

El impacto del aprendizaje asistido por tecnología en la educación no universitaria

ALMUDENA SEVILLA*, PILAR CUEVAS*, LUZ RELLO** E ISMAEL SANZ***

RESUMEN

Este artículo expone las principales conclusiones sobre el potencial del aprendizaje asistido por ordenador en la educación no universitaria. Del análisis de las investigaciones ya realizadas se desprende que una implementación cuidadosa y contextualizada de las herramientas tecnológicas que proporcione enseñanzas personalizadas y retroalimentación instantánea puede resultar muy efectiva para el aprendizaje de los estudiantes de materias tales como las matemáticas y la lengua. En esa dirección apunta la mayoría de los estudios sobre la efectividad de los programas de aprendizaje asistido por ordenador, si bien la evaluación del impacto de estos programas afronta dificultades y retos que obligan a dedicar más esfuerzos de investigación para alcanzar conclusiones más sólidas y generalizables.

1. INTRODUCCIÓN

Un 31 por ciento de los alumnos de la OCDE no alcanza el nivel mínimo de competen-

* London School of Economics (a.sevilla@lse.ac.uk; p.cuevas-ruiz@lse.ac.uk).

** Instituto de Empresa (luz.Rello@ie.edu).

*** Universidad Rey Juan Carlos, Funcas y London School of Economics (ismael.sanz@urjc.es).

cia en matemáticas, y un 26 por ciento, en lectura en la última prueba de PISA 2022. Tanto el alumnado español como el del conjunto de la OCDE de 15 años tenía, cuando se llevó a cabo esta prueba en 2022, un curso escolar menos de competencias en matemáticas y lectura que los estudiantes de esa misma edad en 2000. El análisis de tendencias de los resultados de PISA anteriores a 2018 también revela que el rendimiento comenzó a disminuir mucho antes de la pandemia (OCDE, 2023). Esta disminución es parte de una tendencia de declive constante en el rendimiento y demuestra la naturaleza prolongada de estos desafíos educativos. El uso de tecnologías en la educación y, en concreto, el empleo de programas de aprendizaje asistido por ordenador (CAL, por sus siglas en inglés, de *Computer Assisted Learning*) puede transformar la instrucción en el aula, abordando las limitaciones del sistema educativo tradicional, y ofrecer una enseñanza más personalizada y efectiva. El uso de tecnologías como los programas de CAL permite a los docentes gestionar mejor los diferentes niveles de aprendizaje dentro de una clase, proporcionando retroalimentación inmediata y adaptando el contenido a las capacidades individuales de los estudiantes. Según Escueta *et al.* (2020) y Abbey *et al.* (2024), los programas de CAL han demostrado ser particularmente efectivos en la enseñanza de matemáticas, donde la personalización y la retroalimentación instantánea son cruciales para el éxito académico.

Las investigaciones más recientes sobre el impacto de los programas de CAL en la educación muestran que, si bien los dispositivos tecnológicos por sí solos no garantizan mejoras en el rendimiento académico; su combinación con programas educativos específicos y apoyo pedagógico puede ser efectiva. No obstante, persisten varios desafíos que requieren atención, como la heterogeneidad de su efectividad por asignaturas. Aunque el CAL ha mostrado resultados positivos, no cabe excluir que ese efecto provenga del tiempo adicional que los estudiantes dedican a estos programas y que hubieran aprendido lo mismo si esas horas complementarias las hubieran dedicado a clases tradicionales. Se trata de determinar si el aprendizaje asistido por ordenador proporciona mejores resultados que la instrucción tradicional. La sostenibilidad del impacto es otra de las áreas que requiere de mayor análisis para comprobar si los beneficios del CAL se mantienen a largo plazo o si, como sugieren algunos estudios, su impacto se desvanece con el tiempo. La relación de la intensidad de uso del CAL y la existencia de rendimientos decrecientes a partir de algún umbral es otra área pendiente de explorar. Los estudios coinciden en atribuir al CAL un impacto positivo en el aprendizaje de matemáticas, pero su efecto en la lectura y la escritura no es tan claro, un aspecto que indica la necesidad de más investigación para determinar cómo influye en el aprendizaje de diferentes disciplinas y contextos educativos.

En este artículo, abordamos estos desafíos proponiendo vías de investigación futuras y discutiendo las implicaciones políticas. La correcta adopción y uso de tecnologías educativas no solo puede mejorar el rendimiento académico de los estudiantes, sino también contribuir a una educación más equitativa y de calidad. Es fundamental que las políticas educativas se diseñen para facilitar la integración efectiva de estas herramientas, asegurando que todos los estudiantes, independientemente de su contexto socioeconómico, puedan beneficiarse de las ventajas del aprendizaje asistido por ordenador.

El artículo está estructurado de la siguiente manera. En la segunda sección, presentamos un análisis detallado de las investigaciones publicadas sobre programas de CAL, destacando sus efectos sobre la educación del alumnado y los mecanismos subyacentes a estos efectos. En el tercer apartado, se analizan los desafíos pendientes de la literatura sobre el uso de CAL

en las aulas educativas. A continuación, en el cuarto apartado, examinamos estudios de caso concretos, como el programa *DyctectiveU* implementado en la Comunidad de Madrid, para ilustrar cómo las tecnologías educativas pueden integrarse efectivamente en el currículo escolar y superar algunas de las limitaciones tradicionales. Finalmente, discutimos las implicaciones políticas de estos hallazgos, subrayando la necesidad de medidas educativas que apoyen la implementación de tecnologías educativas basadas en la evidencia, que fomenten la personalización del aprendizaje y proporcionen el apoyo necesario a los docentes para maximizar los beneficios del CAL.

2. EL ESTADO DE LA CUESTIÓN RESPECTO AL USO DE LA TECNOLOGÍA EDUCATIVA

En los últimos años se ha producido una rápida expansión del uso de la tecnología educativa y la inversión en herramientas tecnológicas como ordenadores, *tablets*, teléfonos móviles e Internet para mejorar la calidad educativa. La revisión bibliográfica de Escueta *et al.* (2020) en *Journal of Economic Literature* analiza artículos rigurosos que proporcionan estimaciones precisas de los efectos causales de las intervenciones tecnológicas a través, por ejemplo, de ensayos controlados aleatorios (*RCT*, por sus siglas en inglés de *Randomized Controlled Trials*) y diseños de discontinuidad de regresión (*RDD*). Los autores enfocan la atención en el impacto de la tecnología en la educación centrándose en cuatro posibles intervenciones: a) el acceso a tecnología; b) el aprendizaje asistido por ordenador; c) los cursos en línea, y d) las intervenciones conductuales habilitadas por tecnología. En relación con la primera de las intervenciones tecnológicas, los autores muestran que la entrega de dispositivos tecnológicos, como ordenadores o *tablets*, no garantiza mejoras significativas en el rendimiento académico. Los dispositivos deben estar acompañados por programas educativos específicos y apoyo pedagógico para ser efectivos. En relación con el aprendizaje asistido por tecnología, los programas de CAL han demostrado ser particularmente efectivos en el aprendizaje de matemáticas, donde la enseñanza personalizada y la retroalimentación inmediata pueden mejorar el rendimiento de los estudiantes. En comparación, el impacto de los programas de CAL en áreas como lectura y

escritura es menos claro y requiere más investigación para determinar su efectividad. La tercera de las intervenciones, los cursos en línea y *MOOC (Massive Online Open Course)*, son instrumentos útiles para ampliar el acceso a la educación de calidad, pero se enfrentan a desafíos importantes como las altas tasas de abandono y el bajo compromiso promedio de los estudiantes. Escueta *et al.* (2020) señalan que la retención y el compromiso son críticos para el éxito de los cursos en línea, y se necesitan estrategias para aumentar la participación y finalización de este tipo de formación. Por último, las intervenciones conductuales habilitadas por tecnología, como estrategias de envío de recordatorios y mensajes para aumentar la motivación, han mostrado potencial para mejorar la asistencia y el rendimiento académico. Sin embargo, su efectividad varía según el diseño y la frecuencia de las intervenciones.

En definitiva, esta revisión bibliográfica destaca tanto las promesas como las limitaciones del papel de la tecnología en la educación. La clave para aprovechar al máximo la tecnología educativa radica en su implementación cuidadosa y contextualizada, que tenga en cuenta las necesidades específicas de los estudiantes y las capacidades de los docentes. El éxito de las intervenciones tecnológicas depende de la personalización y el apoyo adecuado a docentes y estudiantes. Las herramientas tecnológicas deben integrarse efectivamente en el currículo educativo para maximizar sus beneficios.

En nuestro artículo nos vamos a centrar en el segundo tipo de intervenciones de tecnología educativa señaladas, las que implican el aprendizaje asistido por ordenador (*CAL*). Para ello, mostramos el estado actual de la investigación sobre el impacto causal de los programas asistidos por ordenador y los mecanismos a través de los que se produce este efecto, así como los ámbitos que quedan por investigar. Los programas de *CAL* son efectivos en el aprendizaje de matemáticas debido a su capacidad para ofrecer enseñanza personalizada y retroalimentación instantánea. Se necesita, sin embargo, más investigación para entender mejor su impacto en otras áreas académicas. En la segunda sección de este artículo examinaremos las conclusiones de la literatura causal y más rigurosa sobre el uso de los programas de *CAL* en educación. En el tercer apartado analizaremos el empleo de estos programas de

aprendizaje asistido por ordenador en la materia específica de lectura. En el cuarto, enfocaremos la atención en un caso concreto, el del programa *DyctectiveU* de mejora de la competencia lectoescritura de alumnos de educación primaria implementado en los colegios de la Comunidad de Madrid desde el curso académico 2018-2019. La última sección mostrará las principales conclusiones del artículo.

