



Tendencias en la Enseñanza-Aprendizaje de los Métodos Numéricos. Revisión Sistemática 2014-2023.

Trends in the Teaching-Learning of Numerical Methods. Systematic Review 2014-2023.

Teresa Carrillo-Ramírez¹, María del Carmen González-Videgaray², Teresa García-Ramírez³

^{1,3}Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro - México

²Universidad Nacional Autónoma de México, Estado de México - México

Recibido: 15 de noviembre de 2024.

Aceptado: 19 de marzo de 2024.

Publicado: 01 mayo de 2025.

Resumen- Los cursos de Métodos Numéricos son obligados en las ingenierías. Sin embargo, es común que los estudiantes enfrenten dificultades para su aprendizaje por lo que es importante para los docentes conocer y compartir estrategias de enseñanza aprendizaje para mejorar este proceso. Para identificar las tendencias en la enseñanza-aprendizaje de métodos numéricos se realizó una revisión sistemática siguiendo la guía de la Declaración PRISMA 2020. La búsqueda se realizó en enero y febrero de 2024 en los índices Web of Science (WOS), Scopus y Semantic Scholar en documentos publicados en la década (2014 a 2023). Se incluyeron los estudios sobre enseñanza o aprendizaje de métodos numéricos en educación superior y se excluyeron los referentes al uso de métodos numéricos para la enseñanza de otros temas o para resolver distintos problemas. Se incluyeron 85 estudios. Los resultados fueron categorizados en: a) estrategias pedagógicas, b) herramientas computacionales empleadas y c) consideración de actitudes y motivación. Se concluye que las estrategias pedagógicas dominantes están centradas en el aprendizaje activo y que la motivación representa un factor importante para el aprendizaje. Mientras que las tecnologías se emplean como: plataforma de aprendizaje, herramienta para realizar cálculos y para experimentar o como instrumento para desarrollar habilidades. Se pudo identificar un vacío en la formación del profesorado y en el uso de teorías de didáctica de la matemática en la enseñanza-aprendizaje de Métodos Numéricos.

Palabras clave: enseñanza-aprendizaje, métodos numéricos, tecnología, revisión sistemática.

Abstract— Numerical Methods courses are a must in engineering. However, it is common for students to face difficulties in their learning, so it is important for teachers to know and share teaching-learning strategies to improve this process. To identify trends in the teaching-learning of numerical methods, a systematic review was conducted following the PRISMA 2020 Statement guidelines. The search was conducted in January and February 2024 in the Web of Science (WOS), Scopus and Semantic Scholar indexes on papers published in the decade (2014 to 2023). Studies on teaching or learning numerical methods in higher education were included and those concerning the use of numerical methods for teaching other subjects or for solving different problems were excluded. Eighty-five studies were included. The results were categorized into a) pedagogical strategies, b) computational tools used and c) consideration of attitudes and motivation. It is concluded that the dominant pedagogical strategies are focused on active learning and that motivation represents an important factor for learning. Technologies are used as a learning platform, a tool for calculations and experimentation or as an instrument to develop skills. It was possible to identify a gap in teacher training and in the use of didactic theories of mathematics in the teaching-learning of Numerical Methods.

Keywords: Numerical Methods, teaching-learning, technology, systematic review.

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: teresacr71@comunidad.unam.mx (Teresa Carrillo Ramírez).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad de Santander.

Como citar este artículo: T. Carrillo-Ramírez, M. C. González-Videgaray y T. García-Ramírez, "Tendencias en la Enseñanza-Aprendizaje de los Métodos Numéricos. Revisión Sistemática 2014-2023", Aibi revista de investigación, administración e ingeniería, vol. 13, no. 2, pp. 01-13 2025, doi: [10.15649/2346030X.4003](https://doi.org/10.15649/2346030X.4003)

I. INTRODUCCIÓN

El curso de Métodos Numéricos (MN) se imparte habitualmente en el nivel licenciatura o posgrado en el área de Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (CTIM). Su importancia es sustancial por ser la base de la matemática computacional que subyace al análisis de datos y los algoritmos más potentes que comúnmente se emplean en el ejercicio profesional del área.

Los métodos numéricos son un puente entre las matemáticas y su aplicación, siendo este último su principal objetivo [11], [21]. Su aprendizaje requiere el manejo de símbolos abstractos, representaciones gráficas y cálculos numéricos intensivos. Esto implica que se requiere de una formación matemática integral, es decir, del desarrollo de habilidades de reflexión y discusión que van más allá de lo memorístico y lo mecánico [31]. Por lo tanto, el proceso de enseñanza de las matemáticas plantea problemas de comprensión [4] y abstracción que interrelacionan razón, entendimiento, cálculo y aplicación [5]. Aunado a lo anterior, actualmente, la resolución de problemas por métodos numéricos no puede prescindir del uso de la computadora [6], [7].

El aprendizaje de los MN ha demostrado a lo largo del tiempo ser un gran reto para los estudiantes, debido a su nivel de abstracción, por lo que el curso es considerado de alta dificultad [8]. En este sentido, Leyva-Carrillo et al. [9] reportan que los estudiantes expresan que los contenidos matemáticos de MN son difíciles y poco aplicables a la vida diaria, lo que ocasiona un problema de actitudes y de compromiso hacia la materia [10], [11].

A estas dificultades se suma que se han observado en los estudiantes antecedentes académicos deficientes, poca comprensión de los algoritmos y dificultades para aplicarlos [10], [12]. Por su parte, Nease et al. [13] y Haney et al. [14] suponen que la raíz de las problemáticas proviene de la gran cantidad de contenidos, los tiempos limitados, la falta de aplicación de los conceptos y la falta de resolución de problemas provenientes del mundo real.

Por otro lado, algunos autores [15], [16] coinciden en que la enseñanza tradicional de MN comúnmente se centra en la memorización de algoritmos y en el desarrollo de las habilidades necesarias para elaborar programas computacionales. Esto da lugar a que los estudiantes sean capaces de crear un programa para resolver numéricamente un problema, pero sin comprender bien las características del método [15], provocando que no desarrollen un pensamiento crítico y analítico, presentando, además, carencias conceptuales que se reflejan en dificultades para la resolución problemas [8] específicos y la interpretación de resultados.

Como respuesta a estas problemáticas, recientemente se han venido desarrollando nuevas propuestas educativas que incluyen: el uso de herramientas computacionales para facilitar la implementación de los métodos [17], [18], la instrumentación de plataformas de aprendizaje [19], [20], el uso de nuevas metodologías pedagógicas [21], [22], [23] y la consideración de aspectos tanto cognitivos como motivacionales [24], [25], particularmente, estrategias basadas en el aprendizaje activo. Estas estrategias requieren del estudiante, además de un trabajo intelectual, actividad social y física involucrándolo en el proceso de aprendizaje, exigiéndole que reflexione en este proceso [26].

Para brindar un panorama de cómo en el mundo se han abordado las problemáticas de la enseñanza-aprendizaje de los MN en los últimos años, el objetivo de este estudio fue:

Realizar una revisión sistemática bajo la Declaración Prisma 2020 en los índices Web of Science (WOS), Scopus y Semantic Scholar sobre las distintas propuestas de enseñanza y aprendizaje de métodos numéricos empleados en la última década (2014 a 2023), para ofrecer a los docentes un panorama actual que les apoye en su actividad docente.

Con esto se pretende responder a la pregunta de investigación: ¿Cuál es el panorama mundial de la enseñanza-aprendizaje de los métodos numéricos en la década de 2014 a 2023?

Para ello, se formularon las siguientes preguntas particulares de investigación:

Características generales:

- ¿Cuál es la distribución temporal de las publicaciones?
- ¿Cuáles son las regiones del mundo que más publican sobre este tema?
- ¿En qué índices o bases de datos se ubican estas publicaciones?
- ¿Qué tipo de documentos se han publicado en este período?

Objeto de estudio:

- ¿Cuáles son las propuestas pedagógicas abordadas?
- ¿Qué herramientas computacionales se utilizan?
- ¿Qué estudios se abocan a factores como habilidades, motivación y actitudes?
- ¿Qué aspectos relevantes no han sido abordados en los estudios analizados?

II. DESARROLLO

Para la realización de la presente revisión sistemática se tomó como guía la Declaración PRISMA 2020 [27]. Para la búsqueda de artículos se seleccionaron bases de datos o índices donde se agrupan revistas de alto impacto en la tendencia mundial del conocimiento: Web Of Science (WOS) Core Collection, Scopus y Semantic Scholar.

a. Metodología

El perfil de búsqueda utilizado fue: (("NUMERICAL METHODS") AND (TEACHING OR LEARNING) NOT (OPTIMIZATION) NOT ("DEEP LEARNING") NOT ("MACHINE LEARNING")), dentro del tópico, es decir, considerando título, resumen y palabras clave; recuperando trabajos publicados entre 2014 y 2023, y ordenando por relevancia (relevance).

La búsqueda, que se realizó en enero y febrero de 2024, arrojó:

- 278 publicaciones en la base de datos WOS,
- 130 publicaciones en la base de datos Scopus y
- 502 publicaciones en la base de datos Semantic Scholar.

