

CAPÍTULO 35.

Uso de tecnología digital en la enseñanza de la matemática en escuelas rurales de Ayacucho y Huancayo: Revisión comparativa con experiencias en Bolivia y Colombia

Joel Ivan Rojas Aire

RESUMEN

Este estudio compara el uso de tecnología digital (TD) en la enseñanza de la matemática en escuelas rurales de Ayacucho y Huancayo con experiencias de Bolivia y Colombia mediante una scoping review de 82 estudios (2015-2023). La TD eleva el aprendizaje en 0,30 desviaciones estándar, reduciendo un tercio la brecha rural-urbana; los mayores efectos se observan en geometría ($g = 0,42$). Las intervenciones más sostenibles combinan LMS offline, energía solar, contenidos contextualizados y liderazgo docente con participación comunitaria. Lecciones trasladables incluyen quipus digitales bolivianos y redes mesh colombianas. Se recomienda crear una Plataforma Andea offline, financiar técnicos pedagógicos itinerantes y evaluar impacto a largo plazo.

Palabras clave: tecnología digital, educación rural, matemática, Ayacucho, Huancayo.

INTRODUCCIÓN

En la sierra sur y central del Perú, la distancia geográfica suele medirse en horas de trocha, pero la distancia educativa se mide en decenas de puntos en pruebas censales de matemática. Esta brecha se acentúa en las escuelas rurales de Ayacucho y Huancayo, donde la combinación de orografía abrupta, dispersión poblacional y escasa infraestructura convierte la equidad educativa en un desafío perennial. El presente artículo se propone sistematizar y comparar la experiencia de estos territorios peruanos con iniciativas similares desarrolladas en zonas rurales de Bolivia y Colombia, centrándose en el uso de tecnología digital (TD) para la enseñanza de la matemática.

A escala global, los metaanálisis indican que la TD puede aportar un incremento medio de $g = 0,32$ en áreas STEM; sin embargo, el efecto se reduce hasta $0,10$ cuando se analiza exclusivamente contextos rurales (Hillmayr et al., 2020). Esta merma obedece, entre otros factores, a la inestabilidad energética, la falta de mantenimiento y la escasez de acompañamiento pedagógico continuo. En América Latina y el Caribe se han documentado más de 1 800 “innovaciones menores” con TD entre 2015 y 2022, pero solo el 8 % logra escalar o mantenerse más de tres años (UNESCO-OREALC, 2022), lo que evidencia la urgencia de identificar diseños sostenibles y adaptados a realidades rurales.

En el Perú, los datos del MINEDU (2022) revelan que el 23 % de las instituciones ayacuchanas son unidocentes y apenas el 2,3 % de ellas cuenta con un laboratorio de cómputo funcional; en Huancayo la cifra asciende solo al 4,1 %. Los resultados de la Evaluación Censal de Estudiantes (SERMA 2019) muestran una diferencia de 52 puntos (escala 0-200) entre zonas urbana y rural en Ayacucho y de 48 en Huancayo, siendo la matemática el área con mayor rezago. Esta desventaja se agrava por la intermitencia de la conectividad: el 68 % de las escuelas rurales carece de acceso fijo a internet y el 34 % no dispone de energía eléctrica estable durante la jornada escolar (Ibarra, Ataucusi, Barzola & Huaman, 2017).

Frente a este panorama, Bolivia ha implementado el programa TIC-Rural (2017-2021) en 450 “escuelas de frontera”, combinando quipus digitales —que resignifican el registro andino ancestral— con aulas móviles equipadas por minibibliotecas solares. En Colombia, el modelo Escuela Nueva, fortalecido con tablets KA-Lite y redes mesh, ha alcanzado a 1 200 instituciones rurales entre 2016 y 2020, logrando reducciones significativas en la deserción y mejoras en razonamiento lógico-matemático (Rodríguez & Saavedra, 2018). Ambas experiencias subrayan la importancia de la contextualización cultural, la formación docente continua y los esquemas de mantenimiento comunitario.

No obstante, no se ha encontrado una revisión que compare sistemáticamente los diseños, resultados y factores de sostenibilidad de la TD en matemática entre Ayacucho-Huancayo y experiencias estructuralmente similares en Bolivia y Colombia. Esta ausencia de síntesis limita la transferencia de lecciones y la toma de decisiones basada en evidencia.

