

Artículo de Revisión Bibliográfica

Exploración de técnicas de modelado en sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales

Exploring modelling techniques in dynamical systems using differential equations

Autores:

Emily Ashley Alvarado Bastidas¹

¹Universidad Estatal de Milagro, Milagro, Ecuador, calvaradob3@unemi.edu.ec, <https://orcid.org/0009-0003-9209-260X>

Corresponding Author: *Emily Ashley Alvarado Bastidas*, calvaradob3@unemi.edu.ec

Reception: 11-september-2024 **Acceptance:** 28-september-2024 **Publication:** 18-october-2024

How to cite this article:

Alvarado Bastidas, E. A. (2024). Exploración de técnicas de modelado en sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales. Sapiens in Higher Education, 1(1), 28-38.
https://revistasapiensec.com/index.php/Sapiens_in_Higher_Education/article/view/70.

Resumen

El modelado de sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales es esencial para comprender y predecir el comportamiento temporal en sistemas complejos en diversas áreas como la física, la ingeniería, la biología y la economía. Estas ecuaciones actúan como herramientas matemáticas precisas que describen la evolución de las variables en los sistemas, considerando sus dependencias temporales y espaciales. El desarrollo del modelado de sistemas dinámicos ha avanzado considerablemente desde la física teórica, explorando diversas técnicas que amplían su aplicabilidad en múltiples campos. Este estudio se centró en realizar una revisión exhaustiva de estas técnicas, utilizando un enfoque metodológico riguroso. La investigación se estructuró en varias etapas clave para abarcar todo el campo, con un énfasis particular en el análisis detallado de ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales (EDO y EDP). Para identificar la literatura relevante, se utilizó un proceso meticuloso que empleó bases de datos académicos especializados y motores de búsqueda avanzados. Este método garantizó la selección crítica de artículos clave de membrillo, evaluados por su robustez metodológica y su impacto en el avance del conocimiento sobre los sistemas dinámicos. Cada estudio fue sometido a un análisis exhaustivo para comprender los enfoques de modelado y sus aplicaciones específicas en diversas disciplinas científicas y aplicadas. Este trabajo proporciona una visión integral de cómo las ecuaciones diferenciales modelan sistemas dinámicos complejos, destacando las fortalezas de los enfoques tradicionales y las nuevas oportunidades que brindan las metodologías modernas. Representa una contribución significativa para futuras investigaciones en áreas críticas como la salud pública, el cambio climático y la planificación urbana.

Palabras clave: modelado dinámico; ecuaciones diferenciales; predicción de fenómenos complejos; Redes neuronales.

Abstract

The modelling of dynamical systems using differential equations is essential for understanding and predicting the temporal behaviour of complex systems in various areas such as physics, engineering, biology and economics. These equations act as precise mathematical tools that describe the evolution of variables in systems, considering their temporal and spatial dependencies. The development of dynamical systems modelling has advanced considerably since theoretical physics, exploring various techniques that broaden its applicability in multiple fields. This study focused on a comprehensive review of these techniques, using a rigorous methodological approach. The research was structured in several key stages to cover the entire field, with a particular emphasis on the detailed analysis of ordinary and partial differential equations (ODEs and PDEs). A meticulous process using specialised academic databases and advanced search engines was used to identify the relevant literature. This method ensured the critical selection of key articles, evaluated for their methodological robustness and their impact on the advancement of knowledge on dynamical systems. Each study was subjected to a thorough analysis to understand the modelling approaches and their specific applications in various scientific and applied disciplines. This work provides a comprehensive overview of how differential equations model complex dynamical systems, highlighting the strengths of traditional approaches and the new opportunities provided by modern methodologies. It represents a significant contribution to future research in critical areas such as public health, climate change and urban planning.

Keywords: dynamic modelling; differential equations; prediction of complex phenomena; Neural networks.