2.1. Programas de aprendizaje asistido por ordenador (*CAL*)

Los programas de aprendizaje asistido por ordenador permiten una enseñanza personalizada, que sigue el ritmo de progreso de los estudiantes, con ejercicios y actividades que pueden realizarse varias veces, y que proporcionan tanto al propio alumno como al docente y al centro de información y retroalimentación instantánea sobre los aciertos y los errores. Los *softwares* de ayuda al aprendizaje pueden complementar el proceso de formación de habilidades al superar las limitaciones a las que se enfrentan los docentes, como la gestión de niveles de aprendizaje heterogéneos dentro de una clase. Además, algunos de estos programas son adaptativos, tienen la capacidad cada vez más sofisticada de aprovechar la inteligencia artificial para ofrecer contenido según la capacidad cognitiva de los usuarios y su progreso. Los programas de aprendizaje asistido por ordenador pueden ofrecer a los estudiantes retroalimentación individualizada y recopilar rápidamente datos sobre el desempeño de los estudiantes, lo que sería un desafío para cualquier docente debido a las limitaciones de tiempo. En su revisión bibliográfica, Escueta *et al.* (2020) examinan 31 experimentos aleatorios para proporcionar evidencia de causalidad sobre el impacto de programas asistidos por ordenador en el aprendizaje de los estudiantes. Muchos de los análisis sobre el impacto de los programas de *CAL* en el aprendizaje de matemáticas se centran, en concreto, en álgebra y en el nivel educativo de primaria. De los 31 estudios revisados, 21 muestran efectos positivos estadísticamente significativos, muchos de ellos estimados con precisión y de una magnitud relevante. La mayoría

(16 de 21) de los estudios que encontraron un impacto positivo se centraron en programas de matemáticas. Por el contrario, los autores solo identifican siete estudios exclusivamente dedicados a programas de lectura u ortografía.

El cuadro 1 resume, de entre todos los artículos revisados por Escueta *et al.* (2020), los cuatro que provienen de la literatura de economía de la educación y que no se centran exclusivamente en la asignatura de Lengua.

El cuadro 2 presenta un resumen de tres artículos posteriores a la revisión bibliográfica de Escueta *et al.* (2020) sobre el impacto del uso de programas de aprendizaje asistido por ordenador. Una de las preguntas que se ha planteado la investigación previa es la de si el uso de *software* mejora los resultados porque los estudiantes están dedicando más tiempo a aprender o por la propia herramienta digital. Es decir, podría ser que, si los alumnos tuvieran más horas de clases tradicionales, en lugar de

CUADRO 1

EVIDENCIA DE LOS ARTÍCULOS DE ECONOMÍA DE LA EDUCACIÓN REVISADOS POR ESCUETA ET AL. (2020)

Artículo	Intervención	Efecto	Muestra	Unidad de aleatorización
Dynarski <i>et al.</i> (2007)	16 tipos de <i>software</i> de matemáticas y lectura	No hay efecto significativo	33 distritos de EE. UU., 132 centros educativos, y 439 docentes. Distritos de bajo rendimiento promedio y elevada proporción de alumnos de entornos desfavorables	Docentes
Barrow <i>et al.</i> (2009)	<i>I can learn</i> , programa de aprendizaje natural e interactivo asistido por ordenador para álgebra	Impacto positivo en los resultados de las pruebas. Los efectos son más elevados para las clases de mayor tamaño, particularmente si hay niveles heterogéneos, y en clases con más absentismo	Ocho centros de secundaria y dos de enseñanza intermedia en tres distritos urbanos del noreste, Medio oeste y sur de EE. UU. con una proporción elevada de minorías. 1.605 estudiantes de 142 clases	Clase
Rockoff (2015)	Programa <i>School of one</i> de matemáticas para enseñanzas medias	No hay efecto significativo	Centros públicos en la ciudad de Nueva York. 5.070 estudiantes en ocho centros educativos	Centros educativos
Van Klaveren <i>et al.</i> (2017)	Programa de aprendizaje asistido por ordenador adaptativo comparado con uno estático (economía, biología, historia y lengua)	No hay efecto significativo	Centros de Secundaria de Holanda. 1.021 estudiantes	Estudiantes

Fuente: Escueta *et al.* (2020)

más empleo de herramientas digitales, también mejoraran su rendimiento académico. Büchel *et al.* (2022) examinan la eficacia relativa de un programa de aprendizaje asistido por ordenador disponible gratuitamente. Para distinguir entre los efectos de la enseñanza adicional y el uso del *software*, el experimento aleatorio controlado (RCT) presenta tres tratamientos que no interfirieron con lecciones regulares. El primer tratamiento (40 clases) comprende lecciones adicionales y tradicionales (sin uso de *software* y en horario extraescolar) de matemáticas impartidas por un docente. En el segundo y tercer tratamiento se emplea, también en horario extraescolar, un programa de aprendizaje de matemáticas asistido por ordenador. El segundo grupo es monitorizado por técnicos (39 clases), mientras que el tercero es supervisado por docentes (otras 39 clases). Cada uno de los tres tratamientos constaba de dos lecciones de matemáticas de 90 minutos por semana durante un período de seis meses, lo que significa que el número de clases de esta asignatura que reciben los alumnos tratados casi se duplica durante el programa. Además, hay dos grupos de control: a) las escuelas que no reciben el tratamiento, que son en su conjunto el grupo de control "puro" (29 centros), y b) los estudiantes de las 28 escuelas tratadas que, sin embargo, no participan por pertenecer a las aulas que aleatoriamente han quedado fuera del programa. Dentro de los 28 centros educativos de tratamiento, hay 118 clases que sí reciben la intervención, y otras 40 que no participan. Estas últimas constituyen el segundo grupo de control destinado a medir "externalidades", es decir si los alumnos que no se beneficiaron del programa mejoraron sus resultados por el hecho de que otros compañeros suyos, en otras clases del mismo centro educativo, sí que fueron tratados.

Empleando las estimaciones de *Intention To Treat (ITT)*, Büchel *et al.* (2022) muestran que ser asignados a lecciones adicionales con el programa de aprendizaje asistido por ordenador y monitorizado por técnicos (tratamiento 2) aumentó los resultados en matemáticas en un 21 por ciento de la desviación estándar (DE) y en un 24 por ciento cuando fue supervisado por docentes (tratamiento 3). En ambos casos, la mejora equivale al aprendizaje de más de la mitad de un curso escolar. Las clases tradicionales adicionales (tratamiento 1) también aumentan el rendimiento académico en matemáticas,

pero lo hacen en un 15 por ciento de la DE, una diferencia significativa con respecto al tratamiento 3, pero no con respecto al tratamiento 2. Büchel *et al.* (2022) encuentran, además, que el uso de programas de aprendizaje asistido por ordenador mejora el aprendizaje incluso en clases con muchos alumnos y con niveles heterogéneos, algo que no ocurre en el caso de las clases tradicionales. Si en lugar de ITT, se emplea la asignación de tratamiento como una variable instrumental (IV) para la asistencia, la estimación de los efectos del tratamiento 2 y 3 se eleva al 38 por ciento y 40 por ciento de la DE, respectivamente.

Los resultados de este estudio muestran que los alumnos de clases de control en escuelas tratadas ("control para medir externalidades") en la intervención con más clases tradicionales de Matemáticas (tratamiento 1) obtienen mejores resultados que los de centros en los que ninguna clase participó en el tratamiento (control "puro"), particularmente aquellos alumnos con un nivel previo bajo. Los grupos de tratamiento que emplearon el aprendizaje asistido por ordenador, tanto si fueron supervisados por técnicos o por docentes (tratamiento 2 y 3), exhiben un rendimiento en Matemáticas significativamente más elevado que los del grupo de control puro en toda la distribución, aunque la brecha parece cerrarse para los alumnos de rendimiento previo al experimento más alto. En definitiva, Büchel *et al.* (2022) aportan evidencia de que los avances en el aprendizaje asistido por ordenador pueden, al menos parcialmente, atribuirse al *software* y no necesariamente al aumento en el número de lecciones de Matemáticas. De acuerdo con los hallazgos de los autores, las lecciones impartidas a través de programas asistidos por ordenador conducen a un mayor aprendizaje y son menos sensibles al tamaño de la clase, así como a la heterogeneidad de la capacidad de los estudiantes.

