

Ingeniería de la colaboración y realidad aumentada en la atención de niños con TDAH: revisión sistemática de requisitos de diseño

Collaborative Engineering and Augmented Reality for Attention in Children with ADHD: A Systematic Review of Design Requirements

Jhoan Sebastian Hurtado Campo¹  Cesar Alberto Collazos Ordoñez¹ 

¹Universidad del Cauca, Faculty of Electronic Engineering and Telecommunications, Popayán, Colombia.

Resumen

Objetivo: revisar sistemáticamente la literatura sobre estrategias colaborativas para mejorar la atención —con y sin realidad aumentada (RA)— en niños con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), con el fin de derivar requisitos de diseño y directrices arquitectónicas para la ingeniería de sistemas colaborativos de RA.

Metodología: revisión sistemática realizada conforme a las normas PRISMA 2020 y a las directrices para revisiones sistemáticas en ingeniería de software. Se aplicaron cadenas de búsqueda booleanas en Scopus, IEEE Xplore, Google Scholar y Consensus.app (2015–2026), clasificando los resultados en seis categorías temáticas y realizando una síntesis narrativa estructurada según las directrices SWiM.

Resultados: de los 276 registros identificados, se incluyeron 58 estudios. Las estrategias colaborativas mejoran la atención en niños con TDAH ($d = -0,33$). La evidencia específica sobre RA es consistente en cuanto a su dirección —superioridad frente a métodos tradicionales en poblaciones con necesidades especiales e intervenciones validadas en lectura, cognición y juego—, aunque de naturaleza predominantemente cualitativa y piloto; la evidencia sobre RV, incluida como límite superior de la dimensión inmersiva, alcanza una $d = -1,05$.

Conclusiones: la intersección entre la ingeniería de la colaboración, la RA y el TDAH constituye una brecha de investigación aún abierta. Los requisitos derivados proporcionan una base de ingeniería trazable para el diseño de aplicaciones colaborativas de RA multiusuario dirigidas a esta población.

Palabras clave: Ingeniería de la colaboración; realidad aumentada; TDAH; aprendizaje colaborativo; juegos serios; requisitos de software; arquitectura de software; tecnología educativa.

Abstract

Objective: To systematically review the literature on collaborative strategies for improving attention—both with and without augmented reality (AR)—in children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD), in order to derive design requirements and architectural guidelines for the engineering of collaborative AR systems.

Methodology: A systematic review was conducted in accordance with PRISMA 2020 standards and guidelines for systematic reviews in software engineering. Boolean search strings were applied across Scopus, IEEE Xplore, Google Scholar, and Consensus.app (2015–2026); results were classified into six thematic categories, and a narrative synthesis was performed following SWiM guidelines.

Results: Of the 276 records identified, 58 studies were included. Collaborative strategies improve attention in children with ADHD ($d = -0.33$). Evidence specific to AR is consistent regarding its direction—showing superiority over traditional methods in populations with special needs, alongside validated interventions in reading, cognition, and play—though it is predominantly qualitative and pilot-based in nature; evidence regarding VR, included as the upper limit of the immersive dimension, shows a $d = -1.05$.

Conclusions: The intersection of collaboration engineering, AR, and ADHD represents an open research gap. The derived requirements provide a traceable engineering foundation for the design of multi-user collaborative AR applications aimed at this population.

Keywords: collaboration engineering; augmented reality; ADHD; collaborative learning; serious games; software requirements; software architecture; educational technology.

¿Cómo citar?

Hurtado JS, Collazos CA. Ingeniería de la colaboración y realidad aumentada en la atención de niños con TDAH: revisión sistemática de requisitos de diseño. Ingeniería y Competitividad, 2026, 28(3)e-30115988

<https://doi.org/10.25100/iyv.v28i3.15988>

Recibido: 10/07/26

Revisado: 04/08/26

Aceptado: 22/09/26

Online: 01/10/26

Correspondencia

jhoanhurtado@unicauca.edu.co



¿Por qué se realizó el estudio?

Los niños con TDAH enfrentan dificultades atencionales que afectan su rendimiento escolar; tanto las estrategias colaborativas como la realidad aumentada han demostrado, por separado, tener potencial para apoyarlos. Sin embargo, los desarrolladores de software carecen de criterios de diseño fundamentados en evidencia: los hallazgos disponibles están dispersos en la literatura clínica, educativa y de ingeniería, y no se han traducido en especificaciones que un equipo de desarrollo pueda implementar y verificar. Este estudio se llevó a cabo para sintetizar dicha evidencia fragmentada y convertirla en requisitos de diseño concretos para sistemas de realidad aumentada colaborativa dirigidos a esta población.

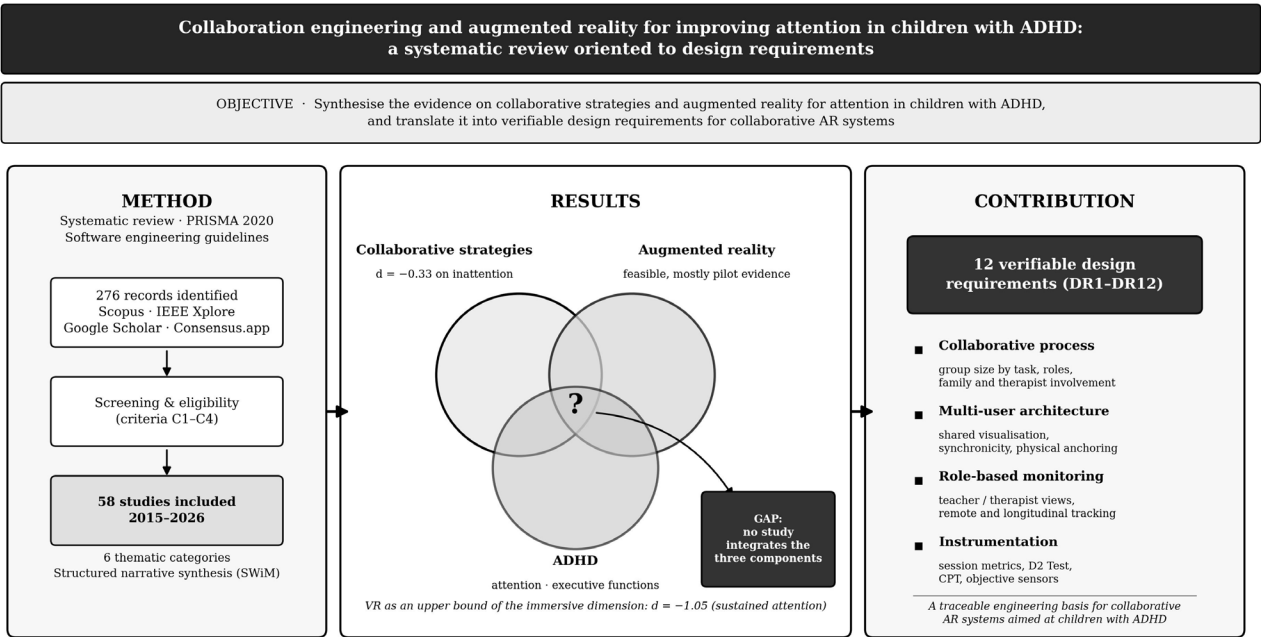
¿Cuáles fueron los hallazgos clave?

De los 276 registros identificados, se incluyeron 58 estudios. Las estrategias colaborativas mejoran la atención en niños con TDAH con un efecto moderado ($d = -0,33$), consistente tanto en metaanálisis de intervenciones escolares como digitales. La evidencia específica sobre realidad aumentada es consistente en cuanto a su dirección —con intervenciones validadas en lectura, tareas cognitivas y juego—, aunque de naturaleza predominantemente cualitativa y piloto; la evidencia sobre realidad virtual, incluida como límite superior de la dimensión inmersiva, alcanza un valor de $d = -1,05$ para la atención sostenida. No se identificó ningún estudio en el corpus recopilado que integrara simultáneamente la colaboración estructurada, la realidad aumentada y el TDAH.

¿Qué aportan estos hallazgos?

El estudio traduce evidencia clínica y educativa heterogénea en doce requisitos de diseño verificables (RD1–RD12), trazables a sus fuentes y organizados en torno a procesos colaborativos, arquitectura multiusuario, monitoreo basado en roles e instrumentación de medición. Esto proporciona a los equipos de desarrollo una base de ingeniería para especificar y validar aplicaciones de realidad aumentada colaborativa, en lugar de partir de la intuición en el diseño. Los requisitos no constituyen una demostración de eficacia —esa verificación empírica queda pendiente—, sino un punto de partida fundamentado y susceptible de prueba, que además delimita una agenda de investigación en la intersección aún inexplorada de la colaboración, la realidad aumentada y el TDAH.

Graphical Abstract



Introducción

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) es una condición neurodesarrollativa caracterizada por síntomas de falta de atención, hiperactividad e impulsividad que afectan al rendimiento académico, la interacción social y el desarrollo emocional de los niños (1, 2). Las guías clínicas actuales subrayan la necesidad de enfoques multimodales que integren componentes psicosociales y tecnológicos junto con tratamientos convencionales (1), y la evidencia documenta deterioros en múltiples dominios: cognitivo, motor, social y emocional (3). Desde una perspectiva de ingeniería, estas características constituyen restricciones y condiciones operativas que cualquier sistema interactivo dirigido a esta población debe incorporar explícitamente en su diseño.

