



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2026,
Volumen 10, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rm.v10i4

CRITERIOS DIDÁCTICOS, VISUALES Y TECNOLÓGICOS PARA ARTEFACTOS DIGITALES MATEMÁTICOS

**DIDACTIC, VISUAL AND TECHNOLOGICAL CRITERIA
FOR DIGITAL MATHEMATICAL ARTIFACTS**

Marco Vinicio Gutiérrez Montenegro
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Criterios Didácticos, Visuales y Tecnológicos para Artefactos Digitales Matemáticos

Marco Vinicio Gutiérrez Montenegro¹

vgutierrez@iter.ac.cr

<https://orcid.org/0009-0004-0293-1578>

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Matemática
Cartago, Costa Rica

RESUMEN

La expansión de recursos digitales en la enseñanza de la matemática universitaria ha ampliado las posibilidades de visualización, exploración y retroalimentación; sin embargo, su disponibilidad no asegura comprensión conceptual. Una parte importante de la literatura reporta mejoras de rendimiento o percepciones favorables del estudiantado, pero discute con menor profundidad las decisiones didácticas, visuales y tecnológicas que hacen que un recurso funcione como artefacto para aprender matemática. Este artículo presenta una revisión narrativa y analítica de literatura especializada con el objetivo de proponer una matriz de criterios para diseñar y evaluar artefactos digitales matemáticos en educación superior. El análisis integra aportes sobre recursos digitales, GeoGebra, representaciones múltiples, interactividad, usabilidad, diseño multimedia y carga cognitiva, con especial atención a evidencia latinoamericana e iberoamericana. Como resultado se propone una matriz de ocho dimensiones: rigor matemático, representaciones múltiples, interactividad significativa, diseño visual y multimedia, carga cognitiva, usabilidad y accesibilidad, retroalimentación didáctica y evaluación del aprendizaje. La matriz se concibe como herramienta de análisis para orientar decisiones docentes y de diseño, no como receta técnica. Se concluye que la innovación digital en matemática debe valorarse por su capacidad para organizar actividad matemática con sentido y no por la novedad de la herramienta utilizada.

Palabras clave: diseño instruccional; geogebra; interactividad; carga cognitiva; educación superior

¹ Autor principal

Correspondencia: vgutierrez@iter.ac.cr

Didactic, Visual and Technological Criteria for Digital Mathematical Artifacts

ABSTRACT

The expansion of digital resources in university mathematics teaching has broadened opportunities for visualization, exploration and feedback; however, their availability does not ensure conceptual understanding. A substantial part of the literature reports achievement gains or favorable student perceptions, but pays less attention to the didactic, visual and technological decisions that allow a resource to become an artifact for learning mathematics. This article presents a narrative and analytical review of specialized literature aimed at proposing a matrix of criteria for designing and evaluating mathematical digital artifacts in higher education. The analysis integrates contributions on digital resources, GeoGebra, multiple representations, interactivity, usability, multimedia design and cognitive load, with particular attention to Latin American and Ibero-American evidence. As a result, an eight-dimensional matrix is proposed: mathematical rigor, multiple representations, meaningful interactivity, visual and multimedia design, cognitive load, usability and accessibility, didactic feedback and learning assessment. The matrix is conceived as an analytical tool to guide teaching and design decisions, not as a technical recipe. The article concludes that digital innovation in mathematics should be judged by its capacity to organize meaningful mathematical activity rather than by the novelty of the tool employed.

Keywords: digital artifacts; GeoGebra; interactivity; cognitive load; higher education mathematics

*Artículo recibido 20 junio 2026
Aceptado para publicación: 20 julio 2026*



INTRODUCCIÓN

La enseñanza universitaria de la matemática convive hoy con una oferta amplia de simulaciones, applets, videos, cuestionarios automatizados, laboratorios virtuales, hojas dinámicas, entornos de geometría dinámica y sistemas de inteligencia artificial generativa. Esta disponibilidad modifica las condiciones de trabajo docente, pero también introduce un problema que no puede reducirse a la presencia o ausencia de tecnología: la necesidad de criterios explícitos para diseñar, seleccionar y evaluar recursos digitales con sentido matemático.

El problema no es menor. En cursos iniciales de cálculo, álgebra lineal, funciones y modelación se mantienen dificultades persistentes asociadas con la comprensión conceptual, la coordinación de representaciones y la transferencia de procedimientos a situaciones nuevas. Guarín Amoroch y Parada Rico (2023) muestran, en el caso del límite de una función en un punto, que la comprensión se expresa mediante acciones y formulaciones complejas que no se agotan en la ejecución algorítmica. En ese contexto, un artefacto digital puede abrir posibilidades de exploración y visualización, pero también puede reforzar una manipulación superficial si no está sostenido por una intención didáctica clara.

La literatura reciente confirma la expansión del campo. Trgalová (2024) describe el crecimiento de los recursos digitales en educación matemática como un objeto de investigación propio. Pepin et al. (2017) destacan que los recursos curriculares digitales transforman las relaciones entre docentes, estudiantes y contenidos, mientras que Weigand et al. (2024) advierten que la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación de la matemática en la era digital exigen nuevos marcos de análisis. Estos aportes coinciden en un punto decisivo: la tecnología no actúa de manera aislada; su valor depende de las decisiones de diseño, de la tarea matemática y de la mediación docente.

Una tendencia frecuente en los estudios disponibles consiste en valorar los recursos digitales por su efecto en el rendimiento académico o por la percepción favorable del estudiantado. Ambos indicadores son importantes, pero resultan insuficientes. Un recurso puede mejorar calificaciones en una actividad puntual sin producir comprensión profunda; también puede ser valorado positivamente por su novedad visual sin articular adecuadamente conceptos, símbolos y representaciones. Por ello, evaluar un artefacto digital matemático exige mirar dimensiones que suelen quedar implícitas: rigor conceptual,



representaciones múltiples, interactividad significativa, diseño visual, gestión de la carga cognitiva, usabilidad, accesibilidad, retroalimentación y evaluación del aprendizaje.

El objetivo de este artículo es proponer una matriz de criterios didácticos, visuales y tecnológicos para orientar el diseño y la evaluación de artefactos digitales en la enseñanza de la matemática universitaria, a partir de una revisión narrativa y analítica de literatura especializada. La tesis central es que la literatura muestra un crecimiento importante en el uso de GeoGebra, recursos digitales, simuladores, multimedios e inteligencia artificial, pero todavía falta una articulación clara de criterios que permita pasar de usar herramientas a diseñar experiencias matemáticas con fundamento.

El texto se organiza en cinco momentos. Primero se describe la metodología de revisión narrativa. Luego se desarrollan los principales ejes teóricos: artefactos digitales en educación matemática, representaciones múltiples e interactividad, diseño visual, usabilidad y carga cognitiva, GeoGebra y otros entornos dinámicos, y evidencia latinoamericana sobre recursos digitales. Enseguida se presenta la matriz de criterios como aporte original del artículo, junto con un ejemplo de aplicación al cálculo diferencial. Finalmente, se discuten alcances, limitaciones y líneas futuras de investigación.

Metodología de revisión narrativa

Este trabajo corresponde a una revisión narrativa y analítica de literatura. La decisión metodológica es deliberada: no se pretende realizar una revisión sistemática ni estimar efectos agregados mediante metaanálisis. Tampoco se aplicó el protocolo PRISMA completo. El propósito fue integrar aportes teóricos y empíricos pertinentes para construir una propuesta metodológica de criterios aplicables al diseño y evaluación de artefactos digitales matemáticos.

La base bibliográfica se conformó a partir de tres fuentes complementarias y se delimitó temporalmente mediante un criterio de recencia. Se priorizó literatura publicada entre 2015 y 2026, sin excluir referencias anteriores únicamente cuando resultaban indispensables para sostener marcos conceptuales sobre diseño multimedia, recursos digitales o educación matemática. Consensus permitió localizar literatura internacional sobre recursos digitales, GeoGebra, artefactos digitales, diseño multimedia, carga cognitiva y usabilidad. SciELO aportó producción regional e iberoamericana en español, especialmente sobre recursos educativos digitales, cálculo universitario, evaluación de recursos y experiencias con GeoGebra.



También se revisaron artículos publicados en Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar relacionados con GeoGebra, recursos digitales y enseñanza de la matemática, con el fin de identificar antecedentes regionales pertinentes.

La estrategia de búsqueda combinó descriptores en español e inglés mediante operadores booleanos, ajustados a la sintaxis de cada plataforma. Entre las cadenas utilizadas se incluyeron: “GeoGebra” AND “higher education”; “digital artifacts” AND “mathematics education”; “recursos educativos digitales” AND “matemática universitaria”; “artefactos digitales” AND “educación matemática”; “GeoGebra” AND “cálculo diferencial”; (“cognitive load” OR “usability”) AND “mathematics”; y (“carga cognitiva” OR “usabilidad”) AND “recursos digitales”. Estas combinaciones permitieron recuperar estudios sobre diseño, uso, evaluación y mediación didáctica de recursos digitales matemáticos.

Los criterios de inclusión fueron: pertinencia con educación matemática; relación directa con recursos digitales, artefactos interactivos, GeoGebra, usabilidad, diseño multimedia, carga cognitiva o evaluación de recursos; preferencia por publicaciones recientes; incorporación de evidencia latinoamericana e iberoamericana; y disponibilidad de DOI o URL verificable cuando estuviera presente. Se excluyeron trabajos sin relación directa con matemática, referencias centradas solo en percepción tecnológica sin aporte didáctico, documentos duplicados y registros sin información bibliográfica suficiente para su trazabilidad.

El conjunto final quedó integrado por treinta referencias, seleccionadas por su contribución a los ejes del artículo. El análisis se organizó temáticamente y no como una descripción autor por autor. Esta estrategia permitió identificar coincidencias, tensiones y vacíos entre estudios internacionales, latinoamericanos y regionales. La principal limitación metodológica es que la selección involucra juicio interpretativo del autor y no agota la literatura disponible. No obstante, esa condición es coherente con el propósito del artículo: producir una síntesis crítica y proponer una herramienta de análisis.

Desarrollo del tema

Artefactos digitales en educación matemática

Antes de proponer criterios conviene precisar el vocabulario. En la práctica docente suelen emplearse como equivalentes términos como recurso digital, objeto de aprendizaje, applet, simulador, ambiente dinámico y artefacto digital. Aunque se relacionan, no significan exactamente lo mismo.



Un recurso digital es cualquier material electrónico susceptible de uso educativo. Un objeto de aprendizaje se diseña con un propósito instruccional definido y con posibilidad de reutilización. Un applet es una aplicación interactiva acotada a una tarea concreta. Un simulador modela el comportamiento de un fenómeno o sistema y permite manipular variables. Un ambiente dinámico ofrece un espacio de construcción, vinculación y transformación de objetos matemáticos.

La noción de artefacto digital es más exigente porque desplaza la atención desde el archivo o herramienta hacia la actividad matemática que media. Baccaglini-Frank et al. (2024) analizan los artefactos digitales en educación matemática desde los procesos de aprendizaje que promueven y subrayan que su potencial no reside únicamente en el objeto, sino en la relación entre diseño, tarea y participación docente. Así, un mismo applet de derivada puede ser un recurso disponible en línea, un objeto de aprendizaje si posee finalidad instruccional explícita, y un artefacto si organiza una actividad matemática situada.

Esta distinción tiene consecuencias para la evaluación. Si se concibe un recurso solo como herramienta técnica, se revisará si funciona, si carga rápido o si resulta atractivo. Si se concibe como artefacto, se preguntará qué acción matemática habilita, qué representaciones coordina, qué conjeturas provoca, qué errores permite analizar y qué evidencia de comprensión produce. Pepin et al. (2017) ya señalaban que los recursos digitales modifican interacciones curriculares, mientras que Trgalová (2024) y Weigand et al. (2024) sitúan el campo en una discusión más amplia sobre sistemas de recursos, prácticas docentes y evaluación en la era digital.

Por tanto, el paso relevante no es acumular herramientas, sino diseñar experiencias matemáticas mediadas. Un artefacto digital de calidad no se define por la cantidad de controles, colores o animaciones que contiene, sino por la coherencia entre objetivo matemático, tarea, representación, interacción y retroalimentación. Esta idea sostiene las dimensiones de la matriz propuesta más adelante.

Representaciones múltiples e interactividad matemática

La comprensión matemática se apoya en la coordinación de representaciones. En el caso del cálculo, por ejemplo, una función puede expresarse verbalmente, mediante una fórmula, una tabla, una gráfica y una variación dinámica. La potencia de un artefacto digital no consiste en mostrar muchas representaciones simultáneamente, sino en hacer visibles sus vínculos. Chiu y Churchill (2015)



sostienen que el diseño de materiales digitales para aprender conceptos matemáticos se fortalece cuando integra principios de aprendizaje multimedia con teoría de la variación. Desde esta perspectiva, modificar un parámetro y observar cambios coordinados en distintas representaciones constituye una decisión didáctica, no un recurso decorativo.

La interactividad también requiere precisión. No toda interacción es significativa. Pulsar botones, reproducir una animación o arrastrar un objeto sin propósito puede generar participación aparente sin razonamiento matemático. La interactividad significativa exige manipular parámetros, anticipar resultados, formular conjeturas, verificar relaciones y justificar lo observado. Radović et al. (2018) muestran que los applets de GeoGebra integrados en un texto matemático interactivo pueden favorecer aprendizaje y retención, pero ese resultado debe leerse desde el diseño de las tareas que orientan la exploración.

En cálculo diferencial, la visualización dinámica resulta especialmente fértil. Aguilar-Salinas et al. (2021) trabajan problemas de tasas de variación relacionadas mediante GeoGebra, mientras que Fuentes Lara y Aguilar Salinas (2022) proponen una secuencia didáctica apoyada en problemas de optimización. En ambos casos, el valor del entorno dinámico no se limita a graficar; aparece en la posibilidad de modelar relaciones, modificar condiciones, analizar variaciones y conectar lo visual con lo algebraico. No obstante, existe un riesgo: la fluidez visual de una animación puede producir ilusión de comprensión. Observar una recta tangente desplazarse sobre una curva no equivale a comprender la derivada como razón de cambio instantánea. Por ello, un artefacto debe invitar al estudiante a anticipar, explicar y transferir. La representación dinámica debe operar como puente conceptual, no como espectáculo visual.

Diseño visual, usabilidad y carga cognitiva

Un artefacto matemáticamente correcto puede fracasar si su diseño visual dificulta la lectura, dispersa la atención o sobrecarga la memoria de trabajo. La teoría del aprendizaje multimedia y la teoría de la carga cognitiva ofrecen principios relevantes para este problema. Noetel et al. (2021), en una revisión de revisiones con metaanálisis, confirman la importancia de principios como señalización, contigüidad espacial y temporal, segmentación y reducción de información irrelevante.



En un artefacto matemático esto implica que la ecuación, la gráfica, los controles y la explicación deben aparecer coordinados, no distribuidos de forma arbitraria.

La carga cognitiva se traduce en decisiones concretas. Una pantalla saturada de botones, textos, colores y símbolos puede impedir que el estudiante identifique el objeto matemático central. La segmentación permite presentar una idea por etapas; la señalización orienta la mirada hacia lo relevante; la contigüidad evita que el estudiante deba buscar en zonas separadas de la pantalla los elementos que necesita integrar. Chiu y Churchill (2015) añaden que el diseño debe provocar variaciones pertinentes para el concepto, evitando tanto la simplificación excesiva como la sobrecarga visual.

La usabilidad constituye otra dimensión crítica. Estrada-Molina et al. (2022) revisan la evaluación de usabilidad en tecnología educativa desde la enseñanza de la matemática y muestran la pertinencia de estándares y criterios para valorar recursos digitales. En el contexto de un artefacto matemático, la usabilidad incluye navegación clara, instrucciones comprensibles, compatibilidad técnica, estabilidad, tiempos de respuesta adecuados y posibilidad de uso en distintos dispositivos.

La accesibilidad no debe considerarse un añadido posterior. En matemática es común codificar información mediante color: función original, derivada, recta secante, tangente, área o región de integración. Si el significado depende solo del color, parte del estudiantado puede quedar excluido. El diseño debe combinar color con etiquetas, grosor, estilos de línea, posición y texto. En entornos universitarios latinoamericanos, además, la adaptabilidad a teléfonos y computadoras de distinta capacidad técnica condiciona la posibilidad real de uso. Un artefacto que no se puede leer, abrir o manipular con claridad pierde valor didáctico antes de iniciar la actividad matemática.

GeoGebra y otros entornos dinámicos en matemática

GeoGebra ocupa un lugar central en la literatura sobre tecnología para la educación matemática. Su valor reside en integrar geometría, álgebra, cálculo, hojas de cálculo, gráficos, programación y recursos interactivos en un mismo entorno. Zhang et al. (2023) reportan, en un metaanálisis de dos décadas, efectos positivos de la visualización dinámica con GeoGebra sobre el aprendizaje matemático, especialmente en temas de cálculo y geometría. Sin embargo, el mismo tipo de evidencia invita a la cautela: los efectos tienden a depender del diseño de la intervención, la duración, el tamaño del grupo y el tipo de tarea.



Yohannes y Chen (2021) revisan artículos sobre GeoGebra publicados entre 2010 y 2020 y observan concentración temática en geometría y análisis, así como vacíos en aspectos como carga cognitiva, compromiso y ansiedad. Gökçe y Güner (2022) complementan esta lectura desde una perspectiva bibliométrica del ecosistema GeoGebra. Ziatdinov y Valles (2022) amplían el enfoque al integrar modelación, visualización y programación para temas STEM. En conjunto, estas referencias muestran que GeoGebra no debe entenderse solo como graficador, sino como entorno para construir, explorar, modelar y comunicar relaciones matemáticas.

La evidencia iberoamericana confirma su presencia en cálculo y matemática para ingeniería. Laderas Huillcahuari et al. (2023) analizan la enseñanza del cálculo diferencial e integral asistida con GeoGebra; Guerrero Chirinos et al. (2025) estudian rendimiento y comprensión de la derivada en estudiantes de ingeniería; Ortega et al. (2024) abordan cálculo integral en ingeniería civil; y Berber Palafox et al. (2024) documentan el uso de GeoGebra en matemáticas para ingeniería. PUSDÁ López et al. (2022) revisan su uso como recurso de enseñanza en sistemas de ecuaciones.

Estos antecedentes son valiosos, pero también revelan una limitación recurrente: muchos trabajos se concentran en comparar resultados entre grupos que usan o no usan GeoGebra, sin describir con suficiente detalle el diseño del artefacto, la calidad de las tareas, el tipo de retroalimentación o los procesos de comprensión generados. La pregunta no debería ser únicamente si GeoGebra mejora el rendimiento, sino qué características del artefacto y de la actividad matemática explican su posible efecto. Esta distinción justifica una matriz de criterios que pueda aplicarse a GeoGebra, Desmos, simuladores HTML5, laboratorios virtuales y recursos generados con apoyo de inteligencia artificial.

Evidencia latinoamericana sobre recursos digitales para matemática

La producción latinoamericana reciente ofrece aportes importantes para situar el problema. Mora Casasola (2024) realiza una revisión sistemática sobre la implementación de recursos educativos digitales en la enseñanza del cálculo diferencial, lo cual resulta especialmente pertinente para educación superior costarricense. Montesinos Murillo et al. (2024) analizan recursos digitales educativos para estudiantes universitarios, y Parra-Vallejo (2023) propone una estrategia didáctica que articula b-learning y pensamiento computacional para fortalecer el aprendizaje matemático.



Estos trabajos muestran que la preocupación por la mediación tecnológica no es externa a la región, sino parte de una agenda propia.

Otra línea relevante se concentra en la evaluación de recursos educativos digitales. Hernández Moya et al. (2024) abordan la calidad de estos recursos desde una clase metodológica instructiva; Vera Vélez et al. (2024) proponen una metodología para su implementación; Cepero Ruiz y Pérez Pino (2024) formulan un instrumento para evaluar diseño y utilización de recursos educativos digitales; y Montero-Rodríguez et al. (2022) presentan un instrumento de evaluación integral para educación a distancia. Aunque no todos estos trabajos son específicos de matemática, aportan dimensiones útiles para pensar calidad, implementación y evaluación.

En Ciencia Latina se identifican antecedentes relacionados con recursos digitales y matemática. Reyes Figueroa et al. (2023) trabajan recursos educativos digitales para funciones cuadráticas; Guerrero Chirinos et al. (2025), Ortega et al. (2024), Berber Palafox et al. (2024) y PUSDÁ López et al. (2022) aportan evidencia sobre GeoGebra en distintos contextos de aprendizaje. La presencia de estos trabajos confirma la pertinencia regional del tema, pero también refuerza la necesidad de avanzar hacia criterios transversales que no dependan de una herramienta específica.

La evidencia revisada sugiere un desarrollo desigual. Por un lado, hay abundancia de experiencias con herramientas digitales, especialmente GeoGebra. Por otro, aún falta una integración explícita entre criterios didácticos, visuales y tecnológicos. Además, el conocimiento profesional docente aparece como condición fundamental. Padilla-Escorcía et al. (2025) muestran que el conocimiento para enseñar matemática con tecnologías digitales suele evaluarse mediante autopercepción, con menor atención a prácticas concretas de diseño. En consecuencia, una matriz de criterios puede ofrecer un lenguaje común para analizar recursos, fundamentar decisiones y formar docentes en diseño didáctico digital.



Tabla 1 Clasificación de las referencias seleccionadas según eje temático

Eje temático	Referencias incluidas	Cantidad
Educación matemática digital y artefactos	Trgalová (2024); Pepin et al. (2017); Weigand et al. (2024); Baccaglini-Frank et al. (2024); Guarín Amoroch y Parada Rico (2023)	5
GeoGebra y entornos dinámicos	Zhang et al. (2023); Ziatdinov y Valles (2022); Yohannes y Chen (2021); Gökçe y Güner (2022); Radović et al. (2018); Laderas Huilcahuari et al. (2023); Fuentes Lara y Aguilar Salinas (2022); Aguilar-Salinas et al. (2021); Guerrero Chirinos et al. (2025); Ortega et al. (2024); Berber Palafox et al. (2024); Pusedá López et al. (2022)	12
Diseño multimedia, usabilidad y carga cognitiva	Estrada-Molina et al. (2022); Chiu y Churchill (2015); Noetel et al. (2021); Lindenbauer et al. (2024)	4
Recursos educativos digitales en América Latina	Montesinos Murillo et al. (2024); Hernández Moya et al. (2024); Vera Vélez et al. (2024); Cepero Ruiz y Pérez Pino (2024); Parra-Vallejo (2023); Montero-Rodríguez et al. (2022); Mora Casasola (2024); Reyes Figueroa et al. (2023)	8
Formación docente y conocimiento tecnológico	Padilla-Escorcía et al. (2025)	1

Nota. Elaboración propia a partir de la base bibliográfica depurada. Un mismo estudio podría ubicarse en más de un eje; se asignó al eje predominante según su aporte principal.

Propuesta de matriz de criterios didácticos, visuales y tecnológicos

La revisión permite sostener que la calidad de un artefacto digital matemático no se decide en una sola dimensión. Depende de la articulación entre contenido matemático, intencionalidad didáctica, representaciones, interacción, diseño visual, gestión de la carga cognitiva, usabilidad, accesibilidad, retroalimentación y evaluación. Con base en esa integración se propone una matriz de ocho dimensiones, entendida como aporte original de este artículo.

La matriz no pretende funcionar como receta ni como lista mecánica. Su finalidad es orientar preguntas de diseño y evaluación. Puede emplearse para diseñar un artefacto desde cero, revisar un recurso en construcción, seleccionar materiales existentes o valorar un artefacto antes de llevarlo al aula. Cada dimensión incluye indicadores concretos, preguntas orientadoras, una escala cualitativa de tres niveles y un descriptor de nivel alto que operacionaliza el criterio de éxito.



Se considera nivel bajo cuando el criterio está ausente o mal resuelto; medio, cuando está presente de forma parcial; y alto, cuando se resuelve de manera coherente, rigurosa y verificable con la intención didáctica.

El rigor matemático es condición necesaria. Un artefacto atractivo pero conceptualmente impreciso puede consolidar errores. Las representaciones múltiples exigen que lo verbal, algebraico, gráfico, tabular y dinámico estén conectados. La interactividad significativa demanda que el estudiante manipule, anticipe, conjeture y verifique. El diseño visual y multimedia debe orientar la atención; la carga cognitiva debe gestionarse mediante segmentación y reducción de elementos irrelevantes; la usabilidad y accesibilidad hacen posible el uso real; la retroalimentación didáctica convierte el error en oportunidad de aprendizaje; y la evaluación permite recoger evidencia de comprensión y transferencia.

Tabla 2 Matriz de criterios didácticos, visuales y tecnológicos para diseñar y evaluar artefactos digitales matemáticos

Dimensión	Indicadores concretos	Preguntas orientadoras	Nivel alto (criterio de éxito)
1. Rigor matemático	Precisión conceptual; coherencia simbólica; corrección de procedimientos; ausencia de ambigüedades.	¿Los objetos, símbolos y procedimientos son correctos? ¿Alguna notación puede inducir a error?	Ausencia de errores conceptuales; notación y procedimientos alineados con estándares universitarios.
2. Representaciones múltiples	Integración verbal, algebraica, gráfica, tabular y dinámica; conexiones explícitas; visualización al servicio de la comprensión.	¿Las representaciones se conectan entre sí? ¿La visualización aporta significado matemático o solo decora?	Conexión explícita y dinámica entre representaciones, con visualizaciones que producen significado matemático.
3. Interactividad significativa	Manipulación de parámetros; exploración guiada; retroalimentación inmediata; posibilidad de conjeturar y verificar.	¿El estudiante puede anticipar, conjeturar y comprobar? ¿La interacción va más allá de pulsar botones?	El estudiante manipula, anticipa, conjetura, verifica y justifica relaciones matemáticas.
4. Diseño visual y multimedia	Legibilidad; jerarquía visual; contraste; organización espacial; señalización de lo relevante; ausencia de saturación.	¿La mirada se orienta a lo matemáticamente importante? ¿Hay elementos que distraen?	La interfaz dirige la atención a lo esencial con legibilidad, jerarquía y ausencia de saturación.
5. Carga cognitiva	Segmentación; reducción de elementos irrelevantes; secuenciación progresiva; integración adecuada de texto, símbolos, gráficos y animaciones.	¿El artefacto evita sobrecargar la memoria de trabajo? ¿La información aparece coordinada?	La información se segmenta y coordina para reducir carga irrelevante y favorecer procesamiento conceptual.