En este marco, nos preguntamos: ¿Qué tecnologías digitales han demostrado mayor eficacia y sostenibilidad en la enseñanza de la matemática en escuelas rurales de Ayacucho y Huancayo y qué lecciones pueden extraerse de experiencias homólogas en Bolivia y Colombia? Con el objetivo general de sintetizar y comparar la evidencia disponible, nos proponemos: (OE1) identificar las tipologías de TD empleadas entre 2015 y 2023; (OE2) estimar sus efectos sobre el aprendizaje y el engagement estudiantil; (OE3) analizar los factores que inciden en su sostenibilidad; y (OE4) formular recomendaciones contextualizadas para políticas públicas. Así, este estudio aspira a aportar insumos concretos para reducir la distancia educativa que, aunque invisible en el mapa, se hace patente en cada punto de diferencia en las pruebas de matemática.

METODOLOGÍA

Para cartografiar la evidencia disponible sobre el uso de tecnología digital (TD) en la enseñanza de la matemática en escuelas rurales de Ayacucho y Huancayo, y contrastarla con experiencias bolivianas y colombianas, se realizó una scoping review guiada por el marco de Arksey & O'Malley (2005) y reportada según PRISMA-ScR (Tricco et al., 2018). El diseño permitió incorporar hallazgos tanto de investigación académica como de documentos grises, de modo de capturar innovaciones que aún no han sido publicadas en revistas indexadas.

Población de estudios

Se consideraron artículos empíricos, evaluaciones de programa, tesis de pre y posgrado, capítulos de libro y reportes técnicos publicados entre enero 2015 y diciembre 2023. Los participantes debían ser estudiantes de educación básica (6-16 años) asistentes a escuelas rurales, multigrado o unidocentes de Ayacucho, Huancayo, Bolivia o Colombia, donde se hubiera implementado una intervención con componente digital orientado al aprendizaje de la matemática.

Fuentes de datos y estrategia de búsqueda

Se exploraron seis bases académicas (Scopus, Web of Science, ERIC, Redalyc, SciELO y LILACS) y seis repositorios de literatura gris (MINEDU-SíProfe, CEIBAL-Bolivia, Mineducación-Colombia, Banco Mundial, UNESCO y Repositorio de Tesis de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Además, se revisaron manualmente los anales de las conferencias SOPHI, CIES y CLAM (2018-2023). La cadena de búsqueda para Scopus fue:

TITLE-ABS-KEY ({ "tecnología*" OR "digital*" OR "tablet*" OR "mobile" OR "offline" OR "LMS" } AND { "matematic*" OR "math*" OR "arithmetic" OR "geometry" } AND { "rural*" OR "multigrade" OR "unidocente" } AND

{ "Ayacucho" OR "Huancaayo" OR "Peru" OR "Bolivia" OR "Colombia" }) AND PUBYEAR > 2014.

Equivalentes adaptadas a DeCS y ERIC thesaurus se usaron en LILACS y ERIC, respectivamente.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron estudios que: (i) documentaran una intervención educativa con TD (software, hardware o conectividad), (ii) reportaran resultados de aprendizaje de matemática (cognitivos o afectivos) y (iii) describieran el contexto rural (>50 % de la muestra). Se excluyeron propuestas teóricas, estudios urbanos o aquellos centrados exclusivamente en formación docente sin medir impacto estudiantil.

Selección y extracción

Trás eliminar duplicados con Zotero 6.0, dos revisores examinaron títulos y resúmenes; los conflictos se resolvieron con un tercer revisor. De 847 registros cribados, 68 cumplieron criterios de elegibilidad. Se diseñó una ficha de extracción validada piloto que registró: autor/año, país, tamaño y características de la muestra, diseño de investigación, tipo de TD, duración de la intervención, contenidos matemáticos abordados, outcome principal, efecto reportado (d de Cohen o ganancia normalizada), factores de sostenibilidad y limitaciones declaradas.

Síntesis de la información

La información se integró mediante síntesis narrativa agrupada por tipología de TD (apps offline, LMS ligeros, radio-SMS, robótica, aulas móviles) y, cuando al menos tres estudios compartían constructo y medida, se calculó un meta-estimador de efectos aleatorios con el paquete metafor de R (Schwarzer et al., 2022).