Con ello se obtuvieron un total de 910 publicaciones. Para el siguiente cribado se analizaron los títulos y resúmenes; en caso de que hubiera dudas, el documento se guardó para una lectura completa, tomando en cuenta los siguientes criterios de inclusión:

- El artículo debe ser sobre estudios relativos a educación superior.
- El artículo se refiere a estrategias de enseñanza o aprendizaje de métodos numéricos (*numerical methods*) o análisis numérico (*numerical analysis*).

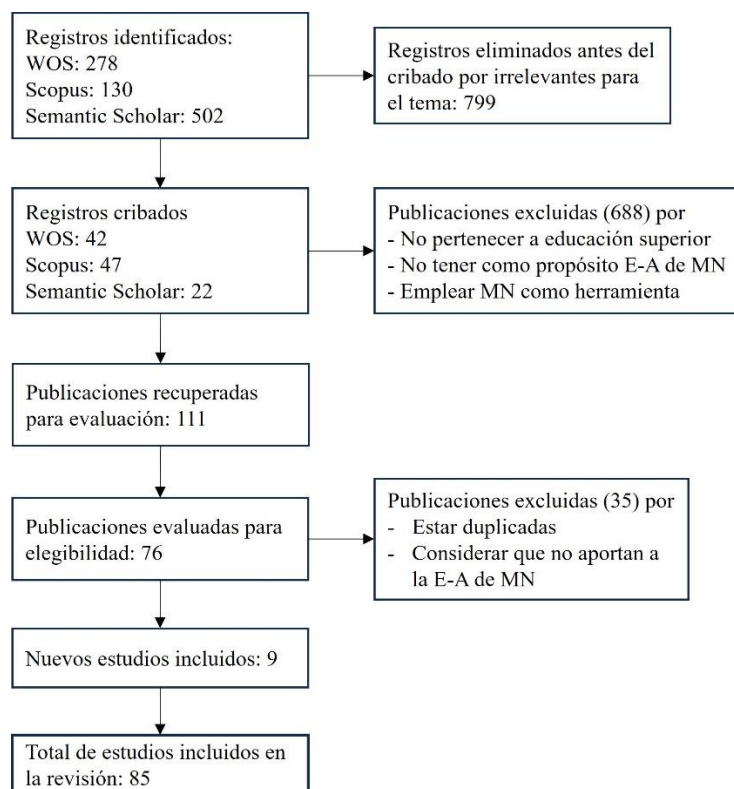
Después de aplicar los criterios de inclusión/exclusión, el número de artículos se redujo, dando como resultado 42 artículos de WOS, 47 artículos de Scopus y 22 de Semantic Scholar, para un análisis en profundidad, dando un total de 111 artículos con algunos duplicados.

Debe aclararse que los artículos descartados empleaban los métodos numéricos como medio de enseñanza para otros tópicos, como herramienta de solución para problemas de distintas índoles o hacían referencia enseñanza en niveles educativos distintos al superior.

El último cribado consistió en leer detalladamente los artículos. Con ello, se clasificó su contenido en:

- Propuestas metodológicas para el proceso de enseñanza-aprendizaje de los MN.
- Uso de herramientas computacionales en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los MN.
- Consideración de aspectos cognitivos, motivacionales y actitudinales en la enseñanza-aprendizaje de los MN.

Durante esta etapa se agregaron nueve documentos que estaban citados en los artículos ya cribados y que, tras su revisión, se consideró que cumplían con el perfil de búsqueda. Como resultado final, se consideraron 85 estudios para la revisión. En la Fig. 1 se muestra el flujograma de búsqueda y selección de las fuentes analizadas.



Nota: E-A= Enseñanza-Aprendizaje, MN = Métodos Numéricos

Figura 1: Flujograma de búsqueda y selección de estudios.

Fuente: Elaboración propia.

1. Parámetros de análisis

El primer análisis de los documentos recabados se realizó desde cinco perspectivas, por lo que se establecieron los correspondientes parámetros de análisis (Tabla 1: Perspectivas de análisis), con el fin de identificar las características generales de los artículos.

Tabla 1: Perspectivas de análisis.

Parámetros de análisis	Descripción
Año	Año de publicación del documento.
País y región geográfica	País y región geográfica donde se realiza el estudio.
Bases de datos	Base de datos en la cual fue localizado el estudio.
Tipo de documento	Artículo de investigación original Artículo de revisión Ponencia en eventos académicos (<i>Proceedings</i>)
Objeto de estudio	Describe si la investigación aborda el proceso de enseñanza-aprendizaje de métodos numéricos desde cualquier ángulo o enfoque.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, los artículos se categorizaron por alguno de los siguientes tres enfoques, de acuerdo con su objetivo, considerando que no son excluyentes:

- Estrategias pedagógicas. Son artículos que presentan propuestas de métodos de enseñanza-aprendizaje originales o aplicaciones de metodologías existentes a la enseñanza de MN.
- Uso de herramientas computacionales. Son artículos cuyo objeto de estudio son herramientas computacionales que facilitan los cálculos numéricos o que brindan un entorno de enseñanza-aprendizaje de los MN.
- Habilidades generales, habilidades matemáticas, motivación y actitudes. Son estudios que reconocen la importancia de las actitudes y de las habilidades, tanto cognitivas como emocionales, en el aprendizaje de los MN.

Para analizar las publicaciones recopiladas se usó Mendeley como gestor de referencias que permite almacenarlas, filtrarlas y leerlas; así como MS Excel para la categorización de los artículos y para la elaboración de las gráficas descriptivas correspondientes. Como apéndice a este documento se incluye la base de datos con los artículos seleccionados, así como la matriz de análisis empleada.

b. Resultados

En este apartado se muestran los hallazgos obtenidos a partir de los objetivos y parámetros establecidos. Debido a la cantidad de estudios considerados para la revisión (85), la información se presenta de forma sintetizada a través de gráficas.

1. Características generales

De los estudios seleccionados, la mayoría (49%) se publicaron en revistas con indexación Scopus, seguidas por revistas con indexación Web Of Science (25%), mientras que la menor cantidad de artículos publicados con esta temática proviene de las revistas con indexación Semantic Scholar (14%) (Fig. 2).

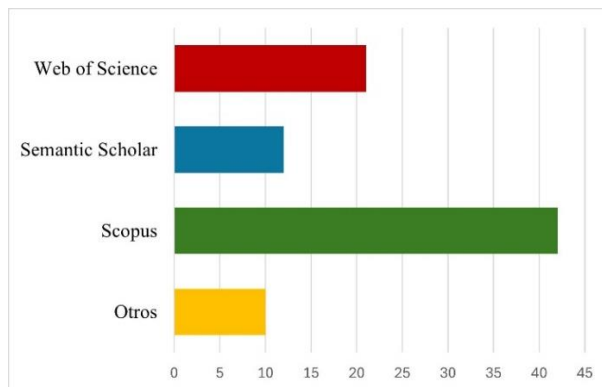


Figura 2: Bases de datos de donde provienen los artículos seleccionados.

Fuente: Elaboración propia.

Sobre el tipo de las publicaciones: 43 son actas de congresos (*proceedings*), 41 son artículos originales y una revisión sistemática.

En la Fig. 3 se presenta el número de documentos publicados por año, puede observarse que el año 2017 es el año con mayor número de publicaciones en lo que parecía una tendencia al alza. Sin embargo, el número de publicaciones decreció a partir de entonces de manera importante.

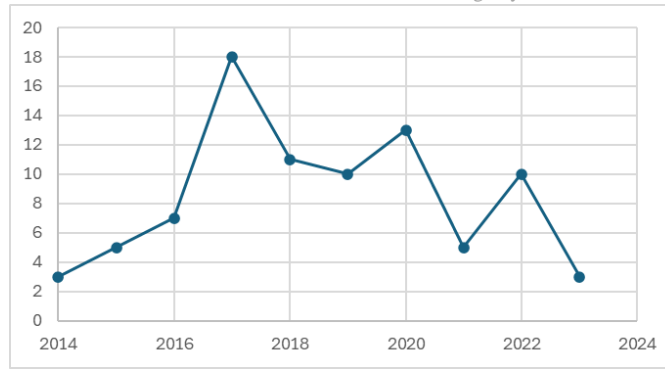


Figura 3: Número de publicaciones por año.
Fuente: Elaboración propia a partir de los registros seleccionados.

La publicación de los estudios analizados estuvo distribuida en casi todos los continentes (Fig. 4), con excepción del continente africano. Sin embargo, para brindar un análisis más detallado y por el interés particular para nuestro estudio, también se clasificaron por las siguientes regiones de publicación: Norteamérica (EUA y Canadá), Sudamérica (América con excepción de Norteamérica y México), México, Europa (sin Península Ibérica), Península Ibérica, Asia del sur, Península Arábiga, Rusia y Oceanía, como se puede observar en la Fig. 5.