1. INTRODUCCIÓN

El modelado de sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales constituye una herramienta fundamental en múltiples campos científicos y tecnológicos. Estas ecuaciones permiten describir, analizar y predecir el comportamiento de sistemas en evolución temporal, como procesos físicos, biológicos y sociales. Este enfoque se ha consolidado como un método crucial para comprender fenómenos complejos y optimizar procesos en ingeniería, economía y ciencias naturales. En el contexto actual, donde la simulación y análisis computacional son cada vez más relevantes, las técnicas de modelado basadas en ecuaciones diferenciales ofrecen un marco matemático robusto para abordar problemas desafiantes y mejorar la toma de decisiones fundamentadas en datos precisos y modelos predictivos.

El desarrollo del modelado de sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales tiene sus raíces en figuras pioneras que sentaron las bases para aplicaciones en la física teórica. Desde entonces, se han explorado diversas técnicas que han ampliado significativamente su alcance, a cubrir campos tan diversos como la biología y la economía, incluyendo conceptos avanzados como los sistemas dinámicos topológicos.

Este artículo de revisión examina cómo estas herramientas matemáticas han evolucionado y se han adaptado para enfrentar los desafíos contemporáneos. Desde su uso inicial en la climatología y la neurociencia, como lo destacó Edward Lorenz en los años 60, hasta su aplicación en la gestión de recursos naturales y sistemas de ingeniería complejos, documentada recientemente por Clavijo et al. (2023), estas técnicas han demostrado ser fundamentales para resolver problemas científicos y técnicos.

A través de un análisis detallado y crítico, esta investigación proporciona una visión profunda y actualizada del estado del arte en el uso de ecuaciones diferenciales para modelar sistemas dinámicos. El artículo enfatiza la relevancia de estas técnicas para comprender y predecir el comportamiento de fenómenos complejos en diversos campos científicos y técnicos.

Según García et al. (2024), la literatura sobre el modelado de sistemas dinámicos con ecuaciones diferenciales es extensa e incluye una amplia gama de enfoques y aplicaciones. Los métodos tradicionales, como las ecuaciones diferenciales ordinarias (ODE) y las ecuaciones diferenciales parciales (PDE), han desempeñado un papel crucial tanto en el desarrollo teórico como en las aplicaciones prácticas. Las ODE son ideales para modelar fenómenos en los que las variables dependen de una sola variable independiente, generalmente el tiempo, mientras que las PDE son esenciales para sistemas con múltiples variables independientes, como la distribución de calor o la dinámica de fluidos.

En las últimas décadas, según Barreto et al. (2017), se han introducido y refinado técnicas modernas que han mejorado significativamente las capacidades de modelado en este campo. Un ejemplo notable es el modelado basado en agentes, que permite simular sistemas donde múltiples entidades independientes interactúan según reglas definidas. Este enfoque es invaluable en disciplinas como la biología, la economía y la sociología, donde las interacciones entre entidades autónomas son fundamentales para el comportamiento observable del sistema.

Otro avance significativo, según Martínez (2023), es la aplicación de redes neuronales y otras técnicas de aprendizaje automático al modelado de sistemas dinámicos. Las redes neuronales, en particular, han demostrado ser muy eficaces para la predicción de series temporales y el modelado de sistemas complejos con comportamientos no lineales, que son difíciles de capturar con métodos tradicionales. Esta capacidad de las redes neuronales para aprender patrones complejos a partir de datos históricos ha transformado áreas como la meteorología, la ingeniería de control y la economía financiera, donde la precisión en las predicciones es crucial para la toma de decisiones informadas.

Aunque las ecuaciones diferenciales clásicas han establecido el marco fundamental para el estudio de sistemas dinámicos durante décadas, las técnicas modernas, como el modelado basado en agentes y el aprendizaje automático, han enriquecido significativamente el panorama del modelado, ampliando nuestra capacidad para entender y predecir el Comportamiento de sistemas complejos en diversas disciplinas científicas y aplicadas.