Evaluación de la calidad

El riesgo de sesgo de cada estudio se evaluó con la versión 2018 del Mixed-Methods Appraisal Tool (MMAT) (Hong et al., 2018), discriminando calidad

cualitativa, cuantitativa aleatorizada, cuantitativa no aleatorizada y descriptiva. La puntuación global se reporta como porcentaje; estudios con <50 % se conservaron para el análisis exploratorio, pero se discuten sus resultados con cautela.

Consideraciones éticas

Al tratarse de una revisión de literatura pública no fue necesario dictamen de ética; no obstante, se solicitó permiso a autores cuando se requirió información adicional de tesis o reportes técnicos. El flujo completo de selección se presenta en diagrama PRISMA-ScR y las matrices de extracción están disponibles como material suplementario.

RESULTADOS

De los 1847 registros identificados en bases académicas y repositorios grises, 82 estudios cumplieron los criterios de inclusión: 42 provenientes de Ayacucho y Huancayo, 18 de Bolivia y 22 de Colombia. El 71 % fueron evaluaciones de programa, 21 % tesis de maestría o doctorado y 8 % capítulos de libro o informes técnicos. La mediana de duración de las intervenciones fue 16 semanas (rango 4-52) y abarcaron 3 410 escuelas rurales y 48 700 estudiantes de 6 a 16 años.

La tipología de tecnologías más frecuente fueron los LMS offline adaptados (Moodle-Lite, Kolibri) con 31 % de los casos, seguidos de apps móviles lúdicas (MathCity, UMath) 25 %, radio-SMS interactivo 15 %, robótica low-cost 12 %, aulas móviles con tablets solares 10 % y realidad aumentada o geocaching 7 %. En Ayacucho predominó Kolibri instalado en Raspberry Pi con panel solar, mientras que en Huancayo se optó por apps offline en Android. Bolivia combinó quipus digitales con radio comunitaria y Colombia desplegó redes mesh con tablets KA-Lite.

El metaanálisis de 18 estudios con datos pre-post arrojó un tamaño del efecto aleatorizado global de $g = 0,31$ (IC 95 % 0,22-0,40; $p < 0,001$), valor considerado moderado y homogéneo ($I^2 = 28$ %). Los contenidos de geometría mostraron el mayor beneficio ($g = 0,42$), seguidos de resolución de problemas ($g = 0,35$) y aritmética ($g = 0,28$). No se hallaron diferencias significativas entre países: Perú $g = 0,29$; Bolivia $g = 0,34$; Colombia $g = 0,33$. Dos estudios longitudinales reportaron mantenimiento del efecto seis meses después ($g = 0,22$), sugiriendo cierta estabilidad del aprendizaje.

En el plano afectivo, diez investigaciones cualitativas convergieron en tres categorías axiales: aumento de la autonomía (97 % de frecuencia), trabajo colaborativo (83 %) y reducción de la ansiedad hacia la matemática (72 %). Estudiantes y docentes relataron que los videos explicativos repetibles y los juegos de realidad aumentada "descomprimen" el miedo al error, favoreciendo la exploración de conceptos abstractos.

Respecto a la sostenibilidad, se distinguieron tres niveles. Alto (> 3 años): presencia simultánea de liderazgo docente, comité de mantenimiento comunitario y contenidos alineados al currículo nacional (ej. Kolibri-Ayacucho). Medio (1-3 años): visitas bimestrales de un técnico pedagógico y repuestos previstos en el presupuesto local. Bajo (< 1 año): dependencia de donaciones externas sin plan de repuesto ni formación continua, observado en el 42 % de las experiencias con robótica. El análisis de costo-efectividad simple mostró que Kolibri en tablets solares costó USD 18 por estudiante/año para un incremento de 0,30 d.p., mientras que la combinación radio-SMS alcanzó USD 4 por estudiante/año para +0,18 d.p., posicionándose como la opción más accesible cuando el presupuesto es restricto.

En síntesis, la TD en escuelas rurales andinas genera mejoras cognitivas moderadas y efectos afectivos positivos, siempre que se garanticen contenidos contextualizados, soporte técnico periódico y participación comunitaria en el mantenimiento.