Paralelamente, la ingeniería colaborativa se ha consolidado como una disciplina orientada al diseño y despliegue de procesos colaborativos repetibles y de alto valor que pueden ser ejecutados por profesionales sin el apoyo continuo de facilitadores expertos (4). Su unidad básica de diseño, el thinkLet, codifica intervenciones de facilitación que producen patrones predecibles de colaboración, y su enfoque de diseño ha sido validado mediante estudios científicos del diseño multimétodo (5). Esta disciplina proporciona el andamiaje conceptual para transformar hallazgos empíricos sobre colaboración —tamaño del grupo, asignación de roles, retroalimentación— en especificaciones de proceso reutilizables por los ingenieros de software que construyen sistemas colaborativos.

La realidad aumentada (RA), a su vez, ha surgido como una tecnología inmersiva capaz de enriquecer procesos educativos a través de entornos visuales que integran el contenido digital con el mundo físico (6, 7, 8). En entornos con niños con TDAH, se ha demostrado que la RA mejora la concentración y reduce la distracción a través de experiencias multisensoriales (9, 10, 11), y un estudio comparativo entre entornos de realidad virtual (VR) y RA indica que la RA es especialmente adecuada para contextos escolares debido a su integración con el entorno físico y su menor carga técnica (12). No obstante, una revisión sistemática reciente sobre la RA en el aprendizaje colaborativo advierte que la RA se ha implementado con mayor frecuencia para la entrega de contenidos que para promover la colaboración, y que la literatura carece de instrumentos validados para medir la dimensión colaborativa en estos entornos (13).

A pesar del creciente interés en estas tres líneas de trabajo, una exploración de la literatura disponible en Scopus, IEEE Xplore y Google Scholar no identificó revisiones sistemáticas previas que integren simultánea y sistemáticamente: (1) estrategias colaborativas como principal mecanismo de intervención, (2) RA como tecnología de apoyo y (3) TDAH como población de validación. Los estudios existentes abordan, como mucho, dos de estos componentes conjuntamente (14, 15), y las revisiones más recientes sobre tecnologías inmersivas en el TDAH confirman que la evidencia sigue siendo fragmentada y metodológicamente heterogénea (16).

Este artículo aborda esa carencia desde un punto de vista de ingeniería. A diferencia de las revisiones centradas en la eficacia clínica, la contribución de este trabajo consiste en sintetizar la evidencia disponible para derivar de ella requisitos de diseño verificables y directrices arquitectónicas para sistemas colaborativos de RA multiusuario dirigidos a niños con TDAH. La revisión analiza la literatura publicada entre 2015 y 2026, identifica patrones de efectividad, mecanismos y lagunas empíricas, y los traduce en doce requisitos de diseño (DR1–DR12) rastreables a sus fuentes. Estos requisitos sustentan el desarrollo de la aplicación colaborativa de

AR propuesta en la tesis de máster en Computación de la Universidad del Cauca, dentro de la cual se enmarca esta revisión.

Marco conceptual

Esta revisión se enmarca en seis constructos que justifican precisión teórica. El TDAH se entiende, siguiendo las directrices clínicas de consenso europeo (1), como un trastorno neurodesarrollativo de origen multifactorial caracterizado por patrones persistentes de inatención, hiperactividad e impulsividad que interfieren con el funcionamiento y el desarrollo; esta perspectiva clínica se adopta aquí en su dimensión funcional, es decir, como un conjunto de características cognitivas y conductuales —déficits en funciones ejecutivas, memoria de trabajo e inhibición de la respuesta (3)— que funcionan como restricciones de diseño para cualquier sistema interactivo dirigido a esta población.

La ingeniería colaborativa se adopta en la definición de Briggs, de Vreede y Nunamaker (4) como el enfoque orientado al diseño de procesos colaborativos recurrentes y de alto valor que puedan ejecutarse de manera autosostenida por profesionales del dominio sin la intervención continua de facilitadores expertos. Su unidad de diseño, el thinkLet, codifica patrones de facilitación reproducibles; el marco de diseño colaborativo de procesos de Kolfshoten y de Vreede (5) complementa esta perspectiva formalizando las actividades de descomposición, selección y secuenciación de patrones. Bajo este enfoque, la colaboración no se trata como una característica emergente de la interacción, sino como un proceso especificable y verificable que puede incorporarse en la ingeniería de requisitos.

La realidad aumentada se define, en el sentido canónico de Azuma (17), como un sistema que combina elementos reales y virtuales en un entorno real, es interactivo en tiempo real y se registra en tres dimensiones. Esta definición se sitúa dentro del continuo de virtualidad de Milgram y Kishino (18), que ordena los entornos entre lo completamente real y lo completamente virtual y hace posible distinguir formalmente la RA de la realidad virtual: mientras que la RA superpone contenido digital al entorno físico preservándolo como sustrato de interacción, la realidad virtual reemplaza ese entorno por uno sintético. Esta distinción es relevante para la presente revisión porque anclarse al entorno físico —y no solo el grado de inmersión— es una de las propiedades que sustentan la viabilidad escolar de la RA y varios de los requisitos derivados de este trabajo.

La atención, variable de resultado de esta revisión, se aborda a partir del modelo de redes atencionales de Posner y Petersen (19), que la concibe no como una capacidad unitaria sino como un sistema anatómicamente independiente de los sistemas de procesamiento, organizado en redes diferenciadas de alerta, orientación y control ejecutivo; la actualización posterior de este marco (20) incorpora evidencia sobre el desarrollo de estas redes en la infancia y su relación con la autorregulación. Esta distinción es operativamente relevante porque los instrumentos utilizados en los estudios revisados no miden el mismo constructo: las pruebas de rendimiento continuo y la prueba D2 evalúan principalmente la atención sostenida y selectiva, mientras que las escalas de valoración de padres y profesores capturan manifestaciones conductuales de la inatención. En esta revisión, “atención” designa el conjunto de estas funciones en la medida en que son objeto de medición en los estudios incluidos, con énfasis en la atención sostenida durante la actividad.

La colaboración se adopta en la definición de Roschelle y Teasley (21) como una actividad coordinada y síncrona resultante de un intento continuo de construir y mantener una concepción compartida de un problema, sostenida en un espacio conjunto de problemas negociado entre los participantes. Esta definición es más restrictiva que la de cooperación —donde la tarea se divide y cada participante resuelve una parte de forma independiente— y es la que se aplica en esta revisión para determinar si un estudio incorpora un eje colaborativo: se requieren interdependencia y construcción conjunta, no solo la agrupación de los participantes.

Finalmente, un requisito de diseño se entiende, de acuerdo con la norma ISO/IEC/IEEE 29148 (22), como una declaración que expresa una necesidad y sus restricciones asociadas de manera verificable, es decir, una que puede verificarse mediante inspección, análisis, demostración o prueba. Los requisitos derivados de este trabajo se clasifican en tres tipos: requisitos de procesos colaborativos (condiciones sobre cómo se estructura la actividad entre los participantes), requisitos funcionales (capacidades que el sistema debe proporcionar) y requisitos no funcionales (propiedades de calidad y restricciones bajo las cuales debe operar).

Metodología

Tipo de estudio

Este estudio es una revisión sistemática de la literatura científica realizada en el marco de un proyecto de investigación de máster (23). Se siguieron las directrices PRISMA 2020 (24), complementadas por las directrices para revisiones sistemáticas en ingeniería de software (25), que guían la planificación, realización y reporte de revisiones en este campo disciplinario.

La alta heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos hace que un metaanálisis cuantitativo sea técnicamente inviable por tres razones concurrentes: (a) los diseños van desde experimentos piloto con $n < 10$ hasta metaanálisis con $n > 1000$, sin unidad de efecto homogéneo; (b) los instrumentos de medición de la atención son mutuamente inconmensurables (escalas de valoración parentales, CPT, Test D2, EEG, seguimiento ocular); y (c) las intervenciones difieren sustancialmente en el tipo de estrategia colaborativa, la tecnología empleada y la duración del programa, lo que impide definir un comparador común. Por estas razones, y siguiendo las directrices SWiM (Síntesis Sin Metaanálisis) (26), se adoptó una síntesis narrativa estructurada: los estudios se agruparon por categoría temática, los hallazgos se sintetizaron dentro de cada grupo y se compararon patrones entre grupos para identificar convergencias, contradicciones y lagunas de conocimiento.

Preguntas de investigación

Las siguientes preguntas, formuladas desde la perspectiva de ingeniería del sistema objetivo, guiaron la revisión: (P1) ¿Qué características conductuales y cognitivas de los niños con TDAH condicionan los requisitos de un sistema interactivo orientado a la atención? (P2) ¿Qué estrategias y patrones colaborativos han demostrado eficacia para mejorar la atención y qué parámetros del proceso (tamaño del grupo, roles, retroalimentación) reportan? (P3) ¿Cómo contribuye la RA a fortalecer las estrategias colaborativas y qué arquitecturas, plataformas e instrumentación de

medición emplean los sistemas reportados? (P4) ¿Qué requisitos de diseño verificables pueden derivarse de la evidencia de sistemas de RA colaborativos dirigidos a esta población?

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda se realizó en Scopus, IEEE Xplore, Google Scholar y Consensus.app, para artículos publicados entre enero de 2015 y junio de 2026. Se utilizaron combinaciones de las palabras clave "trastorno por déficit de atención e hiperactividad", "TDAH", "aprendizaje colaborativo", "estrategias colaborativas", "Realidad aumentada", "mejora de la atención", "tecnología", "niños" e "intervenciones conductuales". Las cadenas de búsqueda con operadores booleanos fueron: (1) "niños con TDAH" Y "caracterización" Y ("déficit de atención" O "trastorno de hiperactividad"); (2) "estrategias colaborativas" Y "mejora de la atención" Y "niños con TDAH"; (3) "Realidad Aumentada" Y "colaboración" Y "atención"; (4) "TDAH Y Realidad Aumentada Y aprendizaje colaborativo"; (5) "juegos serios" Y "TDAH" Y "atención" Y (2024 O 2025 O 2026); y (6) "tecnología inmersiva" Y "aprendizaje colaborativo" Y "necesidades especiales".