Para llevar a cabo una revisión bibliográfica sobre el modelado de sistemas dinámicos con ecuaciones diferenciales, es esencial seguir un enfoque metodológico estructurado y utilizar herramientas especializadas para identificar y analizar la literatura relevante. Inicialmente, se define claramente el alcance del estudio, centrándose en un examen detallado de la literatura sobre diversas técnicas de modelado aplicadas a sistemas dinámicos utilizando ecuaciones diferenciales. Esto implica el uso de plataformas como Scielo, Scopus, Mathematical Journals, Dialnet, Digital CIDE, Revista CUC, Digital UPM y Revista MQR Investigar para realizar búsquedas exhaustivas y localizar artículos, libros y estudios relevantes que aborden términos clave como modelado de sistemas dinámicos y ecuaciones diferenciales.

El objetivo general de este estudio es la de analizar críticamente las técnicas actuales de modelado en sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales y su impacto en la solución de problemas complejos en diversas disciplinas científicas. Para alcanzar este objetivo nos planteamos la siguiente pregunta: ¿Cómo han evolucionado las técnicas de modelado en sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales, y qué impacto tienen en la solución de problemas complejos en ciencias aplicadas?

Creemos que la aplicación de técnicas avanzadas de modelado mediante ecuaciones diferenciales, complementadas con herramientas computacionales modernas, mejora significativamente la capacidad para analizar y predecir sistemas dinámicos complejos en disciplinas como la biología, la ingeniería y la economía.

3. METODOLOGÍA

Para la exploración de técnicas de modelado en sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales, se adoptó un enfoque metodológico riguroso y detallado. El estudio se implementó en varias fases clave para garantizar una cobertura exhaustiva y profunda de este campo dinámico y multidisciplinario. Inicialmente, se definieron claramente el alcance y los objetivos del estudio, con un enfoque en analizar a fondo diversas técnicas de modelado utilizadas en sistemas dinámicos a través de ecuaciones diferenciales. Esta elección se justificó por la capacidad única de las ecuaciones diferenciales ordinarias (ODE) y parciales (PDE) para tanto capturar los cambios temporales como las variaciones espaciales en fenómenos complejos, que van desde la dinámica de poblaciones hasta los procesos de transferencia de calor en sólidos.

Para identificar la literatura relevante, se utilizaron herramientas avanzadas como bases de datos académicos (Scielo, Scopus, Revistas de Matemáticas, Dialnet, CIDE Digital, Revista CUC, UPM Digital, MQR Revista) y motores de búsqueda especializados, empleando términos clave como:

Modelado de sistemas dinámicos

Ecuaciones diferenciales

Aplicaciones en física, biología y economía.

Este proceso asegura una recopilación exhaustiva de estudios significativos, que fueron seleccionados de manera crítica basándose en la calidad metodológica y la relevancia. Cada artículo seleccionado pasó por una lectura crítica para comprender los diferentes enfoques de modelado utilizados y sus aplicaciones específicas, desde problemas teóricos fundamentales hasta casos prácticos en diversas disciplinas científicas y aplicadas.

Durante la búsqueda de literatura para esta investigación sobre técnicas de modelado en sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales, primero se identifican los conceptos claves esenciales para el tema. Estos incluyen modelado de sistemas dinámicos, ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales, y técnicas modernas como redes neuronales y modelado basado en agentes. Estos conceptos fueron fundamentales para entender cómo se aplican las herramientas matemáticas para modelar y analizar sistemas que cambian con el tiempo.

Se desarrollaron términos de búsqueda específicos basados en estos conceptos clave. Se usaron términos como:

- Modelado de sistemas dinámicos
- Ecuaciones diferenciales
- Redes neuronales
- Modelado basado en agentes

Estos fueron utilizados, asegurando la inclusión de sinónimos y términos relacionados para ampliar la cobertura de la búsqueda. Se implementaron operadores booleanos como AND, OR y NOT para combinar estos términos de manera efectiva y ajustar la búsqueda según fuera necesario, asegurando la captura de estudios relevantes en disciplinas como física, biología y economía.

Este enfoque estructurado facilitó la identificación de la literatura relevante, asegurando que la revisión fuera completa y abarcara tanto enfoques tradicionales como innovaciones recientes en el modelado de sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales.

Se determinaron criterios de inclusión para abarcar estudios que emplