos de la búsqueda. Por tanto, la investigación futura puede complementar la presente investigación al considerar más bases de datos y palabras clave de búsqueda. Además, este estudio no investigó el efecto de los roles de la IA (por ejemplo, tutor, asistente de profesor, compañero, instructor, etc.) como moderador potencial del efecto de la IA en la educación en CC. Esta información es crucial para entender cómo debería integrarse la IA en la educación en CC a fin de potenciar las experiencias y los resultados de aprendizaje. Tampoco consideró las disciplinas de CC al investigar el efecto de la IA. Por tanto, los estudios futuros pueden abordar esta faceta utilizando, por ejemplo, la clasificación de CC de la Asociación de Maquinaria Computacional (ACM).

Por último, este trabajo no profundizó en gran medida en los aspectos técnicos de las tecnologías de IA implementadas. Los estudios futuros deberían desarrollar este aspecto para investigar cómo las diferentes técnicas y algoritmos de IA podrían moderar el efecto de la IA en la educación en CC.

Contribuciones del autor

Ahmed Tlili: Escritura (borrador original); Escritura (revisión y edición); Metodología; *Software*.

Referencias bibliográficas

Las referencias con un asterisco (*) indican estudios incluidos en el análisis.

- AAAI. (2018). AAAI Launches “AI for K-12” Initiative in collaboration with the Computer Science Teachers Association (CSTA) and AI4All [La AAAI lanza la iniciativa “AI for K-12” en colaboración con la Computer Science Teachers Association (CSTA) y AI4All]. <https://m.aaai.org/Pressroom/Releases/release-18-0515.pdf>
- *Abbasi, S., y Kazi, H. (2014). Measuring effectiveness of learning chatbot systems on student’s learning outcome and memory retention [Medición de la eficacia de los sistemas de chatbot de aprendizaje en los resultados de aprendizaje y la retención de memoria de los estudiantes]. *Asian Journal of Applied Science and Engineering*, 3 (2), 251-260.
- *Abbasi, S., Kazi, H., y Hussaini, N. N. (2019). Effect of chatbot systems on student’s learning outcomes [Efecto de los sistemas de chatbot en los resultados de aprendizaje de los estudiantes]. *Sylwan*, 163 (10), 49-63.
- *Ahn, Y.-H., y Oh, E.-Y. (2024). Effects of the international training program for enhancing intelligent capabilities through blended learning on computational thinking, artificial intelligence competencies, and core competencies for the future society in graduate students [Efectos del programa internacional de formación para la mejora de las capacidades inteligentes mediante el aprendizaje combinado sobre el pensamiento computacional,

- las competencias en inteligencia artificial y las competencias básicas para la sociedad futura en estudiantes de posgrado]. *Applied Sciences*, 14 (3). <https://doi.org/10.3390/app14030991>
- *Al-Abdullatif, A. M., Al-Dokhny, A. A., y Drwish, A. M. (2023). Implementing the Bashayer chatbot in Saudi higher education: Measuring the influence on students' motivation and learning strategies [Implantación del chatbot Bashayer en la enseñanza superior saudí: medición de la influencia en la motivación y las estrategias de aprendizaje de los estudiantes]. *Frontiers in psychology*, 14, 1129070. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1129070>
- *Arsovic, B., y Stefanovic, N. (2020). E-learning based on the adaptive learning model: Case study in Serbia [E-learning basado en el modelo de aprendizaje adaptativo: estudio de un caso en Serbia]. *Sādhanā*, 45 (1), 266. <https://doi.org/10.1007/s12046-020-01499-8>
- Barnes, T., Boyer, K., Hsiao, S. I. H., Le, N. T., y Sosnovsky, S. (2017). Preface for the special issue on AI-supported education in computer science [Prefacio del número especial sobre la enseñanza de la informática con ayuda de la IA]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 27, 1-4. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0123-y>
- Borenstein, M. (2022). Comprehensive meta-analysis software [Software integral de metaanálisis]. En M. Egger, J. P. T. Higgins, y G. D. Smith (Eds.), *Systematic reviews in health research: Meta-analysis in context [Revisiones sistemáticas en la investigación sanitaria: el metaanálisis en su contexto]* (pp. 535-548). BMJ Books. <https://doi.org/10.1002/9781119099369.ch27>
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., y Rothstein, H. R. (2010). A basic introduction to fixed-effect and random-effects models for meta-analysis [Introducción básica a los modelos de efectos fijos y aleatorios para metaanálisis]. *Research synthesis methods*, 1 (2), 97-111. <https://doi.org/10.1002/jrsm.12>
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., y Rothstein, H. R. (2021). *Introduction to meta-analysis [Introducción al metaanálisis]* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Çağataylı, M., y Çelebi, E. (2022). Estimating academic success in higher education using big five personality traits, a machine learning approach [Estimación del éxito académico en la educación superior utilizando los cinco grandes rasgos de personalidad, un enfoque de aprendizaje automático]. *Arab Journal Scientific Engineering*, 47, 1289-1298. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05873-4>
- *Chang, Y. H., Chen, Y. Y., Chen, N. S., Lu, Y. T., y Fang, R. J. (2016). Yet another adaptive learning management system based on Felder and Silverman's learning styles and Mashup [Otro sistema adaptativo de gestión del aprendizaje basado en los estilos de aprendizaje de Felder y Silverman y en Mashup]. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12 (5), 1273-1285. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1512a>
- Crow, T., Luxton-Reilly, A., y Wuensche, B. (2018). Intelligent tutoring systems for programming education: A systematic review [Sistemas de tutoría inteligente para la enseñanza de la programación: una revisión sistemática]. En *Proceedings of the 20th Australasian Computing Education Conference* (pp. 53-62). Association for Computing Machinery.
- *Cuong, N. D. H., Arch-Int, N., y Arch-Int, S. (2018). FUSE: a fuzzy-semantic framework for personalizing learning recommendations [FUSE: un marco semántico difuso para personalizar las recomendaciones de aprendizaje]. *International Journal of Information Technology y Decision Making*, 17 (4), 1173-1201. <https://doi.org/10.1142/S0219622018500220>
- Dever, D. A., Azevedo, R., Cloude, E. B., y Wiedbusch, M. (2020). The impact of autonomy and types of informational text presentations in game-based environments on learning: Converging multi-channel processes data and learning outcomes [El impacto en el aprendizaje de la autonomía y los tipos de presentación de textos informativos en entornos basados en juegos: convergencia de datos de procesos multicanal y resultados del aprendizaje]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 30 (4), 581-615. <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00215-1>
- *Eryilmaz, M., y Adabashi, A. (2020). Development of an intelligent tutoring system using Bayesian networks and fuzzy logic for a higher student academic performance [Desarrollo de un sistema de tutoría inteligente mediante redes bayesianas y lógica difusa para un mayor rendimiento académico de los estudiantes]. *Applied Sciences*, 10 (19), 6638. <https://doi.org/10.3390/app10196638>
- *Essel, H. B., Vlachopoulos, D., Tachie-Menson, A., Johnson, E. E., y Baah, P. K. (2022). The impact of a virtual teaching assistant (chatbot) on students' learning in Ghanaian higher education [El impacto de un asistente virtual de enseñanza (chatbot) en el

aprendizaje de los estudiantes en la enseñanza superior ghanesa]. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19 (1), 1-19. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00362-6>

- *Farah, J. C., Spaenlehauer, B., Sharma, V., Rodríguez-Triana, M. J., Ingram, S., y Gillet, D. (2022). Impersonating chatbots in a code review exercise to teach software engineering best practices [Suplantación de chatbots en un ejercicio de revisión de código para enseñar buenas prácticas de ingeniería de software]. En *2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1634-1642). IEEE.
- *Fidan, M., y Gencel, N. (2022). Supporting the instructional videos with chatbot and peer feedback mechanisms in online learning: The effects on learning performance and intrinsic motivation [Apoyo a los videos instructivos con chatbot y mecanismos de retroalimentación entre iguales en el aprendizaje en línea: los efectos en el rendimiento del aprendizaje y la motivación intrínseca]. *Journal of Educational Computing Research*, 60 (7), 1716-1741. <https://doi.org/10.1177/07356331221077901>
- Francisco, R. E., y de Oliveira, F. (2022). Intelligent tutoring system for computer science education and the use of artificial intelligence: A literature review [Sistema de tutoría inteligente para la enseñanza de la informática y el uso de la inteligencia artificial: una revisión bibliográfica]. *CSEDU*, (1), 338-345.
- García-Martínez, I., Fernández-Batanero, J., Fernández-Cerero, J., y León, S. (2023). Analysing the impact of artificial intelligence and computational sciences on student performance: Systematic review and meta-analysis [Análisis del impacto de la inteligencia artificial y las ciencias computacionales en el rendimiento de los estudiantes: revisión sistemática y metaanálisis]. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 12 (1), 171-197. <https://doi.org/10.7821/naer.2023.1.1240>
- Gerdes, A., Heeren, B., Jeurling, J., y Van Binsbergen, L. T. (2017). Ask-Elle: An adaptable programming tutor for Haskell giving automated feedback [Ask-Elle: un tutor de programación adaptable para Haskell que proporciona retroalimentación automatizada]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 27, 65-100. <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0080-x>
- Goel, A. K., y Joyner, D. A. (2017). Using AI to teach AI: Lessons from an online AI class [Utilizar la IA para enseñar IA: lecciones de una clase de IA en línea]. *Ai Magazine*, 38 (2), 48-59. <https://doi.org/10.1609/aimag.v38i2.2732>
- *Grivokostopoulou, F., Perikos, I., y Hatzilygeroudis, I. (2017). An educational system for learning search algorithms and automatically assessing student performance [Un sistema educativo para aprender algoritmos de búsqueda y evaluar de forma automática el rendimiento de los alumnos]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 27, 207-240. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0116-x>
- *Hayashi, Y. (2019). Multiple pedagogical conversational agents to support learner-learner collaborative learning: Effects of splitting suggestion types [Múltiples agentes conversacionales pedagógicos para apoyar el aprendizaje colaborativo alumno-alumno: Efectos de dividir los tipos de sugerencias]. *Cognitive Systems Research*, 54, 246-257. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2018.04.005>
- Hedges, L. (1981). Distribution theory for glass's estimator of effect size and related estimators [Teoría de la distribución para el estimador de glass del tamaño del efecto y estimadores relacionados]. *Journal of Educational Statistics*, 6 (2), 107-128. <https://doi.org/10.3102/10769986006002107>
- Hedges, L., y Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis [Métodos estadísticos para el metaanálisis]*. Academic Press.
- Hwang, S. (2022). Examining the effects of artificial intelligence on elementary students' mathematics achievement: A meta-analysis [Examinar los efectos de la inteligencia artificial en el rendimiento en matemáticas de los alumnos de primaria: un metaanálisis]. *Sustainability*, 14 (20), 1-20. <https://doi.org/10.3390/su142013185>
- Jarota, M., (2023). Artificial intelligence in the work process. A reflection on the proposed European Union regulations on artificial intelligence from an occupational health and safety perspective [Inteligencia artificial en el proceso de trabajo. Una reflexión sobre la propuesta de normativa de la Unión Europea sobre inteligencia artificial desde la perspectiva de la salud y la seguridad en el trabajo]. *Computer Law y Security Review*, 49, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2023.105825>
- Kim, J., y Lee, SS. (2023). Are two heads better than one? The effect of student-AI collaboration on students' learning task performance [¿Dos cabezas piensan mejor que una? El efecto de la colaboración estudiante-AI en el rendimiento de los estudiantes en las tareas de aprendizaje]. *TechTrends*, 67, 365-375. <https://doi.org/10.1007/s11528-022-00788-9>
- Kitchenham, B. A., y Charters, S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering [Directrices para realizar revisiones*

- sistemáticas de la literatura en ingeniería del software]. Keele University and Durham University.
- *Kumar, J. A. (2021). Educational chatbots for project-based learning: investigating learning outcomes for a team-based design course [Chatbots educativos para el aprendizaje basado en proyectos: investigación de los resultados de aprendizaje de un curso de diseño en equipo]. *International journal of educational technology in higher education*, 18 (1), 1-28. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1580750>
- *Lai, Y. H., Chen, S. Y., Lai, C. F., Chang, Y. C., y Su, Y. S. (2021). Study on enhancing AIoT computational thinking skills by plot image-based VR [Estudio sobre la mejora de las habilidades de pensamiento computacional AIoT mediante la RV basada en imágenes de trama]. *Interactive Learning Environments*, 29 (3), 482-495. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1580750>
- *Lee, Y. F., Hwang, G. J., y Chen, P. Y. (2022). Impacts of an AI-based chatbot on college students' after-class review, academic performance, self-efficacy, learning attitude, and motivation [Repercusiones de un chatbot basado en IA en el repaso después de clase, el rendimiento académico, la autoeficacia, la actitud de aprendizaje y la motivación de los estudiantes universitarios]. *Educational technology research and development*, 70(5), 1843-1865. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10142-8>
- Lin, L., Chu, H., Murad, M. H., Hong, C., Qu, Z., Cole, S. R., y Chen, Y. (2018). Empirical comparison of publication bias tests in meta-analysis [Comparación empírica de las pruebas de sesgo de publicación en metaanálisis]. *Journal of General Internal Medicine*, 33 (8), 1260-1267. <https://doi.org/10.1007/s11606-018-4425-7>
- Lin, R., Zhang, Q., Xi, L., y Chu, J. (2022). Exploring the effectiveness and moderators of artificial intelligence in the classroom: A meta-analysis [Exploración de la eficacia y los moderadores de la inteligencia artificial en el aula: un metaanálisis]. En J. Yang, D. Liu, Kinshuk, A. Tlili, M. Chang, E. Popescu, D. Burgos, y Z. Altınay (Eds.), *Resilience and future of smart learning. Proceedings of 2022 International Conference on Smart Learning Environments*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5967-7_7
- Lin, C. C., Huang, A. Y., y Lu, O. H. (2023). Artificial intelligence in intelligent tutoring systems toward sustainable education: A systematic review [La inteligencia artificial en los sistemas de tutoría inteligente hacia una educación sostenible: una revisión sistemática]. *Smart Learning Environments*, 10 (1), 41. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00260-y>
- *Ma, Z. H., Hwang, W. Y., y Shih, T. K. (2020). Effects of a peer tutor recommender system (PTRS) with machine learning and automated assessment on vocational high school students' computer application operating skills [Efectos de un sistema de recomendación de tutores entre iguales (PTRS) con aprendizaje automático y evaluación automatizada en las habilidades operativas de aplicaciones informáticas de estudiantes de bachillerato profesional]. *Journal of Computers in Education*, 7, 435-462. <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00162-9>
- Mihalic, S. (2004). The importance of implementation fidelity [La importancia de la fidelidad de la aplicación]. *Emotional and Behavioral Disorders in Youth*, 4 (4), 83-105.
- Merilampi, S., Sirkka, A., Leino, M., Koivisto, A. and Finn, E. (2014). Cognitive mobile games for memory impaired older adults [Juegos cognitivos para móviles destinados a personas mayores con problemas de memoria]. *Journal of Assistive Technologies*, 8 (4), 207-223. <https://doi.org/10.1108/JAT-12-2013-0033>
- Nesbit, J. C., Adesope, O. O., Liu, Q., y Ma, W. (2014). How effective are intelligent tutoring systems in computer science education? [¿Qué eficacia tienen los sistemas de tutoría inteligente en la enseñanza de la informática?]. En *The 14th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2014). Advanced Technologies for Supporting Open Access to Formal and Informal Learning* (pp. 99-103). IEEE.
- Nesbit, J., Liu, L., Liu, Q., and Adesope, O. O. (2015). Work in progress: Intelligent tutoring systems in computer science and software engineering education [Trabajo en curso: Sistemas de tutoría inteligente en la enseñanza de la informática y la ingeniería del software]. En *2015 ASEE Annual Conference and Exposition Proceedings* (pp. 26.1754.1-26.1754.12). American Society for Engineering Education.
- Nye, B. D. (2015). Intelligent tutoring systems by and for the developing world: A review of trends and approaches for educational technology in a global context [Sistemas de tutoría inteligente por y para el mundo en desarrollo: una revisión de las tendencias y enfoques de la tecnología educativa en un contexto global]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 25, 177-203. <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0028-6>
- Onesi-Ozigagun, O., Ololade, Y. J., Eyo-Udo, N. L., y Ogundipe, D. O. (2024). Revolutionizing education