Las búsquedas se realizaron entre marzo y abril de 2026. En Scopus e IEEE Xplore las cadenas se aplicaban a los campos de título, resumen y palabra clave; en Google Scholar estaban restringidas al título del artículo; y en Consensus.app se desglosaban en consultas semánticas. Esta diferencia refleja el papel asignado a cada fuente: Scopus e IEEE Xplore operaban como bases de datos bibliográficas primarias —la primera por su cobertura multidisciplinar indexada y la segunda por su especialización en ingeniería y sistemas interactivos— mientras que Google Scholar y Consensus.app se usaban como fuentes complementarias de recuperación, destinadas a identificar literatura iberoamericana, literatura de acceso abierto o literatura no recuperada mediante coincidencia exacta de términos. En consecuencia, cada registro originado en estas dos últimas fuentes fue validado verificando su DOI y metadatos en las bases de datos primarias antes de ser conservado, de modo que ningún estudio se incluyó únicamente sobre la base de una fuente complementaria.

La ventana temporal 2015–2026 se estableció bajo dos criterios explícitos: (i) el análisis de modelización temática de 3718 artículos educativos de RA realizado por Ozyurt y Ozyurt (27) documenta cuyo volumen de publicaciones creció lentamente hasta 2015 y se aceleró notablemente a partir de ese año, coincidiendo con la adopción generalizada de dispositivos móviles con capacidades de RA y con la aparición de aplicaciones serias de juegos, incluidas aquellas dirigidas a poblaciones con condiciones neurodesarrollativas, de modo que 2015 constituye un punto de corte documentado en la literatura bibliométrica del campo; y (ii) una cobertura de aproximadamente una década permite observar la evolución del campo y sus tendencias de desarrollo, manteniendo al mismo tiempo la vigencia tecnológica de los sistemas analizados.

Criterios de selección

Se incluyeron estudios publicados entre enero de 2015 y junio de 2026, en inglés o español, correspondientes a artículos revisados por pares, capítulos de libros con proceso editorial o artículos de congresos con comité de revisión; que aplicaran estrategias colaborativas con o sin tecnología; que utilizaran RA o RV como herramienta de apoyo (cuando corresponda); que

tuvieran como grupo de observación niños con TDAH —la principal población de interés de esta revisión— o, de forma complementaria, otras condiciones neurodesarrollativas que involucren dificultades de atención cuya evidencia informa el diseño de intervenciones para el TDAH; y que presentaron resultados empíricos o una síntesis sistemática verificable sobre atención o cognición relacionada. La inclusión de estudios de VR responde a una decisión metodológica deliberada: dado que los estudios primarios controlados de RA con TDAH aún son escasos, la evidencia de RV se incorporó como evidencia adyacente de la dimensión inmersiva —útil para delimitar parámetros de diseño y magnitudes de efecto de referencia— manteniendo la RA como tecnología objetivo de la revisión y distinguiendo explícitamente en la síntesis el origen de cada hallazgo por plataforma. Se excluyeron estudios si carecían de resultados explícitos sobre la atención, carecían de una descripción metodológica reproducible, no incluían la colaboración como componente relevante de la intervención, se centraban exclusivamente en el tratamiento farmacológico, o correspondían a literatura gris o duplicados (conservando la versión más reciente o la que tenía un alcance metodológico más amplio). La aplicación de estos criterios al número total de registros identificados se cuantifica en el diagrama de flujo de la Figura 1 y se detalla en la siguiente sección, indicando cuántos registros se excluyeron en cada etapa y bajo qué criterio específico.

Proceso de selección y valoración de calidad

El proceso se llevó a cabo en tres etapas: identificación mediante búsqueda por palabras clave, selección por título y resumen, y lectura completa de los artículos elegibles. Dado el diseño heterogéneo de los estudios incluidos, cada estudio fue evaluado narrativamente según cuatro criterios mínimos de calidad, inspirados en los dominios principales de la herramienta CASP (28) y coherentes con la práctica de evaluación de calidad en revisiones de ingeniería de software (25): (C1) descripción clara del diseño metodológico; (C2) caracterización explícita de la población o muestra; (C3) descripción detallada de la intervención o herramienta; y (C4) informe de resultados cuantificables o una síntesis analítica reproducible. Los estudios que no cumplían al menos tres de los cuatro criterios fueron descartados durante la etapa de elegibilidad.

Los cuatro criterios se derivaron de los dominios centrales comunes a los instrumentos del CASP —validez del diseño, claridad en la caracterización de la población, descripción de la intervención y reporte de resultados— seleccionados porque son los aplicables de manera uniforme a un corpus que combina ensayos controlados, estudios cuasi-experimentales, revisiones sistemáticas y trabajo de desarrollo tecnológico. Este umbral se estableció de esta manera para no excluir sistemáticamente los estudios de desarrollo tecnológico, que tienden a describir la población con menos detalle pero proporcionan información arquitectónica esencial para la elaboración de los requisitos. La evaluación se aplicó durante la lectura del texto completo: siempre que había dudas sobre el cumplimiento de un criterio, el estudio se leyó íntegramente y se contrastó con los cuatro criterios antes de tomar una decisión, registrando en la forma de extracción la decisión y, en caso de exclusión, el criterio específico que la motivó. La revisión fue realizada por el primer autor y verificada por el segundo.

La Figura 1 ilustra el proceso de selección conforme a PRISMA 2020. Se identificaron un total de 276 registros en cuatro fuentes: IEEE Xplore (n = 80), Scopus (n = 87), Consensus.app (n = 49) y Google Scholar (n = 60). Tras eliminar duplicados (n = 34), el corpus se redujo a 242 registros. El

filtro por título y resumen eliminó 157 registros, dejando 85 para la evaluación en texto completo, de los cuales 27 fueron excluidos por no cumplir los criterios de elegibilidad, resultando en 58 estudios incluidos en la síntesis. La verificación aritmética del flujo es: $276 - 34 = 242$; $242 - 157 = 85$; $85 - 27 = 58$. En resumen, de los 276 registros identificados inicialmente, 34 fueron excluidos como duplicados en varias fuentes, 157 durante el cribado por título y resumen (89 por no tener relación temática con el objeto de estudio, 28 por lenguaje no elegible y 40 por no ser revisados por pares) y 27 durante la evaluación en texto completo (9 por no informar resultados sobre atención, 8 por carecer de descripción metodológica reproducible, 6 por no incluir la colaboración como componente relevante y 4 por abordar exclusivamente el tratamiento farmacológico), lo que limita el alcance final del corpus en 58 estudios.

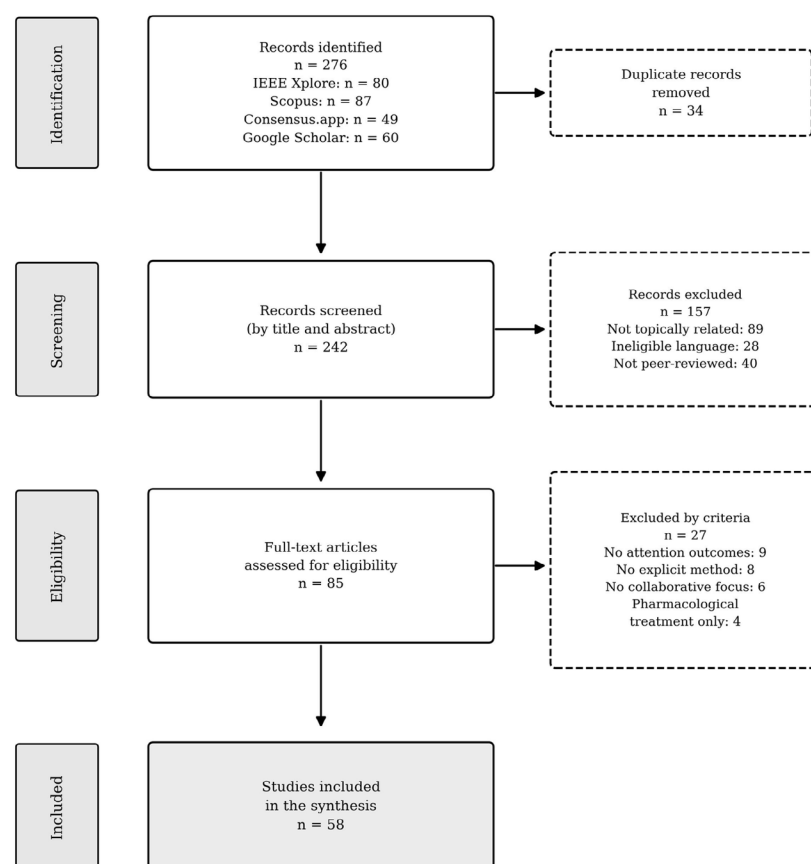


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA 2020 del proceso de selección de estudios. Fuente: preparado por los autores.

Extracción y síntesis de datos

Los datos de cada estudio se extrajeron mediante un formulario de extracción diseñado ad hoc por los autores de esta revisión, cuya estructura sigue las directrices de extracción de datos establecidas por PRISMA 2020 (24) y las recomendaciones para revisiones sistemáticas en ingeniería de software

de Kitchenham et al. (25), que prescriben registrar de manera uniforme los atributos metodológicos y contextuales necesarios para responder a las preguntas de investigación. El formulario registró los siguientes campos: autores y año, tipo de diseño, contexto de aplicación, estrategia colaborativa empleada (cuando corresponda), tecnología utilizada, población y tamaño de muestra, instrumentos de medición de atención, resultados principales y conclusiones relevantes.

Los artículos se clasificaron en seis grupos temáticos: (1) caracterización de niños con TDAH, (2) estrategias colaborativas aplicadas al TDAH, (3) estrategias colaborativas generales, (4) herramientas digitales para mejorar la atención, (5) herramientas de RA y VR, y (6) estudios combinados. Además, y como contribución distintiva de esta revisión, cada hallazgo con implicaciones de diseño fue codificado como un requisito candidato y consolidado mediante trazabilidad a sus fuentes, siguiendo la lógica de derivar requisitos a partir de la evidencia propia de la ingeniería de software (25) y la ingeniería de colaboración (5). Para los fines de esta categorización, las herramientas digitales para mejorar la atención se entienden como el conjunto de intervenciones mediadas por ordenador —terapias digitales, juegos serios y programas de entrenamiento cognitivo— diseñadas específicamente para ejercitar funciones atencionales y ejecutivas mediante tareas estructuradas con retroalimentación, y evaluadas como una intervención independiente en lugar de apoyo a otra actividad (53, 31); esta categoría se distingue de la categoría 5 en que esta última requiere mediación mediante tecnologías de realidad aumentada o virtual de acuerdo con la definición adoptada en el marco conceptual (17, 18).

Resultados

El proceso de selección resultó en la inclusión de 58 artículos publicados entre 2015 y 2026, con una densidad particular en el periodo 2021–2026, en los que la investigación sobre tecnologías inmersivas para el TDAH ha mostrado mayor dinamismo y rigor metodológico. La evaluación según los criterios C1–C4 mostró que la mayoría de los estudios en las categorías 1, 2 y 4–6 muestran una trazabilidad metodológica aceptable (se cumplen tres o cuatro criterios); los estudios de mayor calidad fueron los metaanálisis y revisiones sistemáticas, que proporcionan estimaciones verificables del efecto cuantitativo, frente a estudios de caso y pilotos, que aportan evidencia exploratoria relevante para el diseño. La Tabla 1 resume las características del corpus por categoría temática; la caracterización individual de los 58 estudios se proporciona como material complementario en formato de hoja de cálculo, de acuerdo con las políticas de disponibilidad de datos de la revista.

Tabla 1. Resumen del corpus por categoría temática (n = 58). SR: revisión sistemática; MA: metaanálisis; ECA: ensayo controlado aleatorizado; SLR: revisión sistemática de la literatura. Fuente: preparado por los autores.



Categoría temática	n	Diseños predominantes	Tecnologías	Hallazgo clave para el diseño
1. Caracterización del TDAH (1, 2, 3, 9, 29, 30, 31)	7	Guías clínicas, revisiones generales, SR/MA, intervenciones	Digital (parcial)	Los dominios cognitivo, motor y social como variables objetivo; mayor implicación conductual en estructuras colaborativas que en la instrucción directa.
2. Estrategias colaborativas aplicadas al TDAH (32, 33, 34, 35, 36, 37)	6	ECA, SR/MA (26 ECA), seguimientos longitudinales	Mayormente no tecnológico	Efectos sobre la desatención (d = -0,33), el rendimiento académico (d = 0,37) y las habilidades sociales (d = 0,28); aumentar la implicación familiar mejora la eficacia de la intervención y la transferencia de habilidades.
3. Estrategias colaborativas generales (38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45)	8	Experimentos, SLR, estudios observacionales y cuantitativos	Mixtos (digitales, robots)	El tamaño del grupo modera la relación entre apoyo entre iguales y compromiso, sin un valor óptimo único; elementos que estructuran y apoyan experiencias colaborativas (objetivos compartidos, roles, retroalimentación, andamiaje adulto, reflexión entre iguales); perfiles conductuales colaborativos; interdependencias positivas y grupos de cuatro participantes en herramientas colaborativas.
4. Herramientas digitales para la atención (46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55)	10	MA (25 ECA, n = 1780), SRs, pilotos, ECA, intervenciones	Juegos serios, terapéuticas digitales, VR	Efecto global DME = -0,33, mayor en programas ≥ 8 semanas; retroalimentación inmediata y adaptación a la dificultad son características relevantes; evidencia neurobiológica (EEG) de mejora atencional.

Categoría temática	n	Diseños predominantes	Tecnologías	Hallazgo clave para el diseño
5. Realidad aumentada y virtual (6, 7, 8, 10, 11, 12, 16, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68)	19	Comparaciones de plataformas, AMs, SRs, intervenciones, protocolos de ECA	AR, VR, seguimiento ocular, NIRS	La RA se sitúa en un punto intermedio del continuo escritorio–RV, adecuada para entornos escolares; la RA inmersiva alcanza $d = -1,05$ en atención sostenida; la RA tangible es factible; superioridad de la RA en poblaciones con necesidades especiales; evidencia fragmentada de comportamientos sociales en el TDAH.
6. Estudios combinados (13, 14, 15, 67, 69, 70, 71, 72)	8	ECA de tres brazos, SRs, diseños y evaluaciones de sistemas	VR, AR, realidad mixta	No se identificó ningún estudio que integrara explícitamente los tres componentes en el corpus; marco ITCL; patrones colaborativos de RA multiusuario; monitorización asimétrica para el docente; la RA colaborativa carece de estructura de procesos e instrumentos para medir la colaboración.

El TDAH como fuente de restricciones de diseño

La primera categoría del corpus permite responder al primer trimestre. Las guías clínicas europeas enfatizan la necesidad de enfoques multimodales con componentes psicosociales (1), y la evidencia metaanalítica cuantifica el deterioro en calidad de vida, funciones ejecutivas y relaciones sociales asociadas al TDAH (2, 3). Las herramientas diagnósticas muestran sesgos de género y solapamiento con comorbilidades que deben tenerse en cuenta al seleccionar instrumentos de evaluación para cualquier sistema dirigido a esta población (29). Dos hallazgos tienen implicaciones directas de ingeniería: el compromiso conductual de los niños con TDAH es mayor en estructuras colaborativas que en la instrucción directa (9), que posiciona la colaboración como un mecanismo de diseño más que como un accesorio; y el entrenamiento de funciones ejecutivas muestra mejoras significativas incluso en niños en edad preescolar (30, 31), que define la inhibición de la respuesta y la memoria de trabajo como dominios cognitivos que el sistema debe estimular (55).

Ingeniería de colaboración: parámetros de proceso con apoyo empírico

La ingeniería de la colaboración proporciona el marco para convertir la evidencia de las categorías 2 y 3 en especificaciones de procesos repetibles (4, 5). En poblaciones con TDAH, la colaboración entre familias, profesores y profesionales sanitarios produce beneficios significativos y sostenidos en síntomas y calidad de vida (32, 33, 36, 37). El metaanálisis más completo disponible, que integra 26 ensayos controlados aleatorizados en escuelas con poblaciones infantiles con TDAH, cuantifica los efectos sobre la inatención ($d = -0,33$), el rendimiento académico ($d = 0,37$) y las habilidades sociales ($d = 0,28$) (34). La evidencia indica que aumentar la implicación familiar en la intervención mejora su eficacia y la transferencia de habilidades al entorno natural del niño (35), lo que en términos de procesos de ingeniería de software implica incorporar a padres y terapeutas como actores activos en el ciclo de diseño y validación.

Los estudios de colaboración en contextos generales proporcionan los parámetros de proceso que la ingeniería de colaboración requiere para instanciar patrones. El tamaño de los grupos opera como una variable moderadora de la relación entre apoyo entre iguales y compromiso, sin que la evidencia establezca un valor óptimo único: los grupos más pequeños favorecen la participación individual y el apoyo mutuo, mientras que configuraciones más grandes pueden ser apropiadas para otros tipos de tareas, de modo que el tamaño debe decidirse según la naturaleza de la actividad (44); Burns et al. destacan varios elementos que estructuran y apoyan las experiencias colaborativas, entre ellos el establecimiento de objetivos compartidos y la asignación de roles, el intercambio de conocimientos mediante retroalimentación, el andamiaje proporcionado por adultos y los procesos de toma de perspectiva y reflexión entre pares (45); los roles definidos y la revisión por pares producen una mayor comprensión que el trabajo individual en entornos tecnológicos (39, 40, 41); y la herramienta colaborativa CCCuento, estructurada sobre interdependencias positivas y una secuencia de actividades individuales que alternan con periodos de revisión y discusión en grupos de cuatro participantes, incorpora mecanismos de participación equitativa y monitorización que son transferibles a sistemas de RA, siendo la sincronización un posible complemento más que una condición esencial del diseño (38). Los perfiles multimodales de comportamiento colaborativo identificados mediante análisis de aprendizaje permiten anticipar la dinámica de grupo y sustentar las funciones de alerta y reimplicación (42), mientras que los entornos híbridos que combinan actividad física y virtual mejoran el pensamiento reflexivo (43). Estos parámetros constituyen la entrada para los requisitos DR1–DR3 y DR11 en la Tabla 2.

Realidad aumentada: plataformas, arquitecturas e instrumentación

Las categorías 4 y 5 responden al tercer trimestre en su dimensión tecnológica. Vale la pena distinguir aquí, explícitamente, la evidencia según la plataforma. La evidencia específica de RA es consistente en dirección y crece en volumen: el metaanálisis de Baragash et al. —el único en el corpus centrado exclusivamente en AR— reporta efectos superiores a los de los métodos tradicionales para la adquisición de habilidades en personas con necesidades especiales —una población que incluye, pero no se limita a, TDAH— (57), un hallazgo corroborado en poblaciones con trastorno del espectro autista (66); múltiples intervenciones validan la RA para el TDAH en la lectura (60, 61), cognitiva (10, 11) y en contextos de juegos serios con captura de movimiento, donde se reportan mejoras en tolerancia a la frustración, atención y tiempos de ejecución (62); y la

comparación empírica entre entornos de escritorio, VR y AR muestra un equilibrio entre precisión de medición —más alta en entornos de escritorio— e inmersión —más alta en VR— que sitúa la RA en un punto intermedio del continuo de virtualidad (12); Esta posición intermedia, que combina el anclaje al entorno físico con un grado moderado de inmersión, respalda su relevancia para contextos escolares en los que la necesidad de datos fiables coexiste con la necesidad de mantener el compromiso estudiantil.

Sin embargo, esta evidencia de RA es predominantemente cualitativa, piloto o cuasi-experimental, con muestras pequeñas. El detalle de estas intervenciones nativas de RA permite especificar su contribución: el programa de alfabetización aumentada evaluado por Tosto et al. (60) aplicó AR a material de lectura impreso con niños con TDAH, reportando efectos sobre la motivación y el compromiso en lugar de resultados académicos estandarizados; el proyecto AHA (61) implementó una intervención basada en evidencia para lectura y ortografía en la misma población, confirmando su viabilidad en entornos escolares reales; la propuesta tangible de RA de Wang y Hsu (10) empleó bloques físicos aumentados, demostrando que anclarse a objetos manipulables es técnicamente factible con esta población; y el juego serio de RA con captura de movimiento de Avila-Pesantez et al. (62) reportó mejoras en la atención sostenida, los tiempos de ejecución y la tolerancia a la frustración durante la tarea. En el contexto latinoamericano, la intervención de Lancheros-Cuesta y Mogollón (11) documenta mejoras atencionales y una alta aceptación docente en entornos educativos colombianos. En conjunto, este cuerpo de trabajo muestra que la RA tiene su propia evidencia de viabilidad y efecto en el TDAH, aunque con diseños de menor potencia estadística que los disponibles para la RV.

La evidencia cuantitativa de mayor magnitud proviene de plataformas adyacentes y debe interpretarse como un límite superior de la dimensión inmersiva, no como una estimación directa del efecto de la RA. El metaanálisis con la mayor muestra disponible sobre intervenciones digitales en niños y adolescentes con TDAH (25 ECA, $n = 1780$) establece $SMD = -0,33$ como el efecto global sobre la sintomatología, con mayor magnitud en programas de ocho semanas o más (53), un parámetro corroborado por la revisión más reciente sobre VR (65). El techo de efectividad de la dimensión inmersiva está establecido por el metaanálisis de VR con $d = -1,05$ sobre atención sostenida (64). La retroalimentación inmediata y la adaptación a la dificultad constituyen características relevantes de los juegos serios para niños con TDAH, ya que contribuyen a mantener la atención, la motivación y la personalización de la intervención (31, 54), y la evidencia neurobiológica del EEG documenta mejoras en marcadores de atención sostenida (49). El hecho de que la RA comparta con la RV los mecanismos de inmersión, novedad y estimulación multisensorial (51, 52) hace plausible la transferencia de estas magnitudes —pero no lo garantiza— lo que refuerza la necesidad de estudios primarios de RA para verificarlas.

Desde el punto de vista arquitectónico e instrumental, el corpus proporciona modelos concretos. El sistema REEFocus propone una arquitectura de juego VR/AR con monitorización remota del progreso para el tratamiento no farmacológico del TDAH (67). El sistema asimétrico de realidad mixta de Pan et al. proporciona a los profesores datos en tiempo real de los estudiantes para apoyar la toma de decisiones pedagógicas, definiendo un patrón de monitorización con vistas diferenciadas por roles (70). En el campo específico de la RA para el TDAH, el proyecto AHA integra objetos de RA con una aplicación de monitorización web, generando un servicio compartido

que permite a padres, profesores y profesionales seguir el comportamiento del niño durante las actividades (61). La revisión de aplicaciones colaborativas de RA multiusuario en educación primaria y secundaria consolida patrones de diseño de visualización compartida, roles y sincronización (14). En cuanto a la instrumentación de medición, el corpus documenta el uso de la Prueba D2 con una reducción de errores de comisión en juegos serios (46), escalas clínicas validadas en ECA de terapia digital (48), seguimiento ocular como medida objetiva de fijación atencional (56), marcadores EEG (49) y protocolos de neurofeedback con NIRS en un aula virtual (63). Estos elementos sustentan los requisitos DR5–DR9 en la Tabla 2.

La intersección entre colaboración, RA y TDAH

La Categoría 6 documenta el estado de la intersección deseada. El ensayo controlado aleatorizado de tres brazos de Wong et al. (n = 90) combina la RV con entrenamiento en habilidades sociales para el TDAH, mostrando mejoras en la interacción social y la regulación emocional, pero sin la RA como mediador de la colaboración (15). El marco ITCL (aprendizaje colaborativo inmersivo apoyado por tecnología) articula las dimensiones del contexto pedagógico, los agentes humanos y la mediación tecnológica, ofreciendo la base teórica más sólida para diseñar RA colaborativa (72). El estudio con libros ilustrados de RA de Yang et al. (68), realizado con 40 niños de entre 9 y 11 años, proporciona apoyo empírico para el diseño de interacción multisensorial basado en RA en educación especial y muestra que la carga cognitiva ejerce un efecto moderador negativo sobre la vía que vincula la atención con la regulación emocional, con patrones divergentes entre niños con y sin TDAH; las revisiones de entornos inmersivos para educación especial identifican las condiciones de implementación que maximizan los beneficios (69, 71). La revisión sistemática de la RA en el aprendizaje colaborativo, publicada en 2025, converge con este diagnóstico desde el lado educativo general: la colaboración se implementa mayormente en configuraciones básicas sin estructura de procesos, y no existen instrumentos consolidados para evaluarla (13). La revisión narrativa más reciente sobre intervenciones de RA y RV para comportamientos sociales en el TDAH confirma que la evidencia sigue fragmentada (16). En conjunto, dentro del corpus recuperado a través de la estrategia de búsqueda descrita, no se identificó ningún estudio que integre explícita y simultáneamente estrategias colaborativas estructuradas, la RA como tecnología mediadora y el TDAH como población de validación. De esta observación se deduce una matización necesaria para la interpretación de los resultados: la evidencia disponible sobre la RA proviene de aplicaciones individuales o de poblaciones más amplias que el TDAH, y por tanto no constituye una demostración de la eficacia de los sistemas colaborativos de RA diseñados específicamente para esta población. Es precisamente esa ausencia la que define la brecha y motiva formular los hallazgos como requisitos de diseño verificables y no como conclusiones sobre la eficacia.

Requisitos de diseño derivados de la evidencia

En respuesta a la Q4, la Tabla 2 consolida doce requisitos de diseño (DR1–DR12) derivados de la síntesis anterior. Cada requisito es rastreable hasta las fuentes que lo soportan, distingue su naturaleza (proceso colaborativo, requisito funcional del sistema o requisito no funcional) y se formula de manera verificable, de modo que pueda incorporarse directamente a la especificación de requisitos de un sistema colaborativo de RA para niños con TDAH. En cuanto al origen de la



evidencia por plataforma, debe señalarse que los requisitos derivados en parte de estudios de VR (DR4, duración del programa; DR9, instrumentación de medición; DR12, tolerancia a la frustración) corresponden a aspectos independientes de la modalidad de renderizado —parámetros temporales, sensores y mecánicas de juego— de modo que su transferencia a la RA es defendible; en cambio, los requisitos específicos de la plataforma (DR8, anclaje al entorno físico) se basan en evidencia comparativa directa entre RA y VR (12) y en intervenciones nativas de RA (10). Esta tabla constituye la contribución central de ingeniería de la revisión: convierte hallazgos clínicos y educativos heterogéneos en insumos accionables para el diseño y validación de software.

Tabla 2. Requisitos de diseño (DR1–DR12) derivados de la evidencia, con trazabilidad a las fuentes. Fuente: preparada por los autores.

ID	Requisitos de diseño	Naturaleza	Pruebas que lo respaldan
DR1	El sistema debe permitir configurar el tamaño del grupo según la tarea, favoreciendo a los grupos pequeños cuando el objetivo es maximizar la participación individual y el apoyo entre iguales.	Proceso colaborativo	El tamaño de los grupos modera la relación entre apoyo entre iguales y compromiso (44); la herramienta CCCuento opera con grupos de cuatro participantes y con interdependencias positivas en un contexto escolar (38).
DR2	El sistema debe apoyar la asignación explícita de roles y mecanismos para una participación equitativa en la actividad.	Proceso / Funcional	Elementos que estructuran y apoyan experiencias colaborativas: metas compartidas, roles, retroalimentación, andamiaje y reflexión (45); roles y revisión por pares (39); participación equitativa y seguimiento en herramientas colaborativas (38).
DR3	El sistema debe proporcionar retroalimentación adaptativa en tiempo real ajustada al rendimiento del niño.	Funcional	La retroalimentación inmediata y la adaptación de la dificultad contribuyen a mantener la atención, la motivación y la personalización de la intervención (54).
DR4	El sistema debe apoyar programas de intervención de al menos ocho semanas, con persistencia de datos y gestión longitudinal de las sesiones.	Funcional / No funcional	Mayor efecto en los programas ≥ 8 semanas (53, 65); beneficios sostenidos a las 6 semanas en control ejecutivo (52).



ID	Requisitos de diseño	Naturaleza	Pruebas que lo respaldan
DR5	La experiencia de RA debe ser multiusuario, con visualización compartida y sincronía entre los participantes.	Funcional	Patrones colaborativos de RA multiusuario: visualización compartida, roles, sincronicidad (14).
DR6	El sistema debe incluir un módulo de monitorización asimétrica que proporcione al profesor o terapeuta datos de rendimiento en tiempo real, con vistas diferenciadas por roles.	Funcional (arquitectura)	Realidad mixta asimétrica con apoyo a la toma de decisiones del profesorado (70); el sistema AHA integra un servicio web que permite a padres, profesores y profesionales monitorizar el comportamiento del niño durante las actividades de RA (61).
DR7	La arquitectura debe permitir el registro y la monitorización remota del progreso de la intervención.	Funcional (arquitectura)	arquitectura VR/AR con monitorización remota para TDAH (67); integración de AR con una aplicación web para monitorización de TDAH en el proyecto AHA (61).
DR8	La interacción debe estar anclada al entorno físico (AR basado en marcadores u objetos tangibles) para reducir la carga técnica y facilitar la integración en las escuelas.	Funcional / Restricción	AR en una posición intermedia del continuo de virtualidad, con anclaje al entorno físico (12); AR tangible en TDAH (10).
DR9	El sistema debe registrar métricas de sesión y ser compatible con instrumentos estandarizados de medición de atención (Prueba D2, CPT) y, opcionalmente, con sensores objetivos (seguimiento ocular, EEG).	Funcional / No funcional	Test D2 en juegos serios (46); escalas clínicas en terapia digital (48); seguimiento ocular (56); marcadores EEG (49); vigilancia atencional con CPT (59).
DR10	El diseño sensorial debe estar controlado para mantener la atención sin inducir sobrecarga cognitiva en las actividades grupales.	No funcional	La carga cognitiva modera negativamente la vía de atención-regulación emocional en la RA multisensorial para TDAH (68); riesgo de sobrecarga cognitiva en RA colaborativa (13).



ID	Requisitos de diseño	Naturaleza	Pruebas que lo respaldan
DR11	El proceso de desarrollo debe incorporar a familias y terapeutas como actores activos en el diseño y la validación.	Proceso de ingeniería	La implicación de la familia mejora la eficacia y la transferencia de habilidades (35); la colaboración escuela-hogar con beneficios sostenidos (37); el sistema AHA fue diseñado como un espacio compartido para padres, profesores y expertos cercanos al niño (61).
DR12	La mecánica del juego debe fomentar la frustración, la tolerancia y el control emocional como variable de diseño.	Funcional / No funcional	Mejora en la tolerancia a la frustración, atención y tiempos de ejecución en juegos serios de RA con captura de movimiento para TDAH (62); mejoras en la regulación emocional con entrenamiento social inmersivo (15).

Discusión

Los resultados descritos anteriormente admiten una lectura conjunta en tres líneas. Primero, la dimensión colaborativa muestra un efecto consistente en la atención en niños con TDAH, de magnitud moderada y estable en intervenciones escolares y digitales, lo que favorece el tratamiento de la colaboración como un mecanismo de diseño más que como una característica accesoria de la actividad. Segundo, la dimensión inmersiva muestra una base de evidencia asimétrica: la RA acumula evidencia de viabilidad y efecto en esta población, pero mediante diseños de poder estadístico limitado, mientras que las mayores magnitudes de efecto provienen de la VR, una plataforma que reemplaza en lugar de preservar el entorno físico. Tercero, las dos dimensiones se han investigado en paralelo en lugar de conjuntamente, de modo que los parámetros del proceso colaborativo y las posibilidades de la RA no se han combinado dentro de un sistema único evaluado con esta población. Esta configuración de la evidencia justifica expresar la síntesis como requisitos de diseño: cada requisito agrega hallazgos que están respaldados individualmente pero cuyo efecto combinado aún no ha sido medido, y por tanto se formula para ser verificado y no asumido.

Carencia de investigación, certeza de la evidencia y alcance

El hallazgo transversal de la revisión es que la combinación explícita de estrategias colaborativas estructuradas, RA y TDAH sigue siendo una carencia de investigación incluso en la literatura más reciente del periodo revisado (13, 14, 15, 16, 72). En función del diseño, tamaño de la muestra y consistencia de los hallazgos de los estudios en cada grupo, la certeza de la evidencia puede



caracterizarse por categoría: la evidencia sobre intervenciones digitales e inmersivas en TDAH (categorías 4 y 5) es de certeza moderada, respaldada por múltiples metaanálisis con muestras grandes (53, 59, 64); la evidencia sobre estrategias colaborativas aplicadas al TDAH (categoría 2) es de certeza moderada, sostenida por ensayos controlados (36, 37) y un metaanálisis reciente (34); y la evidencia sobre la intersección completa (categoría 6) es de baja a muy baja certeza, con estudios escasos, muestras pequeñas y diseños predominantemente no aleatorizados.

Como en cualquier revisión de un campo emergente, este trabajo tiene un alcance limitado que debe hacerse explícito: (a) la búsqueda se restringió a publicaciones en inglés y español; (b) dado que se basa en literatura revisada por pares, existe el riesgo de sesgo de publicación, dado que es más probable que se publiquen resultados positivos; (c) la heterogeneidad metodológica del corpus impide el metaanálisis cuantitativo y limita la comparabilidad directa entre estudios, razón por la cual se adoptó una síntesis narrativa estructurada conforme a SWiM; y (d) existe una asimetría de plataforma en la evidencia cuantitativa: los tamaños de efecto metaanalíticos de la dimensión inmersiva provienen principalmente de estudios de VR (59, 64), y su transferencia a la RA no puede asumirse sin verificación empírica, que es precisamente una de las razones por las que se requieren estudios primarios controlados de RA colaborativo, como el que sustenta esta revisión. Estos límites limitan la generalización de los hallazgos clínicos, pero no afectan a la derivación de los requisitos: cada DR en la Tabla 2 es rastreable hasta fuentes verificables y está formulado para ser probado empíricamente durante la validación del sistema que lo implementa.

Conclusiones

Las estrategias colaborativas tienen un impacto significativo y constante en la mejora de la atención en niños con TDAH, con un tamaño de efecto moderado ($d = -0,33$) según la evidencia metaanalítica más reciente (34, 53). La RA se sitúa en un punto intermedio del continuo escritorio–RV, combinando anclaje físico con inmersión moderada, lo que respalda su relevancia para entornos escolares (12), con su propia evidencia consistente en dirección —superioridad metaanalítica en poblaciones con necesidades especiales (57) e intervenciones validadas en lectura, cognición y juego— aunque predominantemente cualitativas y de naturaleza piloto; La RV, incluida como evidencia adyacente, establece el límite superior de la dimensión inmersiva con $d = -1,05$ en la atención sostenida (64, 65), una magnitud cuya transferencia a la RA debe verificarse empíricamente. La contribución central de esta revisión, frente a las revisiones de efectividad existentes, es la traducción de esa evidencia en doce requisitos de diseño verificables y rastreables (DR1–DR12) que abarcan el proceso colaborativo (dimensionamiento del grupo según la tarea, roles, implicación de familias y terapeutas), la arquitectura del sistema (multiusuario con visualización compartida, monitorización asimétrica basada en roles, monitorización remota, persistencia longitudinal) y la instrumentación de medición (métricas de sesión, compatibilidad con la prueba D2 y CPT, sensores objetivos). Estos tres resultados provienen de cuerpos de evidencia evaluados por separado —intervenciones colaborativas sin AR, predominantemente aplicaciones individuales de RA y sistemas de RV— de modo que su convergencia apoya la formulación de requisitos de diseño, no una estimación de la eficacia de los sistemas colaborativos de RA para niños con TDAH, cuya verificación empírica sigue pendiente.

La intersección entre la ingeniería colaborativa, la RA y el TDAH constituye una brecha abierta en la investigación: los estudios más cercanos abordan solo dos de los tres componentes (14, 15, 72). El marco ITCL (72), los principios de la ingeniería colaborativa (4, 5) y los requisitos derivados aquí proporcionan la base para cerrarlo.

La investigación futura debería avanzar en tres direcciones: (1) diseñar y validar aplicaciones de RA que implementen los requisitos DR1–DR12 en estudios con grupos de comparación aleatorizados y muestras de $n \geq 30$; (2) adoptar instrumentos estandarizados de medición neuropsicológica complementados con medidas objetivas de comportamiento durante el uso de RA; y (3) analizar el componente colaborativo como variable moderadora del efecto de la RA, separando la contribución específica de la dimensión colectiva del efecto general de la tecnología inmersiva. Los requisitos derivados sustentan directamente el desarrollo de la aplicación colaborativa de RA propuesta como producto tecnológico central de la tesis “Estrategias colaborativas para mejorar la atención en niños con TDAH mediante realidad aumentada”, máster en Informática, Universidad del Cauca. Para avanzar en esta dirección, los requisitos de DR1–DR12 derivados en este trabajo se están implementando actualmente en NeuroRuta, una aplicación colaborativa de RA desarrollada dentro de la investigación que enmarca esta revisión, cuyo proceso empírico de validación contempla la medición de la atención mediante instrumentos estandarizados y el registro automático de las métricas de sesión durante la interacción. Este desarrollo permitirá probar empíricamente los requisitos aquí propuestos y proporcionar la evidencia primaria sobre la RA colaborativa cuya ausencia constituye la brecha identificada, cerrando el ciclo entre la derivación de requisitos a partir de la literatura y su verificación en un sistema real.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: J. S. Hurtado Campo, C. A. Collazos Ordoñez; Curación de datos: J. S. Hurtado Campo; Análisis formal: J. S. Hurtado Campo; Adquisición de financiación: J. S. Hurtado Campo; Investigación: J. S. Hurtado Campo; Metodología: J. S. Hurtado Campo, C. A. Collazos Ordoñez; Administración del proyecto: J. S. Hurtado Campo; Supervisión: C. A. Collazos Ordoñez; Validación: C. A. Collazos Ordoñez; Visualización: J. S. Hurtado Campo; Guion – borrador original: J. S. Hurtado Campo; Redacción – revisión y edición: C. A. Collazos Ordoñez, J. S. Hurtado Campo.