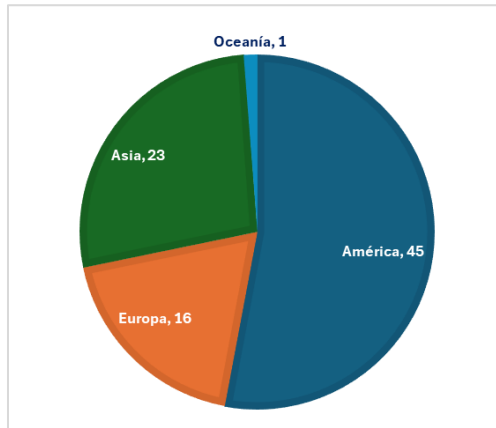


Figura 4: Publicaciones por continente.
Fuente: Elaboración propia a partir de los registros seleccionados.

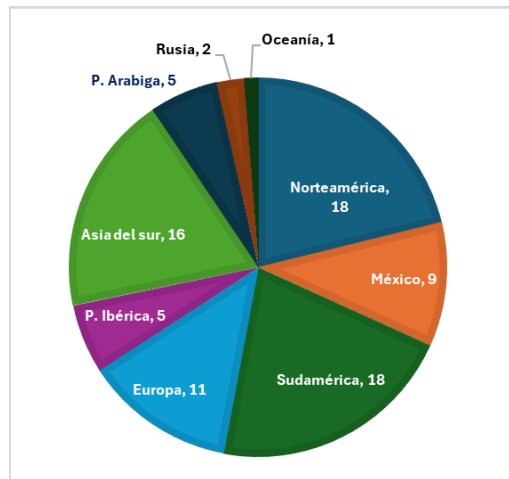


Figura 5: Publicaciones por región geográfica
Fuente: Elaboración propia a partir de los registros seleccionados.

2. Estrategias pedagógicas

Enfocando el análisis en las propuestas pedagógicas, eje central de esta revisión, se destacan como las principalmente abordadas: la diversificación de recursos y materiales de enseñanza, el 24%, como documentos en formatos PDF, videos, cuestionarios [28], [29] y sitios web, principalmente [30], [31], [32]; el aula invertida, abordada por el 21% de los estudios [33], [34], [35], en donde se plantea como reto principal encontrar actividades pre-clase adecuadas para que el estudiante aprenda de forma independiente [36] puesto que, si algunos estudiantes llegan sin la preparación esperada a la clase, afectan negativamente el desempeño del grupo [37], [38]; el 18% de los estudios considera la implementación de alguna ruta o trayectoria didáctica o de aprendizaje [21], [39], [40], [41], dentro de las cuales Johnston [42] menciona que la ruta tiene como objetivo desarrollar habilidades cognitivas de forma progresiva.

En la Tabla 2 se presentan las distintas propuestas pedagógicas identificadas, ordenadas por número de publicaciones que las abordan. Cabe mencionar que un mismo trabajo puede hacer referencia a más de un modelo o estrategia.

Tabla 2: Propuestas pedagógicas identificadas.

Propuesta pedagógica	Número de publicaciones	Porcentaje
Uso de diversidad de recursos	20	24%
Aula invertida	18	21%
Ruta didáctica	15	18%
b-learning	13	15%
Aprendizaje activo	11	13%
ABP	9	11%
Desarrollo de recursos computacionales	9	11%
Resolución de problemas reales	8	9%
Modelos pedagógicos varios	8	9%
Evaluación como estrategia didáctica	7	8%
Aprendizaje adaptativo	6	7%
Ambiente virtual	6	7%
Gamificación	5	6%
Recursos interactivos	3	4%
Aprendizaje basado en desafíos y competencias	3	4%
Aprendizaje autorregulado	2	2%
Aprender haciendo	2	2%
MOOC	2	2%
Aprendizaje colaborativo	2	2%
Aprendizaje comprensivo	1	1%

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros seleccionados.

En la Fig. 6 se elaboró a partir de la Tabla 2 con el propósito de mostrar visualmente la frecuencia en que los modelos o estrategias fueron mencionados en los artículos revisados.



Figura 5: Propuestas pedagógicas que aparecen en los artículos revisados.

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros seleccionados.

Notas: ABP = Aprendizaje Basado en Problemas, MOOC = Massive Online Open Course

El análisis realizado permitió identificar que las distintas propuestas pedagógicas han presentado una evolución a lo largo del periodo de análisis, lo que se representa en la Fig. 7. Esto permite observar que la estructuración y propuesta de distintos modelos pedagógicos tiene presencia desde el año 2016 [30], [43] y la premisa de “aprender haciendo” pasó a denominarse “aprendizaje activo” [8], [35], [44], basándose en la idea de que los estudiantes deben construir su propio conocimiento mediante una variedad de estímulos sensoriales durante el proceso de aprendizaje [7], [45], [46], lo que los hace capaces de establecer más conexiones y comprender más profundamente el contenido del curso [14], [47].

Sin embargo, Tudon-Martinez et al. [48] afirman que la enseñanza de un concepto mediante aprendizaje activo requiere del docente invertir más tiempo que el método tradicional, por lo que se pueden abordar menos temas. Las metodologías con mayor presencia dentro del aprendizaje activo son el aprendizaje basado en problemas (ABP) [22], [49], [50], el aula invertida y el aprendizaje adaptativo [36], [51].



Figura 6: Evolución de las estrategias pedagógicas para la enseñanza de Métodos Numéricos. Fuente: Elaboración propia a partir de los registros seleccionados.

El aprendizaje adaptativo, por su parte, requiere para su implementación de plataformas que proporcionan un aprendizaje personalizado y flexible mediante el seguimiento del progreso y el rendimiento del estudiante, y la posterior provisión de una ruta de aprendizaje individualizada que contiene diversos recursos [51]. El software adaptativo es entonces capaz de determinar el contenido o las actividades recomendadas para el estudiante y proporcionar retroalimentación personalizada, mostrando el progreso en tiempo real tanto para el estudiante como para el docente [36].

Por otro lado, de acuerdo con Mann et al. [52] algunas de las características y virtudes del aprendizaje basado en problemas son: el aprendizaje centrado en el estudiante se produce en pequeños grupos, los profesores se convierten en facilitadores o guías del proceso, los problemas son el eje y el estímulo para aprender y por ende son el vehículo para el desarrollo de habilidades de resolución de problemas, generando así un aprendizaje autodirigido de los MN.

Finalmente, la gamificación del aprendizaje, llevada a cabo como experiencias lúdico-didácticas, puede mejorar la interactividad, la participación, la motivación y el compromiso de los estudiantes y conseguir resultados positivos en el proceso enseñanza-aprendizaje [9], [53].

3. Uso de herramientas computacionales

Los Métodos Numéricos no pueden prescindir de la utilización de las herramientas que la tecnología brinda, no solo como instrumento para facilitar cálculos o implementar algoritmos, sino como herramientas para implementar estrategias para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje [54], [55]. Sin embargo, Haney et al. [14] consideran que, a pesar de que se han desarrollado técnicas pedagógicas en diversos cursos de ingeniería y matemáticas, los métodos numéricos son un curso que no ha suscitado el mismo interés por parte de la comunidad de investigación educativa, en particular cuando se trata de salvar la distancia entre computación y matemáticas.

De acuerdo con la revisión sistemática realizada por Léger et al. [56] la mayor parte de los trabajos publicados sobre métodos numéricos y computacionales se presenta en forma de libros de texto utilizados para introducir el uso de herramientas matemáticas computacionales [23], [42], no obstante, existe una brecha en la literatura sobre la comprensión del contenido técnico y el grado en que se utiliza una pedagogía eficaz para enseñar estos contenidos.

Uno de los principales usos de las computadoras en la enseñanza-aprendizaje de MN es como herramienta para facilitar los cálculos numéricos y como instrumento de visualización gráfica. En este sentido, se identificaron como las principales herramientas computacionales empleadas con este fin MatLab, Python y Geogebra. Sin omitir la constante presencia del uso de plataformas de aprendizaje. En la Fig. 8 se puede apreciar la distribución del uso de las distintas herramientas computacionales.

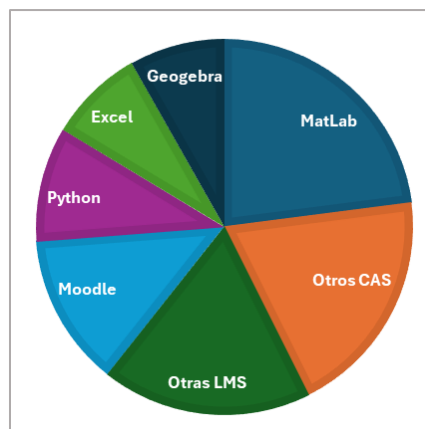


Figura 7: Principales herramientas computacionales empleadas. Fuente: Elaboración propia a partir de los registros seleccionados.

El uso de herramientas computacionales en el proceso de enseñanza-aprendizaje de MN tiene distintos propósitos, tales como: a) constituir una plataforma para facilitar recursos y actividades de aprendizaje [57], [58], [59], [60], b) ser un medio para realizar cálculos [61], [62], c) brindar un instrumento para la experimentación [18], [63], d) conformar una estrategia para el desarrollo de habilidades matemáticas [61], [64] o computacionales [65], o e) ser una estrategia de enseñanza [66]. En todos los casos, el objetivo es promover el aprendizaje activo por medio de la interacción [45] del estudiante con los sistemas digitales. En la Fig. 9 se muestra los principales usos que se dan a las herramientas computacionales.