through AI: a comprehensive review of enhancing learning experiences [Revolucionar la educación mediante la IA: una revisión exhaustiva de la mejora de las experiencias de aprendizaje]. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6 (4), 589-607. <https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i4.1011>

- * Ortega-Ochoa, E., Quiroga, J., Arguedas, M., Daradouis, T., y Marquès, J. M. (2024). The effectiveness of empathic chatbot feedback for developing computer competencies, motivation, self-regulation, and metacognitive reasoning in online higher education [La eficacia de la retroalimentación empática de chatbot para el desarrollo de competencias informáticas, motivación, autorregulación y razonamiento metacognitivo en la educación superior en línea]. *Internet of Things*, 25, 101101. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101101>.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, M. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., ..., y Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews [La declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para informar sobre revisiones sistemáticas]. *International journal of surgery*, 88, 105906.
- *Perikos, I., Grivokostopoulou, F., y Hatzilygeroudis, I. (2017). Assistance and feedback mechanism in an intelligent tutoring system for teaching conversion of natural language into logic [Mecanismo de asistencia y retroalimentación en un sistema de tutoría inteligente para la enseñanza de la conversión del lenguaje natural en lógico]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 27, 475-514. <https://doi.org/10.1007/s40593-017-0139-y>
- Pirker, J., Riffnaller-Schiefer, M., y Gütl, C. (2014, June). Motivational active learning: Engaging university students in computer science education [Aprendizaje activo motivador: cómo implicar a los estudiantes universitarios en la enseñanza de la informática]. En *Proceedings of the 2014 Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education* (pp. 297-302). Association for Computing Machinery
- Pisapia, J., Schlesinger, J., y Parks, A. (1993). *Learning technologies in the classroom: Review of the literature [Tecnologías del aprendizaje en el aula: revisión de la literatura]*. Metropolitan Educational Research Consortium.
- Rosenthal, R. (1979). The file drawer problem and tolerance for null results [El problema del cajón archivador y la tolerancia a los resultados nulos]. *Psychological Bulletin*, 86 (3), 638-641. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.86.3.638>
- Shaw, M. (1985). The nature of computer science [La naturaleza de la informática]. En M. Shaw (Ed.), *The Carnegie-Mellon curriculum for undergraduate computer science [El plan de estudios de informática de Carnegie-Mellon]*. Springer.
- Silva, D. B., Aguiar, R. d. L., Dvconlo, D. S., y Silla, C. N. (2019). Recent studies about teaching algorithms (CS1) and data structures (CS2) for computer science students [Estudios recientes sobre la enseñanza de algoritmos (CS1) y estructuras de datos (CS2) a estudiantes de informática]. En *2019 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. 1-8). IEEE.
- Smith, M. (2016, 30 de enero). Computer science for all [entrada de blog blog]. *The White House - President Barack Obama*. <https://www.whitehouse.gov/blog/2016/01/30/computer-science-all>
- *Song, D., y Kim, D. (2021). Effects of self-regulation scaffolding on online participation and learning outcomes [Efectos del andamiaje de autorregulación en la participación en línea y los resultados del aprendizaje]. *Journal of Research on Technology in Education*, 53 (3), 249-263. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1767525>
- *Stamper, J., Eagle, M., Barnes, T., y Croy, M. (2013). Experimental evaluation of automatic hint generation for a logic tutor [Evaluación experimental de la generación automática de pistas para un tutor lógico]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 22 (1-2), 3-17. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21869-9_45
- *Su, J. M. (2020). A rule-based self-regulated learning assistance scheme to facilitate personalized learning with adaptive scaffoldings: A case study for learning computer software [Un esquema de ayuda al aprendizaje autorregulado basado en reglas para facilitar el aprendizaje personalizado con andamiajes adaptativos: Un estudio de caso para el aprendizaje de programas informáticos]. *Computer Applications in Engineering Education*, 28 (3), 536-555. <https://doi.org/10.1002/cae.22222>
- *Sun, D., Boudouaia, A., Zhu, C., y Li, Y. (2024). Would ChatGPT-facilitated programming mode impact college students' programming behaviors, performances, and perceptions? An empirical study [¿Influiría el modo de programación