El segundo artículo posterior a la revisión bibliográfica de Escueta *et al.* (2020), también recogido en el cuadro 2, es el de Hirata (2022), que analiza un programa asistido por ordenador que se emplea durante el tiempo de clase. De este modo, al igual que Büchel *et al.* (2022), el experimento aleatorio puede aislar el impacto del uso del *software* del efecto de tener más tiempo de instrucción (que, en este caso, no se produce porque el número total de horas

CUADRO 2

ARTÍCULOS QUE ANALIZAN EL APRENDIZAJE ASISTIDO POR ORDENADOR PUBLICADOS DESPUÉS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESCUETA ET AL. (2020)

Artículo	Intervención	Efecto	Muestra	Unidad de aleatorización
Büchel et al. (2022)	El primer tratamiento comprende lecciones de Matemáticas adicionales impartidas por un docente contratado. El segundo y tercer tratamiento comprenden lecciones de Matemáticas adicionales basadas en un <i>software</i> . El segundo es supervisado por técnicos, mientras que el tercero es monitorizado por docentes contratados.	El aumento de las clases adicionales tradicionales de Matemáticas incrementó en un 15 % DE el rendimiento. Ser asignados a lecciones adicionales con <i>software</i> mejoró los resultados de Matemáticas en un 21 % DE cuando fueron supervisados por un técnico, y en un 24 % cuando fueron monitorizados por docentes.	Experimento aleatorizado y controlado en escuelas de primaria de El Salvador (distrito rural de Morazán). Grados 3-6. 57 escuelas, con un total de 320 clases elegibles y alrededor de 6.400 estudiantes. 28 centros participaron en los tratamientos y 29 en el grupo de control.	Centros y clases dentro de las escuelas tratadas <ul style="list-style-type: none"> • La herramienta no es directamente adaptativa, permite a los docentes seguir el progreso de cada estudiante y asignar contenido apropiado basado en el desempeño anterior.
Hirata (2022)	Experimento aleatorio controlado del uso de un <i>software</i> en el aprendizaje de matemáticas (aritmética) de alumnos de primaria. Los estudiantes usaron el <i>software</i> (que se basa en juegos) durante 20 minutos como máximo durante el período de la jornada escolar (que dura 4 horas) a lo largo de 2 meses.	Los alumnos de primero, segundo y tercero de educación primaria que usaron el <i>software</i> aumentaron sus puntuaciones en una prueba de Matemáticas en un 56 % DE en el corto plazo (justo después de la intervención) y en un 17 % DE en el medio plazo (1 año después del final de la intervención).	Alumnos de primero, segundo y tercero de educación primaria en Brasil. La intervención se llevó a cabo en tres municipios de tres distintos estados del noreste de Brasil en 2016. 870 estudiantes participaron en la evaluación.	De entre 12 escuelas (cuatro por cada estado) se seleccionó al azar a la mitad de las escuelas para recibir el tratamiento o formar parte de un grupo de control. En los centros seleccionados para el grupo de tratamiento, se seleccionó al azar una clase por cada grado (si había más de una) hasta un total de 18 clases tratadas.
Oreopoulos et al. (2024)	Programa KWiK para fomentar el aprendizaje por dominio de los estudiantes a través de tecnología y apoyo continuo de docentes. Se centra en Matemáticas para primaria y secundaria, con formadores para que los docentes sepan cómo usar CAL en clase con una hoja de ruta personalizada de progreso incremental.	Los experimentos aleatorios controlados indican efectos significativos en el rendimiento de los estudiantes en Matemáticas entre un 12 % y un 22 % DE. Los beneficios se observan en clases con al menos 35 minutos de práctica semanal.	Dos experimentos aleatorios controlados: 47 maestros en escuelas públicas de Nashville y 216 maestros en el Distrito Escolar Independiente de Arlington. Maestros de los grados 3 a 8.	La intervención se implementó en clases específicas dentro de las escuelas tratadas, y el análisis consideró tanto a los maestros que participaron, como a las clases que recibieron la intervención. Los resultados varían según el tiempo de práctica.

Fuente: Elaboración propia.

de instrucción no cambia). Hirata (2022) analiza el impacto del uso de una herramienta de *software* para aprender y practicar Matemáticas (aritmética) a través de juegos diseñados para estudiantes de primaria en Brasil. Los estudiantes del grupo de tratamiento emplearon el *software* durante 20 minutos como máximo en el período de la jornada escolar (que dura cuatro horas) a lo largo de dos meses. Los alumnos de primero, segundo y tercero de educación primaria que usaron el *software* aumentaron sus resultados en Matemáticas en un 56 por ciento de la DE en el corto plazo (justo después de la intervención), y en un 17 por ciento en el medio plazo (un año después del final de la intervención). El impacto de muchas medidas educativas se desvanece en los cursos siguientes, aunque en este caso permanece un tercio del impacto inicial. Hirata (2022) indica que el mayor impacto que encuentra en su experimento aleatorio con respecto a investigaciones previas puede obedecer a que el aprendizaje asistido por ordenador podría ser más efectivo para mejorar los resultados de los estudiantes en los grados inferiores, dado que las competencias que se enseñan y aprenden son más básicas.

El tercer artículo destacado en el cuadro 2 es el de Oreopoulos *et al.* (2024), que se centra en la implementación del aprendizaje por dominio a través de la tecnología y el apoyo continuo a los docentes. Este estudio evalúa un programa diseñado para fomentar un mayor aprendizaje por dominio en Matemáticas en niveles de primaria y secundaria. La intervención incluye el uso del CAL combinado con el apoyo semanal a los maestros mediante un “khoach” o entrenador. Estos entrenadores proporcionan a los docentes orientación proactiva sobre cómo utilizar eficazmente las herramientas de CAL para personalizar el aprendizaje y seguir el progreso de los estudiantes.

Oreopoulos *et al.* (2024) implementaron dos experimentos aleatorios para evaluar el impacto de esta intervención. Los resultados muestran efectos significativos en la mejora del rendimiento en Matemáticas, con una variación del 12 al 22 por ciento DE, dependiendo del tiempo de práctica semanal con el programa de CAL. Los estudiantes que participaron en aulas en las que se logró un promedio de al menos 35 minutos de práctica semanal con el CAL mostraron mejoras más notables. Los factores clave para el éxito del programa incluyeron la alta

participación inicial de los maestros, una estrategia clara de implementación para la práctica, y la disposición de los docentes a observar de cerca el progreso y proporcionar seguimiento a los estudiantes con dificultades.

La importancia de la fidelidad en la implementación y el compromiso de los docentes es fundamental en los hallazgos de Oreopoulos *et al.* (2024). Las aulas con mayor tiempo de práctica presentaron mejoras significativas en el rendimiento, comparable a programas de tutoría intensiva. Este estudio aporta cuatro contribuciones clave: demuestra la efectividad de un programa que utiliza principalmente recursos existentes para facilitar un aprendizaje más personalizado, evidencia la efectividad de Khan Academy en un entorno de país desarrollado, resalta cómo los efectos del tratamiento dependen críticamente de la fidelidad en la implementación y la formación, y proporciona evidencia sobre por qué algunos maestros logran implementar más tiempo de práctica con programas de CAL que otros. El apoyo institucional, la dedicación exclusiva al programa, la convicción de su efectividad y la participación activa son factores que influyen en la cantidad de tiempo de práctica que los maestros implementan. Los resultados sugieren que la efectividad del CAL depende más de la calidad de la implementación que de la plataforma en sí misma, subrayando la necesidad de apoyo continuo y estructurado para los docentes en el uso de estas herramientas tecnológicas.

2.2. Programas de aprendizaje asistido por ordenador en lengua

Si bien algunos estudios han realizado revisiones exhaustivas de las intervenciones de programas de aprendizaje asistido por ordenador (por ejemplo, Bulman y Fairlie, 2016, y Escueta *et al.*, 2020), se sabe poco sobre los elementos comunes subyacentes en la efectividad de los programas de CAL en lengua. Para identificar las características que contribuyen al éxito de un programa de CAL en lengua, el cuadro 3 muestra una revisión actualizada de dichos programas. Primero, nuestra revisión sugiere que las intervenciones que explotan los programas

de CAL en lengua son más efectivas cuando incorporan un currículo adaptativo dinámico, proporcionan una personalización completa del contenido basado en la capacidad inicial y ofrecen retroalimentación rápida (como se ve en los programas de CAL revisados por Campuzano *et al.*, 2009). En segundo lugar, las intervenciones que combinan estas tres características con una participación limitada del profesor parecen cosechar aún más éxito (por ejemplo, Muralidharan *et al.*, 2019).

El análisis pedagógico de la instrucción asistida por ordenador en la lectura sugiere que la calidad de los profesores y los asistentes de enseñanza que implementan la intervención puede ser una limitación (Slavin *et al.*, 2011). Esta discusión también contribuye a la comprensión de las circunstancias bajo las cuales estos programas son efectivos para mejorar los resultados de aprendizaje. Un diseño del *software* que incorpore contenido adaptativo y personalizado, retroalimentación rápida y una interrupción mínima de la enseñanza puede ser la clave del éxito del programa.

Los estudios de Bai *et al.* (2016 y 2023) en China se centran en la implementación de programas de CAL para la mejora de la lectura y el lenguaje. Bai *et al.* (2016) examinan el impacto de programas de lectura con ortografía y habla segmentada en los que participaron hasta 6.000 estudiantes, encontrando mejoras modestas en algunos casos, pero resultados nulos en otros. Por su parte, Bai *et al.* (2023) evalúan un programa de tutoría asistida por ordenador que muestra un aumento significativo en las puntuaciones de pruebas estandarizadas de lenguaje, aunque sin impacto en Matemáticas. Ambos estudios destacan la importancia de la personalización y la retroalimentación rápida en la efectividad de estos programas.

Otro estudio relevante es el de Deault *et al.* (2009) en Canadá, que analiza el programa de alfabetización *Abracadabra*. La utilización de este programa produjo mejoras significativas en la comprensión auditiva y lectora entre los estudiantes, subrayando la utilidad de integrar tecnologías interactivas en el currículo regular. La implementación efectiva de estos programas requiere no solo un buen diseño del *software*, sino también un entorno de apoyo adecuado, incluyendo formación para los docentes y acceso fiable a la tecnología.

Además, el estudio de Lai *et al.* (2016) en China también proporciona evidencia sobre la efectividad de los programas de tutoría asistida por ordenador. En este estudio, los investigadores descubrieron que el uso de programas de CAL como suplemento de las tareas escolares aumentaba significativamente las puntuaciones estandarizadas en pruebas de lenguaje. Este resultado es consistente con otros estudios que destacan la importancia de la retroalimentación rápida y la personalización del contenido para maximizar el impacto del aprendizaje asistido por ordenador.

El análisis también sugiere que la participación limitada del profesor puede ser beneficiosa. Muralidharan *et al.* (2019) demostraron en India que los programas de instrucción liderados por tecnología, con una alta asistencia tecnológica y mínima intervención del docente, pueden mejorar sustancialmente las habilidades lingüísticas y Matemáticas de los estudiantes. Este estudio subraya que, implementada correctamente, la tecnología puede complementar y, en algunos casos, superar la instrucción tradicional en términos de efectividad.

Por último, los estudios de Rouse y Krueger (2004) y Wijekumar *et al.* (2012), realizados en Estados Unidos, también aportan información interesante sobre el uso de programas de CAL en la educación lingüística. Según los hallazgos de Rouse y Krueger (2004), el programa *Fast ForWord* careció de efectos significativos en los resultados de Lenguaje, lo que sugiere que no todos los programas de CAL son igualmente efectivos y que el diseño y la implementación juegan un papel crucial. Por otro lado, Wijekumar *et al.* demostraron que el programa *Intelligent Tutoring for Structure Strategy (ITSS)*, que ofrece estrategias estructuradas de lectura y comprensión, sí tuvo un impacto positivo, destacando la importancia de un enfoque estructurado y bien diseñado para la enseñanza asistida por ordenador.

Más recientemente, Abbey *et al.* (2024) han llevado a cabo una revisión sistemática y un meta-análisis de las innovaciones de *EdTech* en China, tanto en lengua como en Matemáticas, llegando a la conclusión de que la mayoría de los estudios evalúan paquetes de *software* de CAL, diseñados para mejorar el aprendizaje de los estudiantes. El meta-análisis reveló un efecto positivo pequeño,

ARTÍCULOS QUE ANALIZAN LA EFECTIVIDAD DE LOS PROGRAMAS CAL EN LENGUA

Referencia	País	Programa CAL	Enfoque	Método	Efecto	Muestra	Rol del profesor	Adaptación dinámica	Personalizado	Retroalimentación rápida	Coste
Bai et al., 2016	China	Programas de lectura con ortografía y habla segmentada (ROSS)	(1) Sustituto del currículo	RCT	(1) Versión 1: +16 % DE en lengua (2) Versión 2: sin efecto en lengua	Alrededor de 6.000	Asistencia limitada	No	No	Sí	No especificado
Bai et al., 2023	China	Programa de tutoría CAL en lengua y análisis de <i>spillovers</i> en Matemáticas	Suplemento de tareas	RCT	Puntuaciones estándar de pruebas de lenguaje (Inglés: +48 % DE Puntuaciones estándar de pruebas de Matemáticas: Nulo)	Alrededor de 1.600	Asistencia limitada	No	No	Sí	12.01/14.32\$ por estudiante
Borman et al., 2009	EE. UU.	<i>Fast Forward</i> - Programa de entrenamiento de lenguaje y lectura	Sustituto del currículo	RCT (ITT) + IV	2º Grado: efectos nulos. 7º Grado: efectos nulos en lenguaje y aumento de 21% DE en lectura	415	Asistencia limitada	No	No	Sí	No especificado
Campuzano et al., 2009	EE. UU.	<i>Destination Reading</i> - curso 1	Suplemento de tareas	RCT	Efectos nulos	Alrededor de 3.000	Asistencia limitada	Sí	No	Sí	78\$/año por estudiante
Campuzano et al., 2009	EE. UU.	<i>Headprouts</i> (Programa de lectura y escritura CAL)	Suplemento de tareas	RCT	+ 1 % DE	Alrededor de 3.000	Asistencia limitada	Sí	Sí	Sí	146\$/año por estudiante

CUADRO 3 (CONTINUACIÓN)

ARTÍCULOS QUE ANALIZAN LA EFECTIVIDAD DE LOS PROGRAMAS CAL EN LENGUA

Referencia	País	Programa CAL	Enfoque	Método	Efecto	Muestra	Rol del profesor	Adaptación dinámica	Personalizado	Retroalimentación rápida	Coste
Campuzano et al., 2009	EE. UU.	<i>Programmed Logic for Automatic Teaching Operations</i> (PLATO Focus, lengua)	Sustituto del currículo	RCT	Efectos nulos	Alrededor de 3.000	Alta asistencia	Sí	No	Sí	351\$/año por estudiante
Campuzano et al., 2009	EE. UU.	<i>Waterford Early Reading Program</i> – niveles 1-3	Suplemento de tareas	RCT	Efectos nulos	Alrededor de 3.000	Asistencia limitada	Sí	Sí	Sí	223\$/año por estudiante
Campuzano et al., 2009	EE. UU.	Programa de tutoría CAL (<i>LeapTrack</i> , lectura)	Sustituto del currículo	RCT	+ 9 % DE	Alrededor de 3.000	No especificado	Sí	Sí	Sí	217\$/año por estudiante
Campuzano et al., 2009	EE. UU.	Programa de tutoría CAL (<i>Academy of Reading</i>)	Sustituto del currículo	RCT	Efectos nulos	Alrededor de 3.000	No especificado	Sí	No	Sí	154\$/año por estudiante
Carrillo et al., 2011	Ecuador	Programa de Aprendizaje Complementario e Interconectado (APCI, lengua y Matemáticas)	Sustituto del currículo	RCT	lenguaje: Nulo Matemáticas: +30 % DE	Alrededor de 500	Alta asistencia	No	Sí	Sí	No especificado
Deault et al., 2009	Canadá	ABRACADABRA (programa de alfabetización basado en la web)	Sustituto del currículo	RCT	(1) Grupo sintético: 41 % DE en comprensión auditiva; nulo en vocabulario; y +35 % DE en comprensión lectora (2) Grupo analítico: Nulo	144	Alta asistencia	No	No	Sí	No especificado

CUADRO 3 (CONTINUACIÓN)

ARTÍCULOS QUE ANALIZAN LA EFECTIVIDAD DE LOS PROGRAMAS CAL EN LENGUA

Referencia	País	Programa CAL	Enfoque	Método	Efecto	Muestra	Rol del profesor	Adaptación dinámica	Personalizado	Retroalimentación rápida	Coste
De Vera et al., 2024	Chile	Dyrective	Suplemento de tareas	RCT	+18 % DE. en pruebas de lenguaje	600	Alta asistencia	Sí	Sí	Sí	No especificado
Faber y Visscher, 2018	Países Bajos	Snappet – herramienta digitalizada de asignación enfocada en la ortografía	Suplemento de tareas	RCT	Efectos nulos	1.605	Alta asistencia	Sí	Sí	Sí	No especificado
Lai et al., 2016	China	Programa de tutoría CAL (lectura)	Suplemento de tareas	RCT	Puntuación estandarizada en pruebas de lenguaje: +20 % DE Puntuación estandarizada en pruebas de Matemáticas: +15 DE	Alrededor de 3.000	Asistencia limitada	No	No	Sí	760\$. por estudiante
Muralidharan et al., 2019	India	Mindspark (programa de instrucción liderado por tecnología)	Suplemento de tareas	RCT (ITT) + IV	(1) Pruebas de lenguaje: IIT: +23% DE IV: +39 % DE (2) Pruebas de Matemáticas: IIT: +37 % DE IV: +60 % DE	619	Alta asistencia	Sí	Sí	Sí	150\$/año por estudiante
Rouse y Krueger, 2004	EE. UU.	Fast ForWord - Programa de entrenamiento de Lenguaje y lectura	Sustituto del currículo	RCT (ITT) + IV	Efectos nulos	485	Asistencia limitada	No	Sí	No	770\$/año por estudiante
Sevilla et al., 2021	España	Ayuda a la Dislexia	Suplemento del currículo	Análisis descriptivo	Mejora significativa en lengua e inglés para chicas; solo Inglés para chicos	1.022 alumnos de primaria	Alta asistencia	Sí	Sí	Sí	No especificado
Wijekumar et al., 2012	EE. UU.	Intelligent Tutoring for Structure Strategy (ITSS, lectura)	Sustituto del currículo	RCT	(1) GSRT: +10 % DE(2) Medidas diseñadas en el experimento de comprensión lectora (idea principal): +49 % DE	2.643	Experimento en laboratorio	Sí	Sí	Sí	No especificado

pero significativo, en los resultados de aprendizaje de los estudiantes (13 por ciento DE), indicando que la mayoría de los programas de CAL utilizados como complemento de los procesos educativos tienen efecto positivo. Los programas de CAL demostraron ser efectivos independientemente del enfoque de implementación, del contexto o de la materia escolar.

Por su parte, De Vera *et al.* (2024) han evaluado una intervención de lectura en Chile con 600 estudiantes de tercero de educación primaria procedentes de poblaciones desfavorecidas. La intervención incluía un juego adaptativo diseñado para identificar las debilidades de lectoescritura y cognitivas, transformándolas en habilidades, todo ello complementado con una biblioteca móvil y consejos a los padres para aumentar el interés de los estudiantes y la participación parental. Los resultados mostraron que, después de solo tres meses de intervención, los estudiantes tratados eran entre un 20-30 por ciento más propensos a creer que su rendimiento era mejor que el de sus compañeros, a apreciar la escuela, a tener mayor perseverancia y un *locus* de control más interno. Las mejoras en las aspiraciones y la autoconfianza fueron particularmente ostensibles entre los estudiantes en riesgo de dislexia. Estos avances se reflejaron en un mejor rendimiento en una prueba estandarizada de lengua a nivel nacional. Los resultados demostraron que las habilidades no cognitivas, especialmente entre estudiantes en riesgo de dislexia, pueden cambiarse mediante una intervención educativa tecnológica breve y rentable.

En resumen, la evidencia sugiere que los programas de CAL pueden ser una herramienta poderosa para mejorar los resultados de aprendizaje en lengua y lectura, especialmente cuando se diseñan con adaptabilidad, personalización y retroalimentación rápida.

3. LOS EFECTOS DE LOS PROGRAMAS ASISTIDOS POR ORDENADOR: RETOS PARA LA INVESTIGACIÓN

Los programas de CAL han mostrado potencial para complementar la educación tradicional, especialmente al superar las limitacio-

nes a las que se enfrentan los docentes, como la gestión de niveles de aprendizaje heterogéneos dentro de una clase. Además, algunos de estos programas son adaptativos y utilizan inteligencia artificial para ofrecer contenido según la capacidad cognitiva de los usuarios y su progreso. Sin embargo, hay varios retos de investigación que deben ser abordados para maximizar la efectividad de estos programas y la comprensión de sus mecanismos de acción.

Primer desafío: comparación con la instrucción tradicional

Un desafío significativo, como señalan Bulman y Fairlie (2016), es determinar si el aprendizaje asistido por ordenador no solo puede mejorar el rendimiento de los estudiantes, sino también si proporciona mejores resultados que la instrucción tradicional. Entender esto es fundamental para orientar eficazmente las políticas educativas y las inversiones tecnológicas en el sector educativo. Si no sabemos la respuesta a esta pregunta, podríamos estar invirtiendo recursos en tecnologías que no son más efectivas que las prácticas de enseñanza tradicionales, perdiendo así oportunidades de mejorar realmente la educación. Hasta hace poco, la falta de datos y la dificultad de realizar experimentos controlados que capturen todos los factores involucrados ha dificultado mucho responder a esta cuestión. La variabilidad en la implementación y la dependencia de contextos locales también han dificultado el análisis comparativo.

Los estudios más recientes ya comentados en la sección anterior, como los de Büchel *et al.* (2022) e Hirata (2022), han implementado diseños experimentales rigurosos que permiten analizar el *trade-off* entre el uso de *software* y las clases tradicionales. Büchel *et al.* (2022) utilizaron un experimento aleatorio controlado en El Salvador, donde se compararon tres grupos: clases tradicionales adicionales, clases con *software* supervisadas por técnicos, y clases con *software* supervisadas por docentes. Este análisis les permitió aislar los efectos del *software* frente a la instrucción tradicional. Hirata (2022), por su parte, implementó un experimento en Brasil, donde el *software* se usó durante el horario escolar, lo que permitió comparar directamente el impacto del *software* frente a las clases tradicionales, sin aumentar el tiempo total de instrucción. Estos enfoques

metodológicos han permitido a los investigadores comprender mejor los efectos relativos de las intervenciones basadas en tecnología frente a la enseñanza tradicional.

Segundo desafío: durabilidad de los efectos y aplicación en diferentes asignaturas

Otro desafío pendiente de investigación es determinar en qué medida los efectos del CAL se mantienen a medio y largo plazo. Analizar estos efectos presenta varios retos para la investigación. Uno de los principales problemas es la dificultad de realizar un seguimiento continuo a los mismos estudiantes durante periodos prolongados. Además, las variaciones en el contexto educativo y los cambios en la implementación de los programas dificultan la comparación de resultados a lo largo del tiempo.

Estudios recientes, como el de Hirata (2022), han abordado estos problemas mediante el diseño de intervenciones que permiten un seguimiento detallado de los estudiantes. En su investigación, Hirata (2022) realizó evaluaciones de los estudiantes antes, inmediatamente después y un año después de la intervención. Esta metodología permitió observar tanto los efectos a corto plazo (con un aumento del 56 por ciento de la DE en las pruebas de Matemáticas) como a medio plazo (con un aumento del 17 por ciento de la DE). La capacidad de recoger y analizar datos a lo largo del tiempo permitió concluir a Hirata (2022) que, aunque los efectos iniciales se desvanecen, persisten mejoras significativas en el rendimiento de los estudiantes.

En resumen, si bien el aprendizaje asistido por ordenador indica la mejora del rendimiento académico a corto plazo, es esencial continuar investigando su impacto a largo plazo y en diversas áreas del conocimiento.

Tercer desafío: intensidad del uso

La relación entre la intensidad en el uso de programas de CAL y su efectividad es otro aspecto que requiere más investigación. Incrementar el tiempo de empleo del *software* no siempre conduce a mejoras adicionales a partir de cierto umbral, debido a la posible existencia de no-linealidades. La investigación de Bettinger *et al.* (2023) ha demostrado que aumentar la dosis de CAL más allá de un nivel

básico no resulta necesariamente en más mejoras, y en algunos casos puede tener efectos neutros o incluso negativos. Este fenómeno de rendimientos decrecientes sugiere que hay un punto óptimo de uso de CAL que maximiza los beneficios educativos.

Responder esta pregunta es fundamental para el diseño de políticas educativas, ya que nos permite identificar cuánto tiempo de uso de CAL es positivo antes de que se alcancen rendimientos decrecientes. Si no sabemos si es la intensidad lo que impulsa los resultados, podríamos estar recomendando niveles de uso de CAL que no son óptimos y desperdiciando, en consecuencia, recursos y tiempo que podrían ser mejor invertidos en otros métodos educativos.

Ahora bien, es difícil dar respuesta a la cuestión de la intensidad adecuada porque los efectos pueden variar significativamente según el contexto educativo, las características del *software* utilizado y el nivel inicial de los estudiantes.

Cuarto desafío: complementariedad con la enseñanza tradicional

Otra oportunidad de investigación, relevante para diseñar políticas educativas efectivas, es la complementariedad de los programas de CAL con la enseñanza tradicional.

La escalabilidad de estos programas puede verse comprometida si requieren una supervisión intensiva por parte de los docentes, lo que aumentaría significativamente los costes y dificultaría su implementación a gran escala. La complementariedad con la enseñanza tradicional es un tema pendiente de estudio debido a desafíos como la falta de datos precisos y la dificultad de realizar experimentos controlados que midan eficazmente la interacción entre los programas de CAL y los métodos de enseñanza convencionales. Estos desafíos han limitado la capacidad de las investigaciones para proporcionar respuestas concluyentes sobre cómo integrar mejor estos programas en las aulas. En la revisión de Rodríguez-Segura (2022), se analiza cómo la falta de formación adecuada o el apoyo insuficiente a los docentes puede suponer un desafío a la integración de la tecnología en el aula y la escalabilidad de programas de CAL. El metaanálisis de Abbey *et al.* (2024), por

su parte, señala la necesidad de una supervisión adecuada para garantizar la implementación efectiva de tecnologías educativas en las aulas.

Algunos estudios recientes sí han avanzado en el objetivo de analizar la complementariedad entre los programas de CAL y la enseñanza tradicional. Büchel *et al.* (2022) muestran que los programas supervisados por docentes tienden a obtener mejores resultados que aquellos monitorizados por técnicos, lo que sugiere que la supervisión docente es un componente relevante para la efectividad de este tipo de programas.

Por su parte, Gray-Lobe *et al.* (2024) analizan un programa educativo en Kenia que estandariza las clases de educación infantil y primaria a través de currículos desarrollados de manera uniforme y guías detalladas para los docentes. Este diseño permite a los investigadores observar cómo se integra el uso de *tablets* y la retroalimentación centralizada en el contexto de un currículo estandarizado. Los docentes utilizan *tablets* en las clases y reciben seguimiento, lo que ha llevado a un incremento en el aprendizaje equivalente a un curso escolar. La clave de este estudio radica en cómo estos elementos permiten analizar la complementariedad entre las herramientas digitales y la enseñanza tradicional. Al estandarizar los currículos y proporcionar guías detalladas, se asegura un uso consistente y efectivo de la tecnología en todas las aulas. La retroalimentación centralizada permite a los investigadores monitorizar y ajustar el uso de la tecnología en tiempo real, garantizando que se alinee con los objetivos educativos. El estudio demuestra que cuando las herramientas digitales se integran de manera efectiva en un entorno educativo supervisado, los resultados pueden ser significativamente positivos. La estandarización y el seguimiento continuo facilita que los docentes utilicen la tecnología de manera eficiente y coherente con el currículo establecido, mientras que la integración sistemática y supervisada de la tecnología en el proceso educativo permite asegurar que las mejoras observadas no se deben únicamente a la tecnología en sí, sino a su implementación efectiva dentro de un marco educativo bien estructurado.

Quinto desafío: escalabilidad

Uno de los principales desafíos en la implementación de programas de CAL es la esca-

labilidad. En muchos casos, estos programas han sido impulsados por organizaciones benéficas en lugar de gobiernos, especialmente en países en desarrollo. Mientras que las organizaciones benéficas pueden proporcionar recursos significativos y personal especializado, los programas de CAL logran mejorar el aprendizaje de los estudiantes. Pero cuando las ONG se retiran, los programas a menudo no se sostienen debido a la falta de recursos y apoyo institucional local (Berg *et al.*, 2023).

El problema de la escalabilidad es particularmente relevante porque, sin un modelo sostenible, los programas de CAL no pueden integrarse eficazmente en los sistemas educativos existentes. Esto se traduce en un impacto limitado y temporal, en lugar de mejoras duraderas en la calidad de la educación. Un ejemplo claro lo proporciona la inversión que llevan a cabo las organizaciones benéficas en fondos y personal para implementar eficazmente los programas, un propósito que se debilita cuando dejan la gestión en manos de las instituciones locales.

El desafío, por lo tanto, consiste en desarrollar programas que puedan funcionar dentro de las estructuras y recursos actuales de las instituciones educativas. Esto implica diseñar intervenciones que no solo dependan de recursos externos, sino que se integren plenamente en los sistemas educativos nacionales.

Berg *et al.* (2023) demuestran que los programas liderados por gobiernos y diseñados para utilizar los sistemas y personal existentes pueden tener éxito. A través de un ensayo controlado aleatorio en Ghana, los autores ponen de relieve que los directores escolares, cuando actúan como líderes y no solo como administradores, pueden mejorar la gestión del proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes utilizando los recursos y el personal ya disponibles. Este estudio destaca que, aunque el entrenamiento en gestión de personas mejoró las relaciones interpersonales entre los docentes y sus supervisores, fueron los cambios en la gestión del proceso de enseñanza y aprendizaje los que realmente impulsaron las mejoras en el aprendizaje de los estudiantes.

El programa *DyctectiveU*, aplicado en la Comunidad de Madrid, que se analiza con deta-

Ile como un estudio de caso en el siguiente apartado, presenta un ejemplo de éxito de escalabilidad en el uso de CAL. *DytectiveU* ha sido implementado en 269 colegios y actualmente se emplea en todos los centros públicos y concertados de la Comunidad de Madrid. A diferencia de otros estudios que suelen basarse en muestras pequeñas, *DytectiveU* ha sido utilizado por 44.346 alumnos solo entre el curso 2018-2019 y el 2022-2023. Este enfoque amplio y representativo asegura que los resultados obtenidos sean aplicables a una gran variedad de estudiantes, mejorando así la validez externa del estudio. Esta implementación masiva y su adaptación al contexto local son cruciales para demostrar que los programas de CAL pueden ser escalables y sostenibles si se diseñan y gestionan adecuadamente dentro de las estructuras educativas existentes.

Sexto desafío: efectividad en diferentes disciplinas y contextos educativos

Finalmente, un reto importante es la efectividad de los programas de CAL en áreas como la lectura y la escritura, donde los resultados no son tan claros. Es importante explorar si los programas de CAL pueden ser efectivos para asignaturas distintas de las Matemáticas. El currículo de Matemáticas resulta particularmente adecuado para el *software* de aprendizaje personalizado debido a la naturaleza objetiva de sus problemas y procesos cognitivos. Sin embargo, estudios como el de Escueta *et al.* (2020) indican que el impacto en otras asignaturas, como lengua, es menor. El promedio de los experimentos aleatorios de programas asistidos por ordenador en Matemáticas que resumen estos autores (cualquiera que sea el efecto encontrado, positivo, cero o negativo) es del 23 por ciento DE, el equivalente a lo que un/a estudiante aprende en algo más de 6 meses de clases. En el caso de lengua, comprensión lectora u ortografía, el impacto medio de los artículos revisados se calcula en el 15 por ciento DE, equivalente a algo más de cuatro meses de clases¹.

Los menores retornos del CAL en lengua subrayan la necesidad de más investigación en

¹ En los artículos en los que se analiza el impacto de programas asistidos por ordenador en varias dimensiones de Matemáticas o Lengua, sin estimar el impacto en el agregado, se ha incluido una media de las competencias evaluadas.

este ámbito para averiguar cómo puede incrementarse su efecto hasta llegar a los niveles de los programas de Matemáticas. La investigación adicional permitiría determinar cómo estos programas pueden ser adaptados y utilizados efectivamente en diferentes disciplinas y contextos educativos. La necesidad de una personalización efectiva y la capacidad de los programas para adaptarse a las particularidades de cada materia y grupo de estudiantes son aspectos que requieren un análisis más profundo.

Un ejemplo de cómo los desarrollos en el *software* de lengua pueden empezar a abordar este desafío se encuentra en el programa *DytectiveU*, cuyo módulo de procesamiento ofrece material didáctico personalizado basado en la retroalimentación de los estudiantes, adaptándose al progreso de cada uno y proporcionando retroalimentación inmediata. Con una colección de 42.000 ejercicios elaborados por lingüistas y psicólogos, el *software* se adapta dinámicamente a las necesidades únicas de aprendizaje de cada estudiante, ajustando la dificultad y el contenido en función de su rendimiento. Los ejercicios de *DytectiveU* están diseñados teniendo en cuenta una lista de 1.171 errores comunes cometidos por personas con dificultades de aprendizaje, lo que permite una atención precisa a las áreas de la lectura y escritura en las que los estudiantes tienden a mostrar más debilidad. El *software* utiliza un conjunto de recursos lingüísticos desarrollados aplicando técnicas de procesamiento de lenguaje natural, que incluyen listas de palabras de uso frecuente adaptadas a diferentes contextos, y conjuntos de palabras con patrones fonológicos y ortográficos similares, mejorando así la competencia lingüística de los estudiantes. *DytectiveU* aborda al menos tres de 17 habilidades cognitivas y 7 medidas de rendimiento relacionadas con la alfabetización; los ejercicios se centran tanto en las áreas que necesitan refuerzo como en aquellas donde los estudiantes muestran competencia.

En resumen, aunque los programas de CAL tienen el potencial de revolucionar la educación, es necesario abordar estos desafíos de investigación para comprender completamente sus mecanismos y maximizar su efectividad en diversos contextos educativos.

4. EL PROGRAMA *DYTECTIVEU*: UN ESTUDIO DE CASO

Integrado en el sistema educativo de la Comunidad de Madrid, el estudio del programa *DyetectiveU* muestra cómo una herramienta bien diseñada puede superar las limitaciones tradicionales al facilitar la detección temprana de dificultades y adaptar las estrategias de enseñanza a las necesidades individuales de los estudiantes. Este programa evidencia que la tecnología no solo puede escalarse eficientemente, sino que también puede proporcionar un aprendizaje diferenciado que beneficia tanto a estudiantes como a docentes. Con la correcta implementación y apoyo, los programas de CAL pueden representar un valioso complemento a los métodos educativos tradicionales, especialmente en contextos en los cuales la calidad de la instrucción necesita ser reforzada.

4.1. El diseño del *software*

DyetectiveU es un *software* de lenguaje desarrollado por Change Dyslexia, una organización benéfica independiente que persigue el propósito de reducir el número de estudiantes que abandonan los estudios debido a dificultades de lectura y escritura en España. En concreto, *DyetectiveU* es un programa de CAL creado para mejorar las habilidades de lectura y escritura de alumnos de 1º a 6º de educación primaria, especialmente aquellos con dislexia. Este juego de ordenador cuenta con un módulo de procesamiento que ofrece material didáctico personalizado, adaptándose al progreso de cada estudiante y proporcionando retroalimentación inmediata. *DyetectiveU* consta de dos componentes principales: (i) un juego basado en la web para los estudiantes, y (ii) una interfaz de *back-end* para supervisores, como terapeutas, orientadores y maestros.

Los estudiantes que acceden a *DyetectiveU* crean avatares para interactuar con el juego, ingresando a una "academia de detectives" donde enfrentan desafíos lingüísticos en sesiones de 20 minutos. Estas sesiones están compuestas por un conjunto de ejercicios personalizados. Los supervisores pueden acceder a la interfaz de *back-end* para monitorizar el ren-

dimiento individual y compararlo con el de sus compañeros del mismo grupo de edad.

Los ejercicios aumentan en complejidad a medida que los estudiantes van progresando e incorporando gradualmente más elementos lingüísticos y distractores. Se estructuran en varios niveles de dificultad y se personalizan para cada estudiante en función de factores como la edad, el número de sesiones completadas y el rendimiento en sesiones anteriores. El proceso de personalización asegura que los ejercicios no solo se centren en las áreas que necesitan refuerzo, sino también en aquellas donde los estudiantes muestran competencia.

El contenido proporcionado por *DyetectiveU* es dinámico y adaptativo, ajustándose a las necesidades únicas de aprendizaje de cada estudiante. A medida que los estudiantes interactúan con los ejercicios, el *software* recopila varias métricas de rendimiento, incluyendo el número de clics, de aciertos, la velocidad, la precisión y la eficiencia. Estas métricas se utilizan para mapear habilidades cognitivas específicas y medidas de rendimiento de alfabetización, que son la base de la personalización de los ejercicios subsiguientes.

La interfaz de usuario del *software* está diseñada para ser atractiva, proporcionando retroalimentación inmediata que mantiene a los estudiantes motivados e involucrados en su proceso de aprendizaje. A medida que los estudiantes completan más ejercicios, ganan más puntos, que pueden utilizar para personalizar sus avatares, mejorando el aspecto lúdico de la experiencia de aprendizaje.

4.2. La implementación y el impacto del programa

El *software* de lengua *DyetectiveU* se comenzó a utilizar en los colegios públicos de la Comunidad de Madrid en enero de 2019 con el proyecto "Ayuda Dislexia". Utilizado como un complemento a las tareas tradicionales, no como un reemplazo del currículo existente, permite un uso flexible tanto en el centro educativo como en el hogar. Para un aprovechamiento completo de *DyetectiveU*, se recomendaba que

los estudiantes completaran 64 desafíos en sesiones de aproximadamente 20 minutos cada una, durante ocho semanas.

Durante el año académico 2018-2019, *DytectiveU* se implementó en 91 escuelas primarias públicas de la Comunidad de Madrid, proporcionando a los estudiantes acceso ilimitado desde mediados de enero de 2019 hasta el final del año académico. Dado el elevado nivel de participación y compromiso de los centros educativos y las familias, el programa se ha continuado implementando en los cursos sucesivos. En la convocatoria 2020-2021, 187 colegios de educación primaria participaron en el programa, y en la convocatoria 2021-2022, fueron 173. En 2023-2024 el programa *DytectiveU* se ha extendido a todos los colegios de primaria, más de 1.200 públicos y concertados, de la Comunidad de Madrid.

Los cuadros 2 y 3 muestran que las evaluaciones de los *softwares* de apoyo al aprendizaje suelen abarcar, en el mejor de los casos, a 3.000 alumnos, con un único trabajo, el de Bai *et al.* (2016) con una muestra de alrededor de 6.000 estudiantes. En contraste, la evaluación de *DytectiveU* cuenta con un elevado número de observaciones, lo que es crucial para la validez externa, ya que los resultados se aplican a un amplio espectro de estudiantes en lugar de un grupo específico.

Sobre la base de una participación voluntaria en el programa, la inscripción se facilita a través de un proceso en línea sencillo que requiere de las escuelas información sobre el/la coordinador/a responsable y el número total de estudiantes registrados. Se solicita asimismo a los centros educativos que confirmen el apoyo de la mayoría de su personal docente a la iniciativa y que informen al consejo escolar sobre la participación en el programa. Los alumnos que utilizaron *DytectiveU* fueron los que previamente habían sido identificados como estudiantes en riesgo de dificultades de competencias lecto-escritoras (incluyendo dislexia), aunque el acceso al programa también se abre a los estudiantes que presentan bajo riesgo de dificultades de aprendizaje.

En nuestro estudio de Sevilla *et al.* (2021), reflejado en el cuadro 3, evaluamos el impacto del programa *DytectiveU* en la Comunidad de Madrid durante el curso 2018-2019. Los resul-

tados mostraron que, aunque no hubo una correlación significativa entre la participación en el programa y el rendimiento en las pruebas estandarizadas de Matemáticas y lengua, sí se observó una mejora significativa en el rendimiento en Inglés, especialmente entre las alumnas, lo que indica que el programa pudo haber abordado algunas de las barreras específicas que enfrentan las niñas en el aprendizaje de idiomas. Este resultado es consistente con los obtenidos en estudios previos, según los cuales las intervenciones adaptativas y personalizadas contribuyen a mejorar las habilidades lingüísticas y de comunicación.

DytectiveU también se ha implementado en Chile, donde un estudio reciente evaluó su impacto en 600 estudiantes de tercer grado de primaria en escuelas que atienden a poblaciones desfavorecidas (De Vera *et al.*, 2024). El programa en Chile incluyó no solo el uso del *software DytectiveU*, sino también una biblioteca móvil y el envío de mensajes de texto a los padres con consejos sobre cómo involucrarse en el aprendizaje de sus hijos. Esta implementación multifacética tenía como objetivo, además de mejorar las habilidades de lectura, fomentar una actitud positiva hacia la escuela y aumentar la participación de los padres en la educación de sus hijos.

Los resultados del estudio en Chile fueron muy positivos. Después de solo tres meses de intervención, los estudiantes que utilizaron *DytectiveU* mostraron una mejora significativa en su autopercepción académica y en su actitud hacia la escuela. Específicamente, los estudiantes tratados tenían entre un 20 por ciento y un 30 por ciento más de probabilidad de creer que su rendimiento era mejor que el de sus compañeros, de disfrutar de la escuela, de mostrar mayor perseverancia y de tener un *locus* de control más interno. Estos cambios en las habilidades no cognitivas se reflejaron también en una mejora en el rendimiento en las pruebas nacionales de lectura, con un aumento de alrededor del 18 por ciento de una DE en las puntuaciones de los estudiantes. La intervención también mostró un impacto notable en los estudiantes a los que se diagnosticó un riesgo de dislexia, trastorno del aprendizaje que puede afectar negativamente a la autoestima y la motivación académica. Entre estos estudiantes el aumento de sus aspiraciones y de su autoconfianza resultaron notables.

El programa *DyctectiveU* ha identificado un punto óptimo de sesiones, demostrando que más allá de un umbral específico, los beneficios adicionales disminuyen. De esta forma la Administración pública puede diseñar intervenciones más efectivas y optimizar el uso de recursos. *DyctectiveU* ha sido implementado en horarios regulares de clase y en sesiones de tutoría, de manera que los maestros han integrado el *software* sin reemplazar el currículo existente. La supervisión docente y el uso flexible del *software* tanto en la escuela como en casa facilitan su integración sin requerir una supervisión intensiva. Esto contrasta con otros programas que demandan una gran cantidad de tiempo y recursos docentes, dificultando su escalabilidad y efectividad.

Hasta donde hemos podido analizar el rendimiento de *DyctectiveU* cabe afirmar que este programa ha superado los desafíos identificados en investigaciones previas sobre CAL mediante su amplia implementación, adaptabilidad, seguimiento detallado y capacidad para integrarse eficazmente con la enseñanza tradicional. La evidencia recogida hasta el momento permite calificar el programa como una herramienta eficaz y sostenible para mejorar las habilidades de lectura y escritura en un contexto educativo diverso.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones de este artículo destacan el potencial y los retos del aprendizaje asistido por ordenador (CAL) en la educación no universitaria. A través de una implementación cuidadosa y contextualizada, las herramientas tecnológicas pueden proporcionar enseñanzas personalizadas y retroalimentación instantánea, particularmente efectivas en Matemáticas. Sin embargo, abordar los retos identificados requiere esfuerzos adicionales en investigación y formulación de nuevas políticas educativas.

El principal desafío identificado en este estudio es determinar si el uso del CAL mejora las competencias de los estudiantes por sí mismo o, simplemente, porque implica más tiempo de instrucción. Es fundamental investigar si el tiempo adicional dedicado a la enseñanza tradicional podría también mejorar las competencias de los

alumnos de manera similar. Este aspecto es muy importante para evaluar el verdadero valor añadido del CAL en comparación con la instrucción convencional. Un segundo desafío que requiere de más investigación radica en determinar si los efectos positivos del CAL se mantienen a medio y largo plazo o si, como algunos estudios sugieren, estos impactos se desvanecen con el tiempo (Hirata, 2022). Es preciso explorar la eficacia del CAL en asignaturas distintas de las Matemáticas, ya que las respuestas y los procesos cognitivos en otras materias pueden no prestarse tan bien a los algoritmos de *software* (Escueta *et al.*, 2020). Asimismo, se impone la necesidad de analizar cómo los programas de CAL pueden adaptarse a diferentes niveles de aprendizaje y contextos socioeconómicos, asegurando su efectividad en diversas realidades educativas. Otro aspecto que precisa de más investigación es la intensidad del uso del CAL y sus efectos en el aprendizaje. No está claro si incrementar el tiempo de uso del *software* conduce a mejoras adicionales o si existen umbrales a partir de los cuales el impacto positivo se estabiliza o incluso disminuye. La investigación debe centrarse en identificar la dosis óptima de uso del CAL para maximizar sus beneficios. Además, se hace necesario avanzar en el conocimiento sobre cómo se complementan los programas de CAL con la enseñanza tradicional. El trabajo de Büchel *et al.* (2022) muestra que los programas supervisados por docentes podrían tener mejores resultados que aquellos monitorizados por técnicos o asistentes.

Finalmente, un reto importante reside en la efectividad de los programas de CAL en áreas como la lectura y la escritura, donde los resultados no son tan claros. También en esta dimensión de análisis se precisa más investigación para conocer cómo estos programas pueden ser adaptados y utilizados efectivamente en diferentes disciplinas y contextos educativos. La necesidad de una personalización efectiva y la capacidad de los programas para adaptarse a las particularidades de cada materia y grupo de estudiantes son aspectos que requieren un análisis más profundo.

Es esencial desarrollar y probar intervenciones a largo plazo para garantizar que los beneficios del CAL sean sostenibles. Además, las políticas deben fomentar el desarrollo de *software* educativo adaptativo que pueda personalizar la enseñanza en diversas materias, no

solo en Matemáticas. Esto incluye fomentar la creación de contenidos que se ajusten a los distintos estilos de aprendizaje y niveles de competencia de los estudiantes.

Por lo demás, las políticas educativas tendrían que promover la formación continua de los docentes en el uso efectivo del CAL, equipando a los docentes con las habilidades necesarias para integrar estas herramientas con las prácticas pedagógicas tradicionales, con el fin de que utilicen el CAL eficazmente. La colaboración entre desarrolladores de *software* educativo y profesionales de la educación podría resultar muy propicia para crear herramientas que realmente respondan a las necesidades del aula. En términos de personalización y equidad educativa, las herramientas de CAL son relevantes para garantizar que ningún estudiante se quede atrás, proporcionando educación personalizada que se adapte a las necesidades específicas que los profesores detecten. Esta capacidad de individualización de la tecnología educativa es aún más importante en contextos donde los recursos tradicionales son limitados o de menor calidad.

En resumen, la investigación futura sobre el CAL debe centrarse en asegurar la sostenibilidad de sus efectos, expandir su aplicabilidad a diversas disciplinas y optimizar su uso. El apoyo de las políticas educativas a estas investigaciones y a la adopción de tecnologías educativas que personalicen el aprendizaje y promuevan la equidad resulta decisivo en estos momentos. Solo avanzando por este camino podrá el CAL realizar su potencial de transformar la educación y mejorar significativamente los resultados de aprendizaje a nivel global.

BIBLIOGRAFÍA

ABBEY, C., GREEN, E., MO, D., LAI, F., BAI, Y., ZHANG, L., BIANCHI, N., MA, Y., FENG, Y., CLARK, T., FAFCHAMPS, M., y YANG, S. (2024). The effectiveness of EdTech on student learning outcomes in China: A systematic review and meta-analysis. *Computers and Education Open*, 6, 100161.

BAI, Y., MO, D., ZHANG, L., BOSWELL, M., y ROZELLE, S. (2016). The impact of integrating ICT with teaching: Evidence from a randomized

controlled trial in rural schools in China. *Computers & Education*, 96, 1–14.

BAI, Y., TANG, B., WANG, B., MO, D., ZHANG, L., ROZELLE, S., AUDEN, E., y MANDELL, B. (2023). Impact of online computer assisted learning on education: Experimental evidence from economically vulnerable areas of China. *Economics of Education Review*, 94, 102385.

BANERJEE, A. V., COLE, S., DUFLO, E., y LINDEN, L. (2007). Remediating education: Evidence from two randomized experiments in India. *The Quarterly Journal of Economics*, 122(3), 1235–1264.

BANERJEE, A. V., y DUFLO, E. (2016). *Structured study time, self-efficacy, and tutoring*. Mimeo.

BEG, S. A., FITZPATRICK, A. E., y LUCAS, A. (2023). *Managing to learn* (Working Paper No. 31757). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w31757>

BEG, S. A., LUCAS, A., HALIM, W., y SAIF, U. (2019). Engaging teachers with technology increased achievement, bypassing teachers did not. *Technical Report w25704*. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.

BETTINGER, E., FAIRLIE, R., KAPUZA, A., KARDANOVA, E., LOYALKA, P., y ZAKHAROV, A. (2023). Diminishing marginal returns to Computer-Assisted Learning. *Journal of Policy Analysis and Management*, 42, 552-570. <https://doi.org/10.1002/pam.22442>

BORMAN, G. D., BENSON, J. G., y OVERMAN, L. (2009). A randomized field trial of the Fast ForWord Language Computer-Based Training Program. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 31(1), 82–106.

BOUGUEN, A. (2016). Adjusting content to individual student needs: Further evidence from an in-service teacher training program. *Economics of Education Review*, 50, 90–112.

BÜCHEL, K., JAKOB, M., KÜHNHANS, C., STEFFEN, D., y BRUNETTI, A. (2022). The relative effectiveness of teachers and learning software: Evidence from a field experiment in El Salvador. *Journal of Labor Economics*, 40(3), 737-777.

BULMAN, G., y FAIRLIE, R. (2016). Technology and Education. En *Handbook of the Economics of Education*, vol. 5 (pp. 239–280). Elsevier.

CAMPUZANO, L., DYNARSKI, M., AGODINI, R., y RALL, K. (2009). *Effectiveness of Reading and Mathematics software products: Findings from two student cohorts*. NCEE 2009-4041. Technical report, U.S. Department of Education.

DEAULT, L., SAVAGE, R., y ABRAMI, P. (2009). Inattention and response to the ABRACADABRA Web-Based Literacy Intervention. *Journal of Research on Educational Effectiveness*, 2(3), 250–286.

DE VERA, M., GARCÍA-BRAZALES, J., y RELLO, L. (2024). Game changer: Impact of a reading intervention on cognitive and non-cognitive skills. *IZA DP No. 16937*.

EREN, O., DEPEW, B., y BARNES, S. (2017). Test-based promotion policies, dropping out, and juvenile crime. *Journal of Public Economics*, 153, 9–31.

ESCUETA, M., NICKOW, A. J., OREOPOULOS, P., y QUAN, V. (2020). Upgrading education with technology: Insights from experimental research. *Journal of Economic Literature*, 58(4), 897–996.

FABER, J. M., y VISSCHER, A. J. (2018). The effects of a digital formative assessment tool on spelling achievement: Results of a randomized experiment. *Computers & Education*, 122, 1–8.

HIRATA, G. (2022). Play to learn: The impact of technology on students' math performance. *Journal of Human Capital*, 16(3), 437-459.

JACOB, B. (2017). When evidence is not enough: Findings from a randomized evaluation of Evidence-Based Literacy Instruction (EBLI). *Labour Economics*, 45, 5–16.

JACOB, B. A., y LEFGREN, L. (2004). Remedial education and student achievement: A regression-discontinuity analysis. *Review of Economics and Statistics*, 86(1), 226–244.

JOHNSON, H., McNALLY, S., ROLFE, H., RUIZ-VALENZUELA, J., SAVAGE, R., VOUSDEN, J., y WOOD,

C. (2019). Teaching assistants, computers and classroom management. *Labour Economics*, 58, 21–36.

LAI, F., ZHANG, L., BAI, Y., LIU, C., SHI, Y., CHANG, F., y ROZELLE, S. (2016). More is not always better: Evidence from a randomised experiment of computer-assisted learning in rural minority schools in Qinghai. *Journal of Development Effectiveness*, 8(4), 449–472.

MURALIDHARAN, K., SINGH, A., y GANIMIAN, A. J. (2019). Disrupting education? Experimental evidence on technology-aided instruction in India. *American Economic Review*, 109(4), 1426–1460.

OCDE. (2023). PISA 2022 Results (Volume I). *The state of learning and equity in education*, PISA. OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>

OREOPOULOS, P., GIBBS, C., JENSEN, M., y PRICE, J. (2024). Teaching teachers to use computer assisted learning effectively: Experimental and quasi-experimental evidence. *NBER Working Paper No. 32388*.

ROUSE, C. E., y KRUEGER, A. B. (2004). Putting computerized instruction to the test: A randomized evaluation of a “scientifically based” reading program. *Economics of Education Review*, 23(4), 323–338.

RODRIGUEZ-SEGURA, D. (2022). EdTech in developing countries: A review of the evidence. *World Bank Research Observer* 37(2), 171-203.

SEVILLA, A., CUEVAS-RUIZ, J., RELLO, L., y SANZ, C. (2021). Evaluating the impact of the DyetectiveU Program in the Community of Madrid. *Cuadernos Económicos del ICE*, 101, 15-45.

SLAVIN, R. E., LAKE, C., DAVIS, S., y MADDEN, N. A. (2011). Effective programs for struggling readers: A best-evidence synthesis. *Educational Research Review*, 6(1), 1–26.

WIJEKUMAR, K., MEYER, B. J. F., LEI, P.-W., LIN, Y.-C., JOHNSON, L. A., SPIELVOGEL, J. A., SHURMATZ, K. M., RAY, M., y COOK, M. (2014). Multisite randomized controlled trial examining intelligent

tutoring of structure strategy for fifth-grade readers. *Journal of Research on Educational Effectiveness*, 7(4), 331–357.

WIJEKUMAR, K. K., MEYER, B. J. F., y LEI, P. (2012). Large-scale randomized controlled trial with 4th graders using intelligent tutoring of the structure strategy to improve nonfiction reading comprehension. *Educational Technology Research and Development*, 60(6), 987–1013.