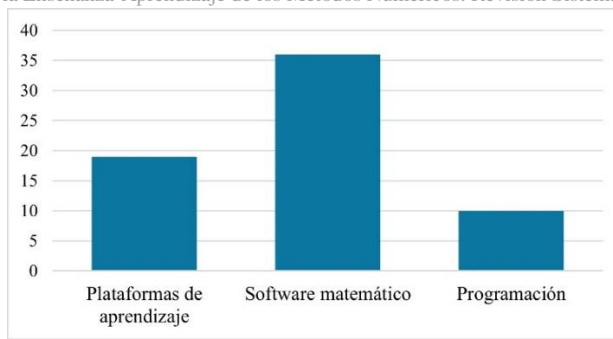


Figura 8: Usos de las herramientas computacionales en el E-A de métodos numéricos.
Fuente: Elaboración propia a partir de los registros seleccionados.

Las herramientas computacionales que se aplican para la E-A de los MN forman un importante ecosistema, que puede clasificarse de la siguiente forma:

- El medio para instrumentar la estrategia didáctica que son las plataformas, ambientes virtuales de aprendizaje o sistemas de gestión de cursos (LMS por sus siglas en inglés). En este caso, lo más utilizado es Moodle, aunque es de destacar el uso libros de texto interactivos. Este medio es el centro de operaciones para la implementación de los cursos [35], [66], [67], [68].
- El software matemático que incluye Sistemas de Geometría Dinámica (DGS) y Sistemas de Álgebra Computacional (CAS). Por ejemplo, GeoGebra [2], [69], MATLAB [70], Mathematica [71], MathCad [72], SciLab [73], [74], entre otros. Se emplea como método de experimentación para propiciar la comprensión de conceptos matemáticos [7], [48], [75].
- Los lenguajes de programación y sus entornos de desarrollo. En este aspecto destaca Python con bibliotecas como Numpy y Matplotlib [76]. Para usar los lenguajes existen hoy en día excelentes entornos de desarrollo gratuitos, como Google Colab y Jupyter Notebook [62], [77], [78].
- Las hojas de cálculo como Excel o Google Sheets. Estas herramientas facilitan la estructuración de los procedimientos necesarios para aplicar el método numérico o implementarlo en un lenguaje de programación, además de facilitar los cálculos numéricos [61], [79], [80].

En la Fig. 10 se puede observar que las herramientas cambian con el tiempo, pero siempre están presentes en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

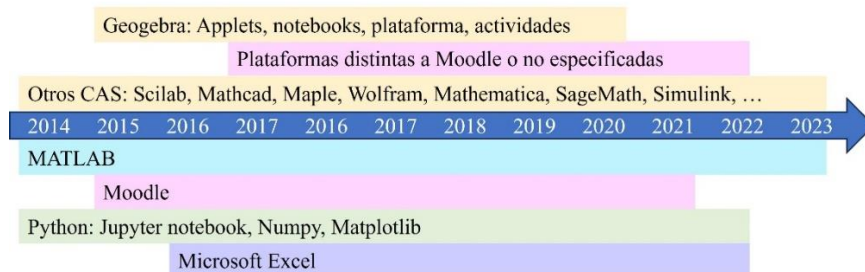


Figura 9: Herramientas computacionales de acuerdo con su periodo de uso en los artículos revisados.
Fuente: Elaboración propia a partir de los registros seleccionados.

4. *Habilidades, motivación y actitudes*

Bhuyan et al. [70] afirman que la enseñanza de Métodos Numéricos debe ser eficaz en el sentido de que los estudiantes puedan aplicar los conocimientos adquiridos en la resolución de problemas prácticos. Esto significa, de acuerdo con Caligaris et al. [24], [71], que el docente debe promover el desarrollo de los niveles cognitivos más altos de la Taxonomía de Bloom para producir aprendizaje matemático.

Por su parte, Montero et al. [10] afirman que de acuerdo con McLeod [81], ante una situación de aprendizaje, un estudiante puede reaccionar positiva o negativamente de acuerdo con las creencias que posea acerca de sí mismo y de los contenidos que tiene que aprender; esta reacción afectiva puede convertirse en una actitud, que por definición tiene un componente cognitivo y otro emocional. Existen diversos estudios que se enfocan en estos aspectos. De los 85 documentos revisados, 29 (34%) hacen referencia a actitudes, habilidades cognitivas generales, habilidades matemáticas o a la motivación. En la Fig. 11 se presenta el número de trabajos que hacen referencia a estos tópicos.

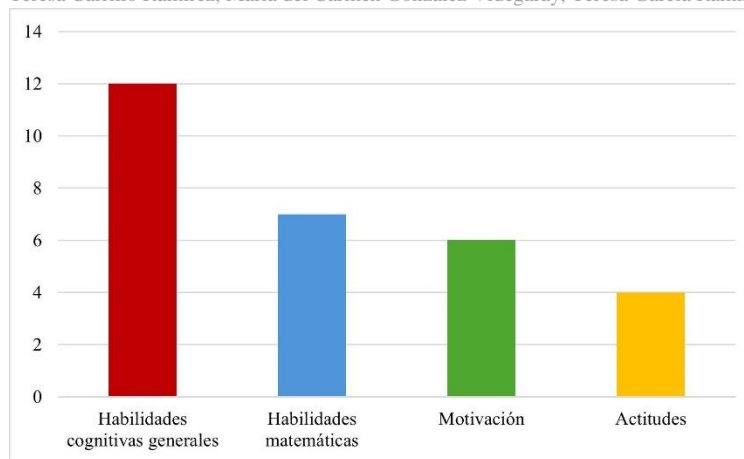


Figura 10: Número de trabajos que abordan habilidades, motivación y actitudes.
Fuente: Elaboración propia a partir de los registros seleccionados.

A continuación, se discuten los hallazgos de esta revisión sistemática.

III. CONCLUSIONES

Como se ha expuesto, los cursos de Métodos Numéricos representan un eje de formación crucial en las carreras de Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas. Las estrategias empleadas para su enseñanza-aprendizaje experimentan, como cualquier otra área del conocimiento en la investigación educativa, una búsqueda continua para su mejora. Sin embargo, de las publicaciones incluidas en esta revisión, menos del 50% son artículos de investigación original y la mayoría son actas de congreso (proceedings). Debido a que las ponencias reportan casos y experiencias particulares, son de poco alcance. A pesar de que esto es consistente con el número de documentos de investigación en general, sugiere que existe relativamente poco interés en investigar o que quienes imparten esta asignatura no realizan funciones de investigación, por lo cual las publicaciones son escasas. Lo anterior muestra la necesidad de impulsar la investigación y las publicaciones alrededor de este tema por la importancia de los Métodos Numéricos en las profesiones CTIM.

Merece una reflexión particular que el número de publicaciones ha decrecido. Las autoras pensamos que puede deberse a la aparición de la Inteligencia Artificial, lo que representaría un cambio importante en las estrategias de enseñanza-aprendizaje que requieren maduración, lo que puede representar una línea futura de investigación.

Los hallazgos del análisis sobre la región geográfica en la que se realizan los estudios indican que en Sudamérica, que destaca por el número de publicaciones, la mayoría de los estudios tiene en común el uso de Moodle como plataforma de aprendizaje; en Europa del Norte los estudios refieren principalmente el uso de libros de texto interactivos; en los Estados Unidos de América las investigaciones muestran una mayor integración de factores motivacionales, habilidades cognitivas y herramientas computacionales, además, reportan el uso de software adaptativo, que no es mencionado en las publicaciones del resto del mundo. En el caso de México, además del uso de la gamificación o ludificación y del aula invertida, es notable la consideración de la motivación y las actitudes para el aprendizaje.

En cuanto a los índices donde se recabó el corpus analizado, destaca en primer lugar la base de datos Scopus. Esto es natural por la gran cobertura que tiene este índice, que abarca estudios en diversos idiomas. Web of Science es más restrictivo y Semantic Scholar tiene menos rigurosidad en las publicaciones que indexa. En el caso de WOS debe recordarse que hoy en día incluye artículos indexados en la base SciELO, que agrupa publicaciones en español y portugués.

En lo referente a las estrategias pedagógicas, objetivo primordial de esta revisión, en un intento por analizar las características de los métodos numéricos para su enseñanza, Zhang et al. [1] afirman que hay tres aspectos que deben considerarse: la construcción del método, el análisis matemático del método y los experimentos numéricos, los dos primeros se basan en conocimientos teóricos y el último en conocimientos informáticos y en habilidades para la resolución de problemas, lo que coincide con los principios del aprendizaje activo [26], [82]. Es en torno a estos aspectos que se desarrollan la mayoría de las publicaciones revisadas. Asimismo, la única revisión sistemática que se localizó [56] centra su análisis en las herramientas computacionales empleadas para la enseñanza-aprendizaje de MN, sin abordar temas pedagógicos o didácticos de las matemáticas.

Los aspectos abordados en los documentos revisados se pueden categorizar en estrategias o métodos de enseñanza-aprendizaje, el uso de herramientas computacionales y el reconocimiento de la relevancia que tienen las habilidades cognitivas, la motivación y las actitudes para el aprendizaje. Es importante aclarar que estas categorías no son excluyentes, por el contrario, suelen integrarse y complementarse. Existe una coincidencia generalizada en que, para que el estudiante construya los aprendizajes establecidos, debe desempeñar un papel activo en el proceso [82], lo que ha dado lugar preeminente a las metodologías activas, como la instrucción invertida, el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje colaborativo y el aprendizaje adaptativo [83].

También existe consenso en diversificar los tipos de materiales o recursos de enseñanza, desde documentos, presentaciones con diapositivas [84] o libros interactivos [85], hasta simulaciones o aplicaciones interactivas [45], para cuya gestión se emplean plataformas educativas como Moodle o plataformas o sistemas computacionales desarrollados para fines específicos por las propias instituciones.

Las estrategias pedagógicas más innovadoras conjuntan modelos pedagógicos implementados con apoyo de plataformas de aprendizaje, como el caso de Suharti et al. [86], y procuran, además de los aprendizajes, el desarrollo de habilidades cognitivas. Asimismo, dado que la

resolución de problemas del mundo real [70] es primordial en el aprendizaje de los métodos numéricos [14] suelen incorporarse en las rutas didácticas a través de las cuales también se promueven habilidades cognitivas y la motivación del estudiante para el aprendizaje.

Por otra parte, se reporta una amplia variedad de herramientas computacionales empleadas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de MN, tales como materiales de enseñanza [87], herramientas matemáticas para realizar cálculos o visualizaciones [79] y como herramienta pedagógica para desarrollar habilidades cognitivas [88] mediante la experimentación, la simulación [48], [72] y el modelado [64]. Las herramientas computacionales también se emplean para promover la motivación en el estudiante, por ejemplo, el uso de vídeos en un trabajo colaborativo [89], el aprendizaje basado en desafíos [90] o el uso de actividades lúdicas [91].

De acuerdo con Montero et al. [10] una mejora de las actitudes hacia el aprendizaje de MN ha de pasar por un cambio de la imagen de la asignatura, que no es ajena a la metodología didáctica utilizada ni al tipo de interacciones entre docentes y estudiantes. Varios de los estudios revisados consideran la motivación y el interés de los estudiantes en el aprendizaje como factores primordiales a tomar en cuenta en las estrategias de enseñanza-aprendizaje, tales como los modelos de aprendizaje mixto o b-learning, de ludificación y basados en desafíos [92]. De entre estas propuestas, vale la pena mencionar el caso de Cruz-Ramirez et al. [93] en el que se empleó el robot humanoide NAO como factor de motivación en un modelo pedagógico bajo un paradigma socio-crítico, en el que se pudo demostrar la importancia de la motivación en el aprendizaje de los MN.

Se pudo identificar un hueco: la formación del profesorado ya sea en cuestiones tecnológicas, pedagógicas o ambas. Si bien, puede suponerse que los autores de los estudios cuentan con dicha formación, en ningún caso se hace referencia a formar o capacitar a los profesores con el objetivo de difundir las prácticas o construir de forma colegiada un método de enseñanza. Otra área de oportunidad es la aplicación de teorías sobre didáctica de las matemáticas en las rutas didácticas, como la teoría de las representaciones semióticas de Duval [94] o el enfoque ontosemiótico del conocimiento y la instrucción matemática [95]. Esto da lugar a otra línea futura de investigación.

Esta revisión sistemática da cuenta de la búsqueda continua para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los métodos numéricos, que está influenciada y motivada en gran medida por los avances tecnológicos que permiten implementar estrategias pedagógicas de forma atractiva y eficaz para los estudiantes. A pesar de que pueden apreciarse determinadas tendencias en las estrategias pedagógicas, la heterogeneidad de propuestas, el hecho de que muchas de ellas son casos de estudio o reportes de experiencias y de que algunas no presentan resultados al tratarse de propuestas que aún no han sido implementadas, no se puede determinar que exista un consenso generalizado hacia alguna estrategia o método de enseñanza-aprendizaje, más allá de los ya mencionados como el aprendizaje activo y el uso de tecnologías digitales.

Este trabajo pretende brindar a los docentes e investigadores del tema un panorama amplio que les permita contar con elementos para mejorar su enseñanza y contribuir en el desarrollo de modelos pedagógicos.

Finalmente, como limitaciones se puede mencionar el hecho de que el perfil de búsqueda se realizó únicamente en inglés, por lo que investigaciones relevantes en otros idiomas pudieron no ser consideradas. Esto también puede representar un sesgo, debido a que se consultaron los índices principales de la corriente de conocimiento, que suele dar más cabida a la producción de países con mayor desarrollo. Con el objeto de disminuir este sesgo, se incluyó la búsqueda en Semantic Scholar.

IV. REFERENCIAS

- [1] S. Zhang y X. Wang, "Some ideas on the teaching reform of the numerical analysis for the undergraduate", en Proceedings of the 2015 International Conference on Social Science and Higher Education, Paris, France: Atlantis Press, 2015, pp. 215–218. doi: [10.2991/icsshe-15.2015.28](https://doi.org/10.2991/icsshe-15.2015.28).
- [2] C. Allan, S. Parra, y A. Martins, "Objetos de Aprendizaje para la Interpretación Geométrica de Métodos Numéricos: Uso de GeoGebra", TE & ET - Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología, núm. 20, pp. 51–56, 2017, [En línea]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/64594>.
- [3] A. M. Grisales Aguirre, "Uso de recursos TIC en la enseñanza de las matemáticas: retos y perspectivas", Entramado, vol. 14, núm. 2, pp. 198–214, jun. 2018, doi: [10.18041/1900-3803/entramado.2.4751](https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.4751).
- [4] R. Duval, Understanding the Mathematical Way of Thinking – The Registers of Semiotic Representations. Dunkerque, France: Springer International Publishing, 2017. doi: [10.1007/978-3-319-56910-9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56910-9).
- [5] J. L. Abreu y J. Bracho, "Una propuesta para mejorar la educación matemática", Mundo noticias, pp. 18–20, 2016.
- [6] A. Baist, A. Fadillah, y D. Nopitasari, "Students Self Regulated Learning in Numerical Methods Course using Computational Mathematics Teaching Materials", Malikussaleh Journal of Mathematics Learning (MJML), vol. 2, núm. 1, pp. 1–4, dic. 2019, doi: [10.29103/mjml.v2i1.2122](https://doi.org/10.29103/mjml.v2i1.2122).
- [7] A. D. Handayani, T. Herman, y S. Fatimah, "Developing Teaching Material Software Assisted for Numerical Methods", J Phys Conf Ser, vol. 895, núm. 1, sep. 2017, doi: [10.1088/1742-6596/895/1/012019](https://doi.org/10.1088/1742-6596/895/1/012019).
- [8] J. A. N. Navia, G. S. Guerrero, G. A. B. de los Ríos, G. U. Quiroga, J. P. A. Perilla, y J. I. G. Sepúlveda, "A Methodological Proposal for Numerical Methods Teaching in Engineering using Problem-Based Learning (PBL)", en Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology, 2022. doi: [10.18687/LACCEI2022.1.1.598](https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.598).
- [9] A. Leyva-Carrillo, M. Carreño-Leon, A. Sandoval-Bringas, I. Estrada-Cota, y G. Espinoza, "Web tool for courses in numerical methods, using gamification techniques", en Proceedings - 14th Latin American Conference on Learning Technologies, LACLO 2019, 2019, pp. 95–103. doi: [10.1109/LACLO49268.2019.00026](https://doi.org/10.1109/LACLO49268.2019.00026).
- [10] Y. Montero, M. E. Pedroza, M. S. Astiz, y S. L. Vilanova, "Caracterización de las actitudes de estudiantes universitarios de Matemática hacia los métodos numéricos", Revista electrónica de investigación educativa, vol. 17, núm. 1, pp. 88–99, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://redie.uabc.mx/redie/article/view/357/997>.
- [11] R. M. Clark, A. K. Kaw, y R. Braga Gomes, "Adaptive learning: Helpful to the flipped classroom in the online environment of COVID?", Computer Applications in Engineering Education, vol. 30, núm. 2, pp. 517–531, mar. 2022, doi: [10.1002/cae.22470](https://doi.org/10.1002/cae.22470).