Dimensión	Indicadores concretos	Preguntas orientadoras	Nivel alto (criterio de éxito)
6. Usabilidad y accesibilidad	Navegación clara; compatibilidad técnica; instrucciones comprensibles; colores accesibles; adaptabilidad a dispositivos.	¿Puede usarse sin instrucciones externas extensas? ¿Funciona para distintas personas y dispositivos?	El artefacto se usa de forma autónoma, estable y accesible en diversos dispositivos y condiciones.
7. Retroalimentación didáctica	Explicaciones ante errores; pistas progresivas; respuestas no binarias; conexión entre error y concepto matemático.	¿El error genera aprendizaje? ¿La retroalimentación remite al concepto y no solo a correcto o incorrecto?	Los errores activan pistas o explicaciones que conectan la respuesta con el concepto matemático.
8. Evaluación del aprendizaje	Evidencias de comprensión conceptual; análisis de errores; actividades de transferencia; rúbricas o instrumentos.	¿Qué evidencia de comprensión produce? ¿Permite transferir lo aprendido a situaciones nuevas?	Produce evidencias claras de comprensión, transferencia y análisis de errores mediante tareas o rúbricas.

Nota. Elaboración propia. Cada dimensión se valora cualitativamente en tres niveles: bajo, medio y alto. La columna de nivel alto sintetiza el criterio de éxito esperado para considerar que la dimensión se cumple con excelencia.

Para ilustrar el uso de la matriz puede considerarse una simulación dinámica de la derivada: una curva, un punto móvil, una recta secante que se aproxima a la tangente y el valor numérico de la pendiente actualizado en tiempo real. En rigor matemático, el artefacto debe evitar la idea falsa de que toda tangente toca la curva en un único punto. En representaciones múltiples, alcanza un nivel alto si vincula la gráfica, el valor numérico, la expresión algebraica y la interpretación verbal como razón de cambio. En interactividad significativa, la simulación mejora si el estudiante puede anticipar el signo de la pendiente antes de mover el punto y luego verificar su conjetura. En diseño visual y carga cognitiva, debe mostrar solo los elementos pertinentes, segmentar la transición de secante a tangente y señalar la información relevante sin saturar. En retroalimentación, una respuesta errónea sobre crecimiento o decrecimiento debería activar una explicación conceptual, no solo una marca de error. En evaluación, el artefacto podría solicitar una justificación escrita sobre el punto donde la derivada se anula en un problema de optimización.

El ejemplo muestra que un mismo recurso puede ser fuerte en unas dimensiones y débil en otras. La matriz hace visibles esas asimetrías y orienta mejoras. La Tabla 3 presenta preguntas breves que un docente puede usar antes de implementar un artefacto digital matemático.

Tabla 3 Preguntas de verificación antes de usar un artefacto digital matemático

Aspecto	Pregunta de verificación
Contenido	¿El artefacto es matemáticamente correcto y coherente con el objetivo de aprendizaje?
Propósito didáctico	¿Qué tarea matemática provoca y qué se espera que el estudiante comprenda?
Representaciones	¿Articula varias representaciones y hace explícitas sus conexiones?
Exploración	¿Permite conjeturar, manipular y verificar, o solo observar?
Diseño y carga	¿Orienta la atención a lo relevante sin saturar la pantalla?
Acceso	¿Funciona en los dispositivos del estudiantado y resulta comprensible sin ayuda externa extensa?
Error	¿Cómo responde ante un error y cómo lo conecta con el concepto matemático?
Evidencia	¿Qué evidencia de comprensión permite recoger durante o después de su uso?

Nota. Elaboración propia. Las preguntas se derivan de las ocho dimensiones de la matriz y pueden responderse de forma cualitativa antes de la implementación.

DISCUSIÓN

La matriz propuesta dialoga con la literatura revisada y, al mismo tiempo, se distancia de su tendencia dominante. Los estudios sobre GeoGebra en cálculo universitario, como los de Guerrero Chirinos et al. (2025), Ortega et al. (2024) y Berber Palafox et al. (2024), aportan evidencia sobre mejoras de rendimiento y comprensión. Sin embargo, cuando el análisis se concentra en diferencias entre grupos, quedan en segundo plano las decisiones de diseño que explican por qué un artefacto puede favorecer el aprendizaje.

El aporte de este artículo no consiste en defender una herramienta particular. GeoGebra aparece como entorno relevante por su presencia en la investigación y en la práctica docente, pero la matriz puede aplicarse a otros recursos: simuladores, applets, laboratorios virtuales, visualizaciones HTML5, textos interactivos o materiales generados con apoyo de inteligencia artificial. Esta amplitud evita convertir una herramienta en sinónimo de innovación.

Frente a los trabajos centrados en rendimiento, la propuesta incorpora dimensiones que la literatura sobre multimedia, usabilidad y carga cognitiva considera fundamentales. Noetel et al. (2021), Chiu y Churchill (2015) y Estrada-Molina et al. (2022) permiten sostener que el aprendizaje depende también de cómo se organiza la información, cómo se orienta la atención, cómo se reducen elementos irrelevantes y cómo se facilita la interacción.



En la literatura regional, instrumentos como los de Cepero Ruiz y Pérez Pino (2024) y Montero-Rodríguez et al. (2022) aportan criterios de evaluación de recursos, pero la matriz añade especificidad matemática: rigor conceptual, coordinación de representaciones e interactividad para conjeturar y justificar.

La propuesta también tiene implicaciones para la formación docente. Padilla-Escorcía et al. (2025) muestran que el conocimiento docente sobre tecnologías digitales suele estudiarse desde la autopercepción. Una matriz de criterios puede complementar esa perspectiva al ofrecer un lenguaje común para analizar prácticas concretas de diseño. Asimismo, el diseño colaborativo de materiales digitales, señalado por Lindenbauer et al. (2024), puede fortalecerse cuando distintos actores comparten criterios para revisar rigor, usabilidad, retroalimentación y evidencia de aprendizaje.

Las limitaciones del trabajo deben reconocerse. Al tratarse de una revisión narrativa, la selección de fuentes no agota el campo. La matriz no ha sido validada empíricamente, no cuenta aún con juicio de expertos ni ha sido aplicada en cursos universitarios bajo diseños de investigación. Además, varias referencias regionales carecen de DOI, aunque se conservaron por su pertinencia temática y dirección de acceso. Las líneas futuras incluyen validar la matriz con expertos, aplicarla en cursos universitarios de matemáticas, comparar artefactos mediante sus dimensiones y estudiar su utilidad para revisar recursos producidos con inteligencia artificial generativa.

CONCLUSIONES

La revisión realizada confirma que la enseñanza de la matemática universitaria dispone de un repertorio creciente de recursos digitales, entornos dinámicos, simuladores, multimedios y aplicaciones apoyadas en inteligencia artificial. Sin embargo, también muestra que la valoración de estos recursos suele apoyarse en indicadores insuficientes cuando se limita al rendimiento académico o a la percepción del estudiantado.

El principal aporte del artículo es una matriz de ocho dimensiones para diseñar y evaluar artefactos digitales matemáticos: rigor matemático, representaciones múltiples, interactividad significativa, diseño visual y multimedia, carga cognitiva, usabilidad y accesibilidad, retroalimentación didáctica y evaluación del aprendizaje.



La matriz permite explicitar decisiones que con frecuencia permanecen implícitas y desplazar el análisis desde la herramienta hacia la actividad matemática que el artefacto organiza.

La calidad de un artefacto digital matemático depende de la articulación entre contenido, intención didáctica, representaciones, interacción, diseño visual, usabilidad, retroalimentación y evaluación. Por ello, la innovación tecnológica en matemática no debe medirse por la novedad de la herramienta, sino por su capacidad para favorecer comprensión matemática profunda. La tarea pendiente es validar y refinar la matriz en contextos reales de educación superior, de manera que contribuya a un diseño más riguroso, accesible y didácticamente fundamentado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilar-Salinas, W. E., Fuentes-Lara, M. de las, Justo-López, A. C., y Martínez-Molina, A. D. (2021).

Propuesta para el tratamiento de problemas de tasas de variación relacionadas mediante el uso de GeoGebra: Un estudio de casos. *Formación Universitaria*, 14(5), 95-106.

<https://doi.org/10.4067/S0718-50062021000500095>

Baccaglini-Frank, A., Carotenuto, G., Funghi, S., Lisarelli, G., y Miragliotta, E. (2024). Digital artifacts in mathematics education: How can we study the learning processes they promote? *Bollettino dell'Unione Matematica Italiana*.

<https://doi.org/10.1007/s40574-024-00439-2>

Berber Palafox, R., Martínez Moreno, M., González Briones, J., Velázquez Sánchez, L. E., y Moreno Ramírez, R. E. (2024). Uso de GeoGebra en el aprendizaje de matemáticas en la ingeniería.

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 8(3), 2012-2027.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11391

Cepero Ruiz, Y., y Pérez Pino, M. T. (2024). Instrumento para evaluar el diseño y utilización de recursos educativos digitales. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 17(1), 54-

64. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-24952024000100054&lang=es)

[24952024000100054&lang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-24952024000100054&lang=es)

Chiu, T. K. F., y Churchill, D. (2015). Exploring the characteristics of an optimal design of digital materials for concept learning in mathematics: Multimedia learning and variation theory.

Computers & Education. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.12.001>



- Estrada-Molina, O., Fuentes-Cancell, D., y García-Hernández, A. (2022). Evaluating usability in educational technology: A systematic review from the teaching of mathematics. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*. <https://doi.org/10.31129/lumat.10.1.1686>
- Fuentes Lara, M. de las, y Aguilar Salinas, W. E. (2022). Secuencia didáctica apoyada con el software GeoGebra y problemas de optimización para el estudio de conceptos de cálculo diferencial. *Innovación Educativa*, 22(90), 9-35. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732022000300009&lang=es
- Gökçe, S., y Güner, P. (2022). Dynamics of GeoGebra ecosystem in mathematics education. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10836-1>
- Guarín Amoroch, S. A., y Parada Rico, S. E. (2023). Acciones y expresiones de la comprensión del límite de una función en un punto, por estudiantes de cálculo diferencial. *Educación Matemática*, 35(1), 197-228. <https://doi.org/10.24844/em3501.08>
- Guerrero Chirinos, R. A., Pérez Benítez, H. A., Delgado Vega, R. J., León Loaiza, M. A., y Santos Torres, R. N. (2025). GeoGebra en el rendimiento académico y la comprensión de la derivada en estudiantes de ingeniería: Un estudio cuasiexperimental. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(6). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.21873
- Hernández Moya, Y., De Armas Rodríguez, N., y Sepúlveda Peña, J. C. (2024). La calidad de los recursos educativos digitales desde una clase metodológica instructiva. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 17(4), 34-50. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-24952024000400034&lang=es
- Laderas Huillcahuari, E., Acori Flores, V., y Villa Pérez, L. (2023). Enseñanza del cálculo diferencial e integral asistido por el software GeoGebra. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 26(3), 357-377. <https://doi.org/10.12802/reime.23.2634>
- Lindenbauer, E., Infanger, E.-M., y Lavicza, Z. (2024). Enhancing mathematics education through collaborative digital material design: Lessons from a national project. *European Journal of Science and Mathematics Education*. <https://doi.org/10.30935/scimath/14323>



- Montero-Rodríguez, I., Poyeaux-Vidal, A. R., y García-Pando, N. K. (2022). Instrumento para la evaluación integral de recursos educativos digitales en la educación a distancia. *Luz*, 21(2), 5-18. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1814-151X2022000200005&lang=es
- Montesinos Murillo, S. M., Holgado Tejada, L. D., y Rozas Calderón, V. (2024). Recursos digitales educativos para estudiantes universitarios. *Horizontes Revista de Investigación en Ciencias de la Educación*, 8(35), 2277-2286. <https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v8i35.868>
- Mora Casasola, M. F. (2024). Implementación de recursos educativos digitales, una revisión sistemática desde la enseñanza del cálculo diferencial. *Revista Digital: Matemática, Educación e Internet*, 24(1), 78-96. <https://doi.org/10.18845/rdmei.v24i1.6709>
- Noetel, M., Griffith, S., Delaney, O., Harris, N., Sanders, T., Parker, P., del Pozo Cruz, B., y Lonsdale, C. (2021). Multimedia design for learning: An overview of reviews with meta-meta-analysis. *Review of Educational Research*. <https://doi.org/10.3102/00346543211052329>
- Ortega, J., Castañeda, C., Rivera-Casavilca, R., Mencia-Sanchez, N., Simon, M., y Navarro, I. (2024). Software GeoGebra y aprendizaje del cálculo integral en estudiantes de ingeniería civil - Universidad Nacional de Huancavelica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 8019-8031. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.9329
- Padilla-Escorcía, I. A., García-Rodríguez, M. L., y Aguilar-González, A. (2025). Mathematics teachers' knowledge for teaching with digital technologies: A systematic review of studies from 2010 to 2025. *Education Sciences*. <https://doi.org/10.3390/educsci15121598>
- Parra-Vallejo, M. J. (2023). Estrategia didáctica enfocada en el b-learning y el pensamiento computacional para fortalecer el aprendizaje matemático. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 16(1), 95-108. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2665-02662023000100095&lang=es
- Pepin, B., Choppin, J., Ruthven, K., y Sinclair, N. (2017). Digital curriculum resources in mathematics education: Foundations for change. *ZDM - Mathematics Education*. <https://doi.org/10.1007/s11858-017-0879-z>



- Pusdá López, M. P., Rosero Medina, R. H., y Benavides Ortiz, G. G. (2022). Evaluación del software GeoGebra como recurso de enseñanza en sistemas de ecuaciones. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 3406-3419. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2843
- Radović, S., Radojičić, M., Veljković, K., y Marić, M. (2018). Examining the effects of GeoGebra applets on mathematics learning using interactive mathematics textbook. *Interactive Learning Environments*. <https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1512001>
- Reyes Figueroa, Á. P., Torres Medina, I. C., Tumbaco Reyes, A. R., y Zea Cortez, R. R. (2023). Recursos educativos digitales y el proceso de enseñanza aprendizaje sobre funciones cuadráticas en la unidad educativa Ancón. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 3207-3246. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4651
- Trgalová, J. (2024). Digital resources for mathematics teaching and learning. *Recherches en Didactique des Mathématiques*. <https://doi.org/10.46298/rdm.12909>
- Vera Vélez, F. R., Cevallos Vélez, K. M., Macías Moya, V. P., y Carpio García, J. C. (2024). Metodología para la implementación de recursos educativos digitales. *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, 17(1), 195-206. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-24952024000100195&lang=es
- Weigand, H.-G., Trgalová, J., y Tabach, M. (2024). Mathematics teaching, learning, and assessment in the digital age. *ZDM - Mathematics Education*. <https://doi.org/10.1007/s11858-024-01612-9>
- Yohannes, A., y Chen, H.-L. (2021). GeoGebra in mathematics education: A systematic review of journal articles published from 2010 to 2020. *Interactive Learning Environments*. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.2016861>
- Zhang, Y., Wang, P., Jia, W., Zhang, A., y Chen, G. (2023). Dynamic visualization by GeoGebra for mathematics learning: A meta-analysis of 20 years of research. *Journal of Research on Technology in Education*. <https://doi.org/10.1080/15391523.2023.2250886>
- Ziatdinov, R., y Valles, J. R. (2022). Synthesis of modeling, visualization, and programming in GeoGebra as an effective approach for teaching and learning STEM topics. *Mathematics*, 10(3), Artículo 398. <https://doi.org/10.3390/math10030398>