Financiación

This research is funded by COLFUTURO, for master’s and doctoral programmes, through the call “Formación de capital humano de alto nivel para promover el liderazgo social y comunitario y afrontar la Cuarta Revolución Industrial en el departamento del Cauca (4RI)”.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés en la redacción o publicación de este artículo.

Implicaciones éticas

Los autores no tienen implicaciones éticas que declarar en la redacción y publicación de este artículo. El estudio es una revisión sistemática de la literatura publicada y no implicó intervención con personas ni el manejo de datos personales o sensibles.

Disponibilidad de datos

La caracterización individual de los estudios incluidos se proporciona como material complementario en formato de hoja de cálculo; los formularios de extracción están disponibles a petición del autor correspondiente.

References

(1) Coghill D, Banaschewski T, Cortese S, Asherson P, Brandeis D, Buitelaar J, et al. The management of ADHD in children and adolescents: bringing evidence to the clinic: perspective from the European ADHD Guidelines Group (EAGG). *Eur Child Adolesc Psychiatry*. 2023;32(8):1337-1361.

<https://doi.org/10.1007/s00787-021-01871-x>

(2) Wanni Arachchige Dona S, Badloe N, Sciberras E, Gold L, Coghill D, Le HND. The impact of childhood ADHD on children's health-related quality of life: a systematic review and meta-analysis. *J Atten Disord*. 2023;27(6):598-611.

<https://doi.org/10.1177/10870547231155438>

(3) Groom MJ, Hall CL. The impacts associated with having ADHD: an umbrella review. *Front Psychiatry*. 2024;15:1343314.

<https://doi.org/10.3389/fpsyt.2024.1343314>

(4) Briggs RO, de Vreede GJ, Nunamaker JF Jr. Collaboration engineering with thinkLets to pursue sustained success with group support systems. *J Manag Inf Syst*. 2003;19(4):31-64.

<https://doi.org/10.1080/07421222.2003.11045743>

(5) Kolfschoten GL, de Vreede GJ. A design approach for collaboration processes: a multimethod design science study in collaboration engineering. *J Manag Inf Syst*. 2009;26(1):225-256.

<https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222260109>

(6) Ogosi Auqui JA, Aguirre Rodríguez CE, Arenas Ñiquin JL, et al. Analysis of the impact of augmented reality on learning in times of pandemic. In: Larrondo Petrie MM, Texier J, Matta RAR, editors. *Proceedings of the 21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*; 2023 jul 17-21; Buenos Aires, Argentina.

<https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.1333>

(7) Kamińska D, Zwoliński G, Laska-Leśniewicz A, Raposo R, Vairinhos M, Pereira E, et al. Augmented reality: current and new trends in education. *Electronics*. 2023;12(16):3531.

<https://doi.org/10.3390/electronics12163531>

(8) Koumpouros Y. Revealing the true potential and prospects of augmented reality in education. *Smart Learn Environ*. 2024;11(1):2.

<https://doi.org/10.1186/s40561-023-00288-0>

(9) Sun J, Anderson RC, Lin TJ, Morris JA, Miller BW, Ma S, et al. Children's engagement during collaborative learning and direct instruction through the lens of participant structure. *Contemp Educ Psychol*. 2022;69:102061.

<https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2022.102061>

(10) Wang PH, Hsu T. Application of amplified reality to the cognitive effect of children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) - an example of Italian Chicco-app interactive building blocks. In: *Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention (ICKII)*; 2018. p. 301-302.

<https://doi.org/10.1109/ICKII.2018.8569170>

(11) Lancheros-Cuesta D, Mogollon JDO. Augmented reality as support in attention deficit in children. In: *Proceedings of the 18th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*; 2023. p. 1-7.

<https://doi.org/10.23919/CISTI58278.2023.10212024>

(12) Panagiotidis-Arrizabalaga A, Teruel MA, Lavallo A, Trujillo J, Navarro E, González P. Comparing desktop, virtual and augmented reality gaming environments for ADHD attention measurement. *Int J Hum-Comput Interact*. 2025 (publicado online).

<https://doi.org/10.1080/10447318.2025.2581259>

(13) Kazlaris GC, Keramopoulos E, Bratsas C, Kokkonis G. Augmented reality in education through collaborative learning: a systematic literature review. *Multimodal Technol Interact*. 2025;9(9):94.

<https://doi.org/10.3390/mti9090094>

(14) Masneri S, Domínguez A, Zorrilla M, Larrañaga M, Arruarte A. Interactive, collaborative and multi-user augmented reality applications in primary and secondary education: a systematic review. *J Univ Comput Sci*. 2022;28(6):564-590.

<https://doi.org/10.3897/jucs.76535>

(15) Wong KP, Zhang B, Lai CYY, Xie YJ, Li Y, Li C, et al. Empowering social growth through VR-based intervention for children with ADHD: a three-arm randomized controlled trial. *JMIR Serious Games*. 2024;12:e58963.

<https://doi.org/10.2196/58963>

(16) Yalçın H, Sarp N. Effects of augmented and virtual reality-based interventions on social behaviors in children with ADHD: a narrative systematic review. *Front Virtual Real*. 2026;7:1737227.

<https://doi.org/10.3389/frvir.2026.1737227>

(17) Azuma RT. A survey of augmented reality. *Presence Teleoper Virtual Environ*. 1997;6(4):355-385.

<https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>

(18) Milgram P, Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans Inf Syst*. 1994;E77-D(12):1321-1329.

(19) Posner MI, Petersen SE. The attention system of the human brain. *Annu Rev Neurosci*. 1990;13:25-42.

<https://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.000325>

(20) Petersen SE, Posner MI. The attention system of the human brain: 20 years after. *Annu Rev Neurosci*. 2012;35:73-89.

<https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062111-150525>

(21) Roschelle J, Teasley SD. The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. In: O'Malley C, editor. Computer Supported Collaborative Learning. NATO ASI Series, vol 128. Berlin: Springer; 1995. p. 69-97.

(22) ISO/IEC/IEEE 29148:2018. Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering. 2nd ed. Geneva: ISO; 2018.

(23) Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. PLoS Med. 2009;6(7):e1000097.

<https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

(24) Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ. 2021;372:n71.

<https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

(25) Kitchenham B, Brereton OP, Budgen D, Turner M, Bailey J, Linkman S. Systematic literature reviews in software engineering - A systematic literature review. Inf Softw Technol. 2009;51(1):7-15.

<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>

(26) Campbell M, McKenzie JE, Sowden A, Katikireddi SV, Brennan SE, Ellis S, et al. Synthesis without meta-analysis (SWiM) in systematic reviews: reporting guideline. BMJ. 2020;368:l6890.

<https://doi.org/10.1136/bmj.l6890>

(27) Ozyurt H, Ozyurt O. Decoding educational augmented reality research trends: a topic modeling analysis. Educ Inf Technol. 2025;30(1):57-87

<https://doi.org/10.1007/s10639-024-12943-1>

(28) Critical Appraisal Skills Programme (CASP). CASP Checklists. Oxford: CASP UK; 2018. Available from: <https://casp-uk.net/casp-tools-checklists/>

(29) Sadozai H, Ahmad N, Haider S. Evaluating attention deficit and hyperactivity disorder (ADHD): a review of current methods and issues. Front Psychol. 2025;16:1466088.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1466088>

(30) Re AM, Capodiecici A, Cornoldi C. Effect of training focused on executive functions (attention, inhibition, and working memory) in preschoolers exhibiting ADHD symptoms. Front Psychol. 2015;6:1161.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01161>

(31) Oh S, Choi J, Han DH, Kim E. Effects of game-based digital therapeutics on attention deficit hyperactivity disorder in children and adolescents as assessed by parents or teachers: a systematic review and meta-analysis. Eur Child Adolesc Psychiatry. 2024;33(2):481-493.

<https://doi.org/10.1007/s00787-023-02174-z>

(32) Ramsay SL. Parent-teacher collaboration for the development of strategies to support the emotional well-being of Foundation Phase learners with ADHD [doctoral dissertation]. Potchefstroom: North-West University; 2022. Available from:

<https://repository.nwu.ac.za/handle/10394/39476>

(33) Marquet-Doléac J, Biotteau M, Chaix Y. Behavioral parent training for school-aged children with ADHD: a systematic review of randomized control trials. *J Atten Disord*. 2024;28(3):377-393.

<https://doi.org/10.1177/10870547231211595>

(34) Yegencik M, Bell A, Deniz C. School-based randomized controlled trials for ADHD and accompanying impairments: a systematic review and meta-analysis. *Front Psychol*. 2025;16:1611145.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1611145>

(35) Chacko A, Merrill BM, Kofler MJ, Fabiano GA. Improving the efficacy and effectiveness of evidence-based psychosocial interventions for attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) in children and adolescents. *Transl Psychiatry*. 2024;14(1):244.

<https://doi.org/10.1038/s41398-024-02890-3>

(36) Silverstein M, Hironaka LK, Walter HJ, Feinberg E, Sandler J, Pellicer M, et al. Collaborative care for children with ADHD symptoms: a randomized comparative effectiveness trial. *Pediatrics*. 2015;135(4):e858-e867.

<https://doi.org/10.1542/peds.2014-3221>

(37) Pfiffner LJ, Rooney ME, Jiang Y, Haack LM, Beaulieu A, McBurnett K. Sustained effects of collaborative school-home intervention for ADHD symptoms and impairment. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*. 2018;57(4):245-251.