- [12] M. J. F. Gutiérrez, F. S. Lasheras, y J. A. T. Alonso, “An intervention based on identifying topics that students have difficulties with”, *Mathematics*, vol. 8, núm. 12, pp. 1–16, dic. 2020, doi: [10.3390/math8122220](https://doi.org/10.3390/math8122220).
- [13] J. Nease, K. McKenzie, S. Karolat, y C. Pham, “A workshop-based approach to teaching numerical methods and computing in Chemical Engineering”, *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*, oct. 2019, doi: [10.24908/pceea.vi0.13727](https://doi.org/10.24908/pceea.vi0.13727).
- [14] M. R. Haney, H. E. Dillon, y J. Kotas, “Active learning modules for a numerical methods course”, *International Journal of Mechanical Engineering Education*, oct. 2023, doi: [10.1177/03064190231205368](https://doi.org/10.1177/03064190231205368).
- [15] S. Arceo-Díaz, E. E. Bricio Barrios, J. Aréchiga Maravillas, y J. Salazar-Torres, “GeoGebra as learning tool for the search of the roots of functions in numerical methods”, *J Phys Conf Ser*, vol. 1672, núm. 1, oct. 2020, doi: [10.1088/1742-6596/1672/1/012001](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1672/1/012001).
- [16] S. Bilal, A. O. Shuriye, y R. Othman, “The Impact of Cooperative Learning on Numerical Methods Course”, *International Journal of Educational and Pedagogical Sciences*, vol. 11, núm. 2, pp. 355–358, 2017, [En línea]. Disponible en: <https://publications.waset.org/10006323/the-impact-of-cooperative-learning-on-numerical-methods-course>.
- [17] A. Gajdos, J. Hanc, y M. Hancova, “Interactive Jupyter Notebooks with SageMath in Number Theory, Algebra, Calculus, and Numerical Methods”, en 20th Anniversary of IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications, ICETA 2022 - Proceedings, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022, pp. 178–183. doi: [10.1109/ICETA57911.2022.9974868](https://doi.org/10.1109/ICETA57911.2022.9974868).
- [18] M. Jahodova, J. Krcek, Z. Moravkova, y P. Schreiberova, “Set of interactive tools for numerical integration teaching”, en *Overcoming the challenges and barriers in open education (DISCO 2018)*, J. Beseda y L. Rohlikova, Eds., Prague, Czech Republic, 2018, pp. 41–49.
- [19] H. Pablo Leyva, R. B. Silva-López, y I. I. Méndez Gurrola, “Perception of the students of the BAOC modality: numerical methods in engineering course”, en *EDULEARN19 Proceedings*, jul. 2019, pp. 10179–10183. doi: [10.21125/edulearn.2019.2550](https://doi.org/10.21125/edulearn.2019.2550).
- [20] F. J. C. Zabala, H. E. E. Parker, y C. Vieira, “Implementing an active learning platform to support student learning in a numerical analysis course”, en 2017 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Colombia: IEEE, oct. 2017, pp. 1–6. doi: [10.1109/FIE.2017.8190619](https://doi.org/10.1109/FIE.2017.8190619).
- [21] I. Detchev, E. Rangelova, y S. L. (Christine) Cao, “Overcoming Non-numerical Challenges in an Engineering Numerical Methods Course”, en 2020 ASEE Virtual Annual Conference Content Access Proceedings, Canada: ASEE Conferences, 2020. doi: [10.18260/1-2-35025](https://doi.org/10.18260/1-2-35025).
- [22] W. F. Flórez Escobar, D. A. Flórez Londoño, y R. A. Valencia Cardona, “Programación científica. Una propuesta didáctica para la enseñanza de métodos numéricos y programación”, en 2o Congreso Latinoamericano de Ingeniería, Cartagena, Colombia: Encuentro IEIEI ACOFI, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/134>.
- [23] M. Kaczorowska, R. Dmytruk, y B. Pańczyk, “Interactive application supporting numerical methods teaching”, en 11th International Technology, Education and Development Conference, mar. 2017, pp. 536–545. doi: [10.21125/inted.2017.0268](https://doi.org/10.21125/inted.2017.0268).
- [24] M. Caligaris, G. Rodríguez, y L. Laugero, “Students think... Why do we have to study numerical analysis?”, en *ICERI2016 Proceedings*, nov. 2016, pp. 2422–2428. doi: [10.21125/iceri.2016.1526](https://doi.org/10.21125/iceri.2016.1526).
- [25] M. Caligaris, G. Rodríguez, y L. Laugero, “Teaching numerical analysis based on mathematical skills development”, en *INTED2018 Proceedings*, mar. 2018, pp. 6193–6200. doi: [10.21125/inted.2018.1457](https://doi.org/10.21125/inted.2018.1457).
- [26] I. Vale y A. Barbosa, “Active learning strategies for an effective mathematics teaching and learning”, *European Journal of Science and Mathematics Education*, vol. 11, núm. 3, pp. 1–16, 2023, doi: [10.30935/scimath/13135](https://doi.org/10.30935/scimath/13135).
- [27] M. J. Page et al., “Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas”, *Rev Esp Cardiol*, vol. 74, núm. 9, 2021, doi: [10.1016/j.recesp.2021.06.016](https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016).
- [28] J. P. Cruz, A. Freitas, P. Macedo, y D. Seabra, “Quality of multiple choice questions in a numerical and statistical methods course”, en *Proceedings of the 46th SEFI Annual Conference 2018: Creativity, Innovation and Entrepreneurship for Engineering Education Excellence*, 2019, pp. 158–165. [En línea]. Disponible en: <https://www.sefi.be/wp-content/uploads/2018/10/SEFI-Proceedings-2-October-2018.pdf>.
- [29] E. S. Rahayu, A. E. Permanasari, y F. L. Effendi, “Evaluation of learning process based on massive open online course (MOOC) scheme in numerical method subject”, en *Proceedings - 2017 2nd International Conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering, ICITISEE 2017*, Yogyakarta, Indonesia: IEEE, feb. 2018, pp. 473–478. doi: [10.1109/ICITISEE.2017.8285553](https://doi.org/10.1109/ICITISEE.2017.8285553).
- [30] A. H. Bhatti, G. R. Laigo, H. M. GebreYohannes, y L. K. Pulipaka, “Using a blended learning approach in teaching mathematics”, en 8th International Conference on Education and New Learning Technologies, Barcelona, Spain, 2016, pp. 1366–1373. doi: [10.21125/edulearn.2016.1273](https://doi.org/10.21125/edulearn.2016.1273).
- [31] R. M. Clark y A. A. W. Kaw, “Enhancing student outcomes in a blended numerical methods course for engineers: The case for practice and cumulative tests”, *International Journal of Engineering Education*, vol. 37, núm. 3, pp. 485–593, 2021, [En línea]. Disponible en: https://www.ijee.ie/latestissues/Vol37-3/03_ijee4052.pdf.
- [32] J. Baranowski, W. Bauer, y K. Grobler-Debska, “Internet Technologies in Academic Remote Teaching: Case Study of Numerical Methods”, en *IECON 2021 – 47th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Toronto, Canada: IEEE, oct. 2021, pp. 1–6. doi: [10.1109/IECON48115.2021.9589340](https://doi.org/10.1109/IECON48115.2021.9589340).
- [33] R. M. Clark, A. Kaw, y E. Delgado, “Do adaptive lessons for pre-class experience improve flipped learning?”, en *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, Utah, USA, USA: American Society for Engineering Education, 2018. [En línea]. Disponible en: https://digitalcommons.usf.edu/egr_facpub/230.
- [34] R. M. Clark, A. Kaw, y M. Besterfield-Sacre, “Comparing the effectiveness of blended, semi-flipped, and flipped formats in an engineering numerical methods course”, *Adv Eng Educ*, vol. 5, núm. 3, pp. 1–38, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1122006>.
- [35] D. R. Lewin y A. Barzilai, “A hybrid-flipped course in numerical methods for chemical engineers”, *Comput Chem Eng*, vol. 172, pp. 1–18, abr. 2023, doi: [10.1016/j.compchemeng.2023.108167](https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2023.108167).
- [36] R. M. Clark y A. K. Kaw, “Benefits of adaptive lessons for pre-class preparation in a flipped numerical methods course”, *Int J Math Educ Sci Technol*, vol. 51, núm. 5, pp. 713–729, jul. 2020, doi: [10.1080/0020739X.2019.1617439](https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1617439).
- [37] A. Kaw et al., “Development, Implementation, Refining and Revising of Adaptive Platform Lessons for an Engineering Course”, en *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 2022. doi: [10.18260/1-2--40477](https://doi.org/10.18260/1-2--40477).
- [38] R. Clark, A. Kaw, Y. Lou, A. Scott, y M. Besterfield-Sacre, “Evaluating Blended and Flipped Instruction in Numerical Methods at Multiple Engineering Schools”, *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, vol. 12, núm. 1, 2018, doi: [10.20429/ijstol.2018.120111](https://doi.org/10.20429/ijstol.2018.120111).
- [39] R. R. Ibatullin y E. S. Anisimova, “Construction of individual educational trajectory of students based on e-learning”, en *Application of Information and Communication Technologies, AICT 2016*, Baku, Azerbaijan, 2016. doi: [10.1109/ICAICT.2016.7991799](https://doi.org/10.1109/ICAICT.2016.7991799).

- [40] L. Xue, "A Few Points about the Teaching of Numerical Analysis", en Proceedings of the 8th International Conference on Social Network, Communication and Education (SNCE 2018), Paris, France: Atlantis Press, 2018. doi: [10.2991/sncc-18.2018.199](https://doi.org/10.2991/sncc-18.2018.199).
- [41] J. A. Rabi y F. L. Caneppele, "Numerical methods to biosystems and food engineering students: Hands-on practices and cross-disciplinary integration", Computer Applications in Engineering Education, vol. 26, núm. 5, pp. 1120–1133, sep. 2018, doi: [10.1002/cae.21933](https://doi.org/10.1002/cae.21933).
- [42] B. M. Johnston, "Implementing a flipped classroom approach in a university numerical methods mathematics course", Int J Math Educ Sci Technol, vol. 48, núm. 4, pp. 485–498, 2017, doi: [10.1080/0020739X.2016.1259516](https://doi.org/10.1080/0020739X.2016.1259516).
- [43] C. Lupu, "The Role of the Computer in Learning Mathematics Through Numerical Methods", Science Journal of Education, vol. 4, núm. 2, p. 32, 2016, doi: [10.11648/j.sjedu.20160402.13](https://doi.org/10.11648/j.sjedu.20160402.13).
- [44] M. T. T. Monteiro, G. Hornink, y F. Vieira, "Innovating to improve – An experience in a computer engineering programme", en International Symposium on Project Approaches in Engineering Education, Portugal, 2021, pp. 192–199. doi: [10.5281/zenodo.5095687](https://doi.org/10.5281/zenodo.5095687).
- [45] A. Alloqmani, O. Alsaedi, N. Bahatheg, R. Alnanih, y L. Elrefaei, "Design Principles-Based Interactive Learning Tool for Solving Nonlinear Equations", Computer Systems Science and Engineering, vol. 40, núm. 3, pp. 1023–1042, 2022, doi: [10.32604/csse.2022.019704](https://doi.org/10.32604/csse.2022.019704).
- [46] I. Andrei, S. Berbente, y G. Stroe, "Prospects and challenges, from teaching and tutoring numerical methods in aviation to in-house building and developing flight simulator and 3D virtual reality laboratory", en EDULEARN17 Proceedings, mar. 2017, pp. 841–849. doi: [10.21125/edulearn.2017.1183](https://doi.org/10.21125/edulearn.2017.1183).
- [47] G. Aden-Buie, A. Kaw, y A. Yalcin, "Comparison of final examination formats in a numerical methods course", International Journal of Engineering Education, vol. 31, núm. 1, pp. 72–82, 2015.
- [48] J. C. Tudon-Martinez, D. Hernandez-Alcantara, M. Rodriguez-Villalobos, O. Aquines-Gutierrez, C. A. Vivas-Lopez, y R. Morales-Menendez, "The effectiveness of computer-based simulations for numerical methods in engineering", International Journal on Interactive Design and Manufacturing, vol. 14, núm. 3, pp. 833–846, sep. 2020, doi: [10.1007/s12008-020-00673-w](https://doi.org/10.1007/s12008-020-00673-w).
- [49] H. Pablo-Leyva, R. B. Silva-López, y I. I. Méndez-Gurrola, "Generator of problems with its solutions for the course of numerical methods in engineering", en EDULEARN17 Proceedings, mar. 2017, pp. 6468–6476. doi: [10.21125/edulearn.2017.2471](https://doi.org/10.21125/edulearn.2017.2471).
- [50] B. Pedrotti, "La enseñanza universitaria de Métodos Numéricos. El caso de la Carrera de Ingeniería Aeronáutica en la Universidad Nacional de Córdoba", Virtualidad, Educación y Ciencia, vol. 12, núm. 23, pp. 105–108, ago. 2021, doi: [10.60020/1853-6530.v12.n23.34473](https://doi.org/10.60020/1853-6530.v12.n23.34473).
- [51] R. M. Clark y A. Kaw, "Adaptive learning in a numerical methods course for engineers: Evaluation in blended and flipped classrooms", Computer Applications in Engineering Education, vol. 28, núm. 1, pp. 62–79, ene. 2020, doi: [10.1002/cae.22175](https://doi.org/10.1002/cae.22175).
- [52] L. Mann et al., "From problem-based learning to practice-based education: a framework for shaping future engineers", European Journal of Engineering Education, vol. 46, núm. 1, pp. 27–47, ene. 2021, doi: [10.1080/03043797.2019.1708867](https://doi.org/10.1080/03043797.2019.1708867).
- [53] R. H. Abdul Rahim, A. Baharum, y H. Hijazi, "Evaluation on effectiveness of learning linear algebra using gamification", Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 17, núm. 2, p. 997, feb. 2020, doi: [10.11591/ijeecs.v17.i2.pp997-1004](https://doi.org/10.11591/ijeecs.v17.i2.pp997-1004).
- [54] R. J. Lima Pisco, J. A. Cedeño Ferrin, y M. A. Padilla Orlando, "Aplicación de los métodos numéricos en la enseñanza superior", Revista Científica Sinapsis, vol. 1, núm. 16, jun. 2020, doi: [10.37117/s.v2i17.356](https://doi.org/10.37117/s.v2i17.356).
- [55] N. K. R. Purwati, "Development of student worksheet based on collaborative learning model in learning course of numerical methods", J Phys Conf Ser, vol. 1321, núm. 3, p. 032073, oct. 2019, doi: [10.1088/1742-6596/1321/3/032073](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1321/3/032073).
- [56] J. M. N. Léger y B. T. Berhane, "Work in Progress: A Literature Review On Computational & Numerical Methods in Engineering Education", en ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, 2022. doi: [10.18260/1-2--41195](https://doi.org/10.18260/1-2--41195).
- [57] M. Pramita, R. A. Sukmawati, y D. P. Sari, "The Implementation of Flipped Classroom Assisted by Learning Management System for Numerical Method Courses", en Proceedings of the 1st International Conference on Creativity, Innovation and Technology in Education (IC-CITE 2018), Paris, France: Atlantis Press, 2018. doi: [10.2991/iccite-18.2018.36](https://doi.org/10.2991/iccite-18.2018.36).
- [58] G. L. Herman, Y. Jiang, S. Poulsen, M. West, y M. Silva, "An Analytic Comparison of Student-Scheduled and Instructor-Scheduled Collaborative Learning in Online Contexts", en ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, 2022. doi: [10.18260/1-2--41212](https://doi.org/10.18260/1-2--41212).
- [59] C. Mosquera, E. Torres, y E. Buevas, "Uso de las tecnologías de la información y la comunicación en el proceso de enseñanza-aprendizaje de programación numérica en ingenierías para la universidad de la Costa", Omnia, vol. 23, núm. 1, pp. 20–32, 2017.
- [60] O. V. Smirnova y N. V. Smirnova, "Online Education for Engineers - Myth or Reality?", en 2020 International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS), IEEE, sep. 2020, pp. 609–611. doi: [10.1109/ITQMIS51053.2020.9322926](https://doi.org/10.1109/ITQMIS51053.2020.9322926).
- [61] J. Mendonca, G. Goncalves, T. Ferro, y M. Ferreira, "Teaching and learning of contents from numerical methods using the technology: Comparison of the use of two technological resources", en 2016 International Symposium on Computers in Education (SIIE), Portugal: IEEE, sep. 2016, pp. 1–4. doi: [10.1109/SIIE.2016.7751823](https://doi.org/10.1109/SIIE.2016.7751823).
- [62] H. Djamila, "Excel spreadsheet in teaching numerical methods", J Phys Conf Ser, vol. 890, núm. 1, p. 012093, sep. 2017, doi: [10.1088/1742-6596/890/1/012093](https://doi.org/10.1088/1742-6596/890/1/012093).
- [63] D. Ketcheson, "Teaching numerical methods with IPython notebooks and inquiry-based learning", en Proceedings of the 13th Python in Science Conference, 2014, pp. 19–24. doi: [10.25080/Majora-14bd3278-004](https://doi.org/10.25080/Majora-14bd3278-004).
- [64] A. Becerra-Romero, M. Díaz-Rodríguez, y O. A. González-Estrada, "Development of a virtual learning environment for the subject numerical methods under Moodle", en Journal of Physics: Conference Series 1161, Venezuela, ene. 2019. doi: [10.1088/1742-6596/1161/1/012010](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1161/1/012010).
- [65] D. R. Gwynllyw, K. L. Henderson, J. Van lent, y E. G. Guillot, "Using Python in the Teaching of Numerical Analysis", MSOR Connections, vol. 18, núm. 2, pp. 25–32, jul. 2020, doi: [10.21100/msor.v18i2.1100](https://doi.org/10.21100/msor.v18i2.1100).
- [66] A. Granados Ospina, "Las TIC en la enseñanza de los métodos numéricos", Sophia, vol. 11, núm. 2, pp. 143–154, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://revistas.ugca.edu.co/index.php/sophia/article/view/347>.
- [67] E. M. Ascheri, R. Pizarro, G. Astudillo, P. García, y E. M. Culla, "Matemática, Educación e Internet Software educativo en línea para la enseñanza y el aprendizaje de temas de Cálculo Numérico", Matemática, Educación e Internet, vol. 14, núm. 2, 2014, [En línea]. Disponible en: <http://www.tec-digital.itcr.ac.cr/revistamatematica/>.
- [68] M. E. Ascheri, R. A. Pizarro, G. J. Astudillo, P. M. García, M. E. Culla, y C. Pauletti, "SECav. Educational software for numerical calculus", en 12th Latin American Conference on Learning Objects and Technologies, LACLO 2017, 2017. doi: [10.1109/LACLO.2017.8120957](https://doi.org/10.1109/LACLO.2017.8120957).