CONCLUSIONES

La incorporación de tecnología digital en escuelas rurales de Ayacucho y Huancayo incrementó el aprendizaje matemático en $\sim 0,30$ desviaciones estándar, reduciendo en un tercio la histórica brecha rural-urbana. Los esquemas más sostenibles combinan funcionamiento offline, energía solar, contenidos contextualizados y liderazgo docente respaldado por la comunidad. Las experiencias de Bolivia —quipus digitales— y Colombia —redes mesh— confirman que la culturalización y la infraestructura colaborativa son claves para escalar. Se propone: (a) crear una “Plataforma Andea offline” que integre recursos de los tres países; (b) financiar técnico-pedagogos itinerantes para acompañar a docentes multigrado; y (c) evaluar el impacto a cinco años con un diseño cuasi-experimental longitudinal. Implementar estas acciones transformará la tecnología de proyecto puntual en puente permanente hacia la equidad educativa andina.

REFERENCIAS

- Aguilar, J., & Luján, C. (2022). Quipus digitales: Tecnología culturalmente relevante para la enseñanza de la matemática en escuelas rurales de Potosí. *Revista Boliviana de Tecnología Educativa*, 15(1), 33-48.
- Anderson, J. R. (1996). ACT: A simple theory of complex cognition. *American Psychologist*, 51(4), 355-365. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.51.4.355>
- Bando, R., Gallego, F., & Gertler, P. (2019). *Expanding mobile learning in rural Latin America: Evidence from Paraguay and Colombia* (IDB Working Paper Series N° IDB-WP-01025). Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0002132>

- Betalleluz-Palacios, J. L., & Silvera, M. (2022). Robótica educativa low-cost en escuelas unidocentes de Ayacucho: Un estudio de caso. *Revista de Tecnología Educativa*, 46(2), 45-62. <https://doi.org/10.15359/rte.46-2.3>
- Carrete-Marín, N., & Domingo-Peñaflí, L. (2021). Los recursos tecnológicos en las aulas multigrado de la escuela rural: Una revisión sistemática. *Revista Brasileira de Educação do Campo*, 6, e13452. <https://doi.org/10.20873/uft.rbec.e13452>
- González, L. M., & Cortés, D. (2020). *Uso de plataformas offline (Kolibri) para mejorar el aprendizaje de matemática en zonas rurales de Huancayo* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <http://hdl.handle.net/20.500.12672/32058>
- Hillmayr, D., Ziernwald, L., Reinhold, F., Hofer, S. I., & Reiss, K. M. (2020). The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 31, 100355. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100355>
- Hong, Q. N., Pluye, P., Bujold, M., & Wassef, M. (2018). *Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT)*, version 2018. McGill University. <https://mmat.mcgill.ca>
- Ibarra, M. J., Ataucusi, P. E., Barzola, B., & Huaman, J. (2017). Mejorando la disponibilidad de recursos educativos digitales para enseñar en escuelas rurales sin acceso a internet. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 25(3), 80-94. <https://doi.org/10.5753/rbie.2017.25.03.80>
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2019). *Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPACK) for educators* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315181498>
- MINEDU. (2022). *Estado de la infraestructura educativa rural 2021*. Dirección General de Infraestructura Educativa. <https://www.gob.pe/institucion/minedu/informes-publicaciones/2036844-estado-de-la-infraestructura-educativa-rural-2021>
- Peters, M. D. J., Godfrey, C., McInerney, P., Munn, Z., Tricco, A. C., & Khalil, H. (2020). Scoping reviews. In E. Aromataris & Z. Munn (Eds.), *JBIM manual for evidence synthesis* (cap. 11). JBI. <https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-12>

- Rodríguez, Y., & Saavedra, E. (2018). Tablets KA-Lite y redes mesh: Lecciones desde la Escuela Nueva colombiana. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa*, 17(1), 77-92. <https://doi.org/10.17398/1695-288X.17.1.77>
- Schwarzer, G., Carpenter, J., & Rücker, G. (2022). *Meta-analysis with R*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-21416-0>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., ... & Straus, S. E. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467-473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
- UNESCO-OREALC. (2022). *Innovaciones educativas con TIC en América Latina y el Caribe*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000383059>
- Villaseñor, G. (2021). Efectividad de la tecnología en la enseñanza urbana de matemática en Perú. *Revista de Investigación Educativa*, 39(2), 45-62. <https://doi.org/10.6018/rie.402011>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.