<https://doi.org/10.1016/j.jaac.2018.01.016>

(38) Guerrero LA, Mejías B, Collazos CA, Pino JA, Ochoa SF. Collaborative learning and creative writing. In: *Proceedings of the 1st Latin American Web Congress*; 2003. p. 180-186.

<https://doi.org/10.1109/LAWEB.2003.1250295>

(39) Revelo-Sánchez O, Collazos-Ordóñez CA, Jiménez-Toledo JA. El trabajo colaborativo como estrategia didáctica para la enseñanza/aprendizaje de la programación: una revisión sistemática de literatura [Collaborative work as a didactic strategy for teaching/learning programming: a systematic literature review]. Spanish. *TecnoLógicas*. 2018;21(41):115-134.

<https://doi.org/10.22430/22565337.731>

(40) Menacho López LA. Estrategias colaborativas: aprendizaje compartido para el desarrollo de la comprensión lectora en estudiantes de educación primaria [Collaborative strategies: shared learning for the development of reading comprehension in primary school students]. Spanish. *Praxis Educativa*. 2021;25(3):1-16.

<https://doi.org/10.19137/praxiseducativa-2021-250314>

(41) Pires EMSG, Daniel-Filho DA, de Nooijer J, Dolmans DH. Collaborative learning: elements encouraging and hindering deep approach to learning. *Med Teach*. 2020;42(11):1261-1269.

<https://doi.org/10.1080/0142159X.2020.1801996>

(42) Nasir J, Kothiyal A, Bruno B, Dillenbourg P. Many are the ways to learn: identifying multi-modal behavioral profiles of collaborative learning. *Int J Comput-Support Collab Learn*. 2021;16(4):485-523.

<https://doi.org/10.1007/s11412-021-09358-2>

(43) Echeverry-Arcila CP, Quintero-Vergara H, Gutiérrez-Giraldo MC. Estrategias pedagógicas colaborativas en las prácticas escolares en educación básica [Collaborative pedagogical strategies

in school practices in basic education]. Spanish. *Rev Latinoam Estud Educ*. 2017;13(1):83-104.

<https://doi.org/10.17151/rlee.2017.13.1.5>

(44) Li H. Impact of collaborative learning on student engagement: mediating effect of peer support and moderating role of group size. *Front Psychol*. 2025;16:1525192.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1525192>

(45) Burns S, Yu E, Brathwaite L, Masum M, White L, Dhuey E, et al. Improving young children's peer collaboration in early educational settings: a systematic review. *Rev Educ*. 2024;12(2):e3484.

<https://doi.org/10.1002/rev3.3484>

(46) Gallardo Vergara R, Monserrat Gallardo M. Serious games to improve attention in boys and girls with ADHD: a pilot study. *Acta Colomb Psicol*. 2023;26(2):33-49.

<https://doi.org/10.14718/ACP.2023.26.2.4>

(47) Rivas P. Using project-based learning and technology to promote collaboration and problem-solving in elementary-aged students: a case study of an after-school program [doctoral dissertation]. Houston: University of Houston; 2021.

(48) Kim SC, Lee H, Lee HS, Kim G, Song JH. Adjuvant therapy for attention in children with ADHD using game-type digital therapy. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(22):14982.

<https://doi.org/10.3390/ijerph192214982>

(49) Gallen CL, Anguera JA, Gerdes MR, Simon AJ, Cañadas E, Marco EJ. Enhancing neural markers of attention in children with ADHD using a digital therapeutic. *PLoS ONE*. 2021;16(12):e0261981.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261981>

(50) He F, Qi Y, Zhou Y, Cao A, Yue X, Fang S, et al. Meta-analysis of the efficacy of digital therapies in children with attention-deficit hyperactivity disorder. *Front Psychiatry*. 2023;14:1054831.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1054831>

(51) Doulou A, Drigas A. Electronic, VR & augmented reality games for intervention in ADHD. *Technium Soc Sci J*. 2022;28:159-169.

<https://doi.org/10.47577/tssj.v28i1.5728>

(52) Shema-Shiratzky S, Brozgol M, Cornejo-Thumm P, Geva-Dayana K, Rotstein M, Leitner Y, et al. Virtual reality training to enhance behavior and cognitive function among children with attention-deficit hyperactivity disorder: brief report. *Dev Neurorehabil*. 2019;22(6):431-436.

<https://doi.org/10.1080/17518423.2018.1476602>

(53) Liu X, Yang Y, Ye Z, Wang F, Zeng K, Sun Y, et al. The effect of digital interventions on attention deficit hyperactivity disorder (ADHD): a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Affect Disord*. 2024;365:563-577.

<https://doi.org/10.1016/j.jad.2024.08.156>

(54) Lin J, Chang WR. Effectiveness of serious games as digital therapeutics for enhancing the abilities of children with attention-deficit/hyperactivity disorder: systematic literature review. *JMIR Serious Games*. 2025;13:e60937.

<https://doi.org/10.2196/60937>

(55) Doulou A, Pergantis P, Drigas A, Skianis C. Managing ADHD symptoms through technology-driven serious games: systematic review. *Multimodal Technol Interact*. 2025;9(1):8.

<https://doi.org/10.3390/mti9010008>

(56) Razzak R, Li Y, He J, Jung S, Mei C, Huang Y. Using virtual reality to enhance attention for autistic spectrum disorder with eye tracking. *High-Confid Comput.* 2025;5(1):100234.

<https://doi.org/10.1016/j.hcc.2024.100234>

(57) Baragash RS, Al-Samarraie H, Moody L, Zaqout F. Augmented reality and functional skills acquisition among individuals with special needs: a meta-analysis. *J Spec Educ Technol.* 2022;37(1):74-81.

<https://doi.org/10.1177/0162643420910413>

(58) Muršič S. Exploring the implementation of augmented reality in primary schools: research on engagement and experience of pupils associated with ADHD and their neurotypical peers in using augmented reality learning tools [doctoral dissertation]. Ormskirk: Edge Hill University; 2021.

(59) Romero-Ayuso D, Toledano-González A, Rodríguez-Martínez MC, Arroyo-Castillo P, Triviño-Juárez JM, González P, et al. Effectiveness of virtual reality-based interventions for children and adolescents with ADHD: a systematic review and meta-analysis. *Children.* 2021;8(2):70.

<https://doi.org/10.3390/children8020070>

(60) Tosto C, Hasegawa T, Mangina E, Chifari A, Treacy R, Merlo G, et al. Exploring the effect of an augmented reality literacy programme for reading and spelling difficulties in children diagnosed with ADHD. *Virtual Real.* 2021;25:879-894.

<https://doi.org/10.1007/s10055-020-00485-z>

(61) Chiazzese G, Mangina E, Chifari A, Merlo G, Treacy R, Tosto C. The AHA project: an evidence-based augmented reality intervention for the improvement of reading and spelling skills in children with ADHD. In: *Proceedings of the International Conference on Games and Learning Alliance*; 2018. p. 436-439.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-11548-7_44

(62) Avila-Pesantez D, Rivera LA, Vaca-Cardenas L, Aguayo S, Zuñiga L. Towards the improvement of ADHD children through augmented reality serious games: preliminary results. In: *Proceedings of the IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*; 2018. p. 843-848.

<https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363318>

(63) Blume F, Hudak J, Dresler T, Ehlis AC, Kühnhausen J, Renner TJ, et al. NIRS-based neurofeedback training in a virtual reality classroom for children with attention-deficit/hyperactivity disorder: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 2017;18(1):41.

<https://doi.org/10.1186/s13063-016-1769-3>

(64) Yu C, Wang C, Xie Q, Wang C. Effect of virtual reality technology on attention and motor ability in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: systematic review and meta-analysis. *JMIR Serious Games.* 2024;12:e56918.

<https://doi.org/10.2196/56918>

(65) Cao Y, Ma L, Liu N, Wang J, Walton C, Wang Y. Virtual reality interventions for attention deficit/hyperactivity disorder: a systematic review. *npj Digit Med.* 2026;9:303.

<https://doi.org/10.1038/s41746-026-02505-9>

(66) Fuentes C, Gómez S, De Stasio S, Berenguer C. Augmented reality and learning-cognitive outcomes in autism spectrum disorder: a systematic review. *Children.* 2025;12(4):493.

<https://doi.org/10.3390/children12040493>

(67) Thomopoulos SC, Kanellos T, Doulgerakis A, Georgiou E, Bessa M. REEFocus: a VR/AR mixed reality digital game system for non-medication treatment of ADHD and remote monitoring with data privacy and security by design: the FocusLocus approach. In: Proceedings of SPIE. Vol. 11020; 2019. p. 110200S.

<https://doi.org/10.1117/12.2518981>

(68) Yang R, Sun W, Liu X, Cao Y. Enhancing attention and emotion regulation in children with ADHD through AR digital picture books: a structural equation modeling approach. Front Psychol. 2026;16:1613728.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1613728>

(69) Ogwuegbu DA, Ajobiewe DN, Marlin AO. Leveraging immersive learning for special needs education. Int J Res Educ Sustain Dev. 2023;3(9):39-48.

(70) Pan X, Zheng M, Xu X, Campbell AG. Knowing your student: targeted teaching decision support through asymmetric mixed reality collaborative learning. IEEE Access. 2021;9:164742-164751.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3134589>

(71) Bashiri A, Ghazisaeedi M, Shahmoradi L. The opportunities of virtual reality in the rehabilitation of children with attention deficit hyperactivity disorder: a literature review. Korean J Pediatr. 2017;60(11):337-343.

<https://doi.org/10.3345/kjp.2017.60.11.337>

(72) Kang J, Xu X, Yan L. Leveraging affordances of immersive technology-supported collaborative learning (ITCL): a systematic review. Educ Inf Technol. 2025;30(1):607-647.

<https://doi.org/10.1007/s10639-024-13079-y>