- facilitado por ChatGPT en los comportamientos, el rendimiento y las percepciones de los estudiantes universitarios en materia de programación? Un estudio empírico]. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, 14. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00446-5>
- Sung, Y. T., Chang, K. E., y Liu, T. C. (2016). The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance: A meta-analysis and research synthesis [Efectos de la integración de dispositivos móviles en la enseñanza y el aprendizaje sobre el rendimiento escolar de los estudiantes: Un metaanálisis y una síntesis de la investigación]. *Computers y Education*, 94, 252-275. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.11.008>
- Tangi, L., van Noordt, C., Combetto, M., Gattwinkel D., y Pignatelli F. (2022). *AI watch. European landscape on the use of artificial intelligence by the public sector [AI watch. Panorama europeo del uso de la inteligencia artificial por el sector público]*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/39336>
- *Tegos, S., y Demetriadis, S. (2017). Conversational agents improve peer learning through building on prior knowledge [Los agentes conversacionales mejoran el aprendizaje entre iguales aprovechando los conocimientos previos]. *Journal of Educational Technology y Society*, 20 (1), 99-111.
- *Tegos, S., Demetriadis, S., y Karakostas, A. (2015). Promoting academically productive talk with conversational agent interventions in collaborative learning settings [Fomento de la conversación académicamente productiva mediante intervenciones de agentes conversacionales en entornos de aprendizaje colaborativo]. *Computers y Education*, 87, 309-325. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.014>
- *Tegos, S., Demetriadis, S., Papadopoulos, P. M., y Weinberger, A. (2016). Conversational agents for academically productive talk: A comparison of directed and undirected agent interventions [Agentes conversacionales para una conversación académicamente productiva: Una comparación de intervenciones de agentes dirigidas y no dirigidas]. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 11 (4), 417-440. <https://doi.org/10.1007/s11412-016-9246-2>
- Tlili, A., Essalmi, F., y Jemni, M. (2015). An educational game for teaching computer architecture: Evaluation using learning analytics [Un juego educativo para enseñar arquitectura de ordenadores: evaluación mediante análisis del aprendizaje]. En *2015 5th International Conference on Information y Communication Technology and Accessibility (ICTA)* (pp. 1-6). IEEE.
- Tlili, A., Shehata, B., Adarkwah, M. A., Bozkurt, A., Hickey, D. T., Huang, R., y Agyemang, B. (2023). What if the devil is my guardian angel: ChatGPT as a case study of using chatbots in education [¿Y si el diablo es mi ángel de la guarda? ChatGPT como estudio de caso del uso de chatbots en la educación]. *Smart Learning Environments*, 10 (1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00237-x>
- Touretzky, D., Gardner-McCune, C., y Seehorn, D. (2023). Machine learning and the five big ideas in AI [Aprendizaje automático y las cinco grandes ideas de la IA]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 33 (2), 233-266. <https://doi.org/10.1007/s40593-022-00314-1>
- Verdú, E., Regueras, L. M., Gal, E., De Castro, J. P., Verdú, M. J., y Kohen-Vacs, D. (2017). Integration of an intelligent tutoring system in a course of computer network design [Integración de un sistema de tutoría inteligente en un curso de diseño de redes informáticas]. *Educational Technology Research and Development*, 65, 653-677. <https://doi.org/10.1007/s11423-016-9503-0>
- Waraich, A. (2004). Using narrative as a motivating device to teach binary arithmetic and logic gates [Utilizar la narrativa como recurso motivador para enseñar aritmética binaria y puertas lógicas]. *ACM SIGCSE Bulletin*, 36 (3), 97-101. <https://doi.org/10.1145/1026487.1008024>
- Wang, H., Tlili, A., Huang, R., Cai, Z., Li, M., Cheng, Z., Yang, D., Li, M., Zhu, X., y Fei, C. (2023). Examining the applications of intelligent tutoring systems in real educational contexts: A systematic literature review from the social experiment perspective [Examen de las aplicaciones de los sistemas de tutoría inteligente en contextos educativos reales: una