- [69] A. M. Martín-Caraballo y Á. F. Tenorio-Villalón, "Teaching Numerical Methods for Non-linear Equations with GeoGebra-Based Activities", *International Electronic Journal of Mathematics Education*, vol. 10, núm. 2, pp. 53–65, ago. 2015, doi: [10.29333/iejme/291](https://doi.org/10.29333/iejme/291).
- [70] M. H. Bhuyan y S. S. A. Khan, "Teaching a numerical analysis course for electrical engineering students in the cognitive domain", *International Journal of Electrical Engineering and Education*, vol. 51, núm. 1, pp. 82–92, ene. 2014, doi: [10.7227/IJEEE.51.1.7](https://doi.org/10.7227/IJEEE.51.1.7).
- [71] M. Caligaris, G. Rodriguez, A. Favieri, y L. Laugero, "Developing mathematical abilities using learning objects when learning numerical methods", en *Proceedings of ICERI2017 Conference 16th-18th, Sevilla, España, nov. 2017*, pp. 6018–6026. [En línea]. Disponible en: <http://www.wolfram.com/cdf/>.
- [72] L. Bilousova, O. Kolgatin, y L. Kolgatina, "Computer simulation as a method of learning research in computational mathematics", en *CEUR Workshop Proceedings, Ucrania, 2019*, pp. 880–894. [En línea]. Disponible en: http://ceur-ws.org/Vol-2393/paper_209.pdf.
- [73] F. Agus y Haviluddin, "Scilab software as an alternative low-cost computing in solving the linear equations problem", en *AIP Conference Proceedings, 2017*, p. 040005. doi: [10.1063/1.4975970](https://doi.org/10.1063/1.4975970).
- [74] N. Kovba y A. Kovba, "Features of the application of the Scilab mathematical package in the process of teaching the discipline higher mathematics", *Dnipro Academy of Continuing Education Herald. Series: Philosophy, Pedagogy*, núm. Vol. 2 No. 2 (2023), pp. 53–55, dic. 2023, doi: [10.54891/2786-7013-2023-2-12](https://doi.org/10.54891/2786-7013-2023-2-12).
- [75] H. M. GebreYohannes, A. Hadi Bhatti, y R. Hasan, "Impact of multimedia in Teaching Mathematics", *International Journal of Mathematics Trends and Technology*, vol. 39, núm. 1, pp. 80–83, nov. 2016, doi: [10.14445/22315373/IJMTT-V39P510](https://doi.org/10.14445/22315373/IJMTT-V39P510).
- [76] E. Lemley y S. Kadioglu, "A Modern Approach to Teaching Computational/Numerical Methods", en *2022 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings, ASEE Conferences, 2022*. doi: [10.18260/1-2--41809](https://doi.org/10.18260/1-2--41809).
- [77] E. Serrano-Pérez, "Teaching numerical methods through a didactic arduino-based tool; the 4-bar linkage case revisited", *Revista Cubana de Física*, vol. 38, núm. 1, pp. 17–19, 2021.
- [78] G. Jerše y M. Lokar, "Learning and teaching numerical methods with a system for automatic assessment", *International Journal for Technology in Mathematics Education*, vol. 24, núm. 3, pp. 121–127, jul. 2017, doi: http://dx.doi.org/10.1564/tme_v24.3.03.
- [79] F. Rumbaut Leon y E. M. Quindemil Torrijo, "Las tecnologías de la información y las comunicaciones en la asignatura Métodos Numéricos para cursos de ingeniería en la enseñanza superior", *Didasc@lia: Didactica y Educacion*, vol. 8, núm. 1, pp. 99–110, 2017, [En línea]. Disponible en: <http://revistas.ult.edu.cu/index.php/didascalia/article/view/591>.
- [80] S. Abdul-Sata y H. G. Abdul-Aziz, "Learner centred teaching and learning for numerical methods course in Universiti Sains Malaysia: The chemical engineering case study", en *AIP Conference Proceedings, 2022*, p. 020004. doi: [10.1063/5.0072519](https://doi.org/10.1063/5.0072519).
- [81] D. B. McLeod, "Research on affect in mathematics education: A reconceptualization", en *Handbook of research on mathematics teaching and learning*, Macmillan Publishing Co, Inc, 1992, pp. 575–596.
- [82] S. Freeman et al., "Aprendizaje activo mejora el desempeño estudiantil en ciencia, ingeniería y matemáticas", 2016, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile. [En línea]. Disponible en: [https://vra.ucv.cl/ddcyf/wp-content/uploads/2017/04/Aprendizaje-activo-mejora-el-desempe+%C2%A6o.pdf](https://vra.ucv.cl/ddcyf/wp-content/uploads/2017/04/Aprendizaje-activo-mejora-el-desempe%C2%A6o.pdf).
- [83] A. Kaw, R. Clark, E. Delgado, y N. Abate, "Analyzing the use of adaptive learning in a flipped classroom for preclass learning", *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 27, núm. 3, pp. 663–678, may 2019, doi: [10.1002/cae.22106](https://doi.org/10.1002/cae.22106).
- [84] N. Bhatti, "CAI and conventional method for retention of mathematics: an experimental study", *J Phys Conf Ser*, vol. 1157, núm. 3, feb. 2019, doi: [10.1088/1742-6596/1157/3/032079](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/3/032079).
- [85] M. Kaczorowska, B. Pańczyk, y R. Dmytruk, "Satisfaction of it students in numerical methods learning using educational application – research results", en *INTED2018 Proceedings*, mar. 2018, pp. 4168–4175. doi: [10.21125/inted.2018.0808](https://doi.org/10.21125/inted.2018.0808).
- [86] Suharti, S. Sulasteri, N. N. Sari, A. Sriyanti, y Baharuddin, "The Development of Teaching Materials for Subjects of Numerical Method Assisted by MATLAB Software in Mathematics Education Department Students", *J Phys Conf Ser*, vol. 1539, núm. 1, p. 012082, may 2020, doi: [10.1088/1742-6596/1539/1/012082](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1539/1/012082).
- [87] Z. Zulyadaini, "Development of teaching materials in numerical methods", *Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology*, vol. 8, núm. 1, pp. 28–38, mar. 2020, doi: [10.32919/uesit.2020.01.03](https://doi.org/10.32919/uesit.2020.01.03).
- [88] Pratiwi y L. S. Istiyowati, "Simulation and Games Based Learning Model for Learning Math in Higher Education", *Universal Journal of Educational Research*, vol. 8, núm. 9A, pp. 16–20, sep. 2020, doi: [10.13189/ujer.2020.082003](https://doi.org/10.13189/ujer.2020.082003).
- [89] D. Tupacyupanqui-Jaen, V. Cornejo-Aparicio, y N. Bedregal-Alpaca, "Video and cooperative work as didactic strategies to enrich learning and development of generic competences in numerical methods", en *Proceedings - 13th Latin American Conference on Learning Technologies, LACLO 2018, Perú: IEEE*, oct. 2018, pp. 134–141. doi: [10.1109/LACLO.2018.00038](https://doi.org/10.1109/LACLO.2018.00038).
- [90] R. B. Silva-López, N. A. Rodríguez Silva, y I. I. Méndez-Gurrola, "Challenges-based learning and gamification for the course of numerical methods in engineering", en *ICERI2018 Proceedings*, nov. 2018, pp. 4286–4295. doi: [10.21125/iceri.2018.1949](https://doi.org/10.21125/iceri.2018.1949).
- [91] P. Tan y J. Saucerman, "Enhancing Learning and Engagement through Gamification of Student Response Systems", en *ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings, ASEE Conferences, 2017*. doi: [10.18260/1-2--28276](https://doi.org/10.18260/1-2--28276).
- [92] F. J. Delgado Cepeda, "Small private online research: A proposal for a numerical methods course based on technology use and blended learning", en *Proceedings of the 13th International Conference on Mobile Learning 2017, International Association for the Development of the Information Society, Ed., México*, abr. 2017, pp. 84–88. [En línea]. Disponible en: <https://eric.ed.gov/?id=ED579207>.
- [93] S. R. Cruz-Ramírez, M. García-Martínez, y J. M. Olais-Govea, "NAO robots as context to teach numerical methods", *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 16, núm. 4, pp. 1337–1356, dic. 2022, doi: [10.1007/s12008-022-01065-y](https://doi.org/10.1007/s12008-022-01065-y).
- [94] R. Duval, "Un tema crucial en la educación matemática: La habilidad para cambiar el registro de representación", *La Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española*, vol. 9, núm. 1, pp. 143-168, 2006, [En línea]. Disponible en: <https://cmappublic.ihmc.us/rid=1JM80JJ72-G9RGZN-2CG/La%20habilidad%20para%20cambiar%20el%20registro%20de%20representaci%20n.pdf>.
- [95] J. D. Godino, C. Batanero, y V. Font, "Un enfoque ontosemiótico del conocimiento y la instrucción matemática", en *Perspectivas en la didáctica de las matemáticas*, Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. DIE, 2012, pp. 47–78. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/37480>.