revisión bibliográfica sistemática desde la perspectiva del experimento social]. *Education and information technologies*, 28 (7), 9113-9148. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11555-x>

*Winkler, R., Hobert, S., Salovaara, A., Söllner, M., y Leimeister, J. M. (2020, April). Sara, the lecturer: Improving learning in online education with a scaffolding-based conversational agent [Sara, la profesora: mejora del aprendizaje en la educación en línea con un agente conversacional basado en andamiaje.. En *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-14). Association for Computing Machinery

Wu, R., y Yu, Z. (2023). Do AI chatbots improve students learning outcomes? Evidence from a meta-analysis [¿Mejoran los chatbots de IA los resultados de aprendizaje de los estudiantes? Datos de un metaanálisis]. *British Journal of Educational Technology*, 55 (1), 10-33. <https://doi.org/10.1111/bjet.13334>

*Yin, J., Goh, T. T., Yang, B., y Xiaobin, Y. (2021). Conversation technology with micro-learning: The impact of chatbot-based learning on students' learning motivation and performance [Tecnología de conversación con microaprendizaje: El impacto del aprendizaje basado en chatbot en la motivación y el rendimiento de aprendizaje de los estudiantes]. *Journal of Educational Computing Research*, 59 (1), 154-177. <https://doi.org/10.1177/0735633120952067>

Zhang, X., Tlili, A., Shubeck, K., Hu, X., Huang, R., y Zhu, L. (2021). Teachers' adoption of an open and interactive e-book for teaching K-12 students artificial intelligence: A mixed methods inquiry [Adopción por los profesores de un libro electrónico abierto e interactivo para enseñar inteligencia artificial a alumnos de primaria y secundaria: una investigación con métodos mixtos]. *Smart Learning Environments*, 8, 1-20. <https://doi.org/10.1186/s40561-021-00176-5>

Zheng, L., Niu, J., Zhong, L., y Gyasi, J. F. (2023). The effectiveness of artificial intelligence on learning achievement and learning perception: A meta-analysis [La eficacia de la inteligencia

artificial en el rendimiento y la percepción del aprendizaje: un metaanálisis]. *Interactive Learning Environments*, 31 (9), 5650-5664. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.2015693>

Biografía del autor

Ahmed Tlili. Profesor asociado de Tecnología Educativa en la Beijing Normal University, China, y profesor asociado adjunto en la An-Najah University, Palestina. Es codirector del OER Lab en el Smart Learning Institute de la Beijing Normal University (SLIBNU), China. Trabaja como editor de la serie de Springer *Future Education and Learning Spaces* y como editor adjunto de la revista *Smart Learning Environments*. También es editor asociado del *IEEE Bulletin of the Technical Committee on Learning Technology* y de la revista de la *e-Learning and Knowledge Society*. El profesor Tlili es, asimismo, un experto en la Arab League Educational, Cultural and Scientific Organization (ALECSO). Ha editado varios números especiales en diversas revistas. También ha publicado varios libros, así como artículos académicos en revistas con revisión por pares y en conferencias internacionales. Ha sido galardonado con el Premio Martin Wolpers 2021 por el Research Institute for Innovation and Technology in Education (UNIR iTED) en reconocimiento de su excelencia en investigación, educación e impacto significativo en la sociedad. También ha sido galardonado con el IEEE TCLT Early Career Researcher Award in Learning Technologies de 2020.



<https://orcid.org/0000-0003-1449-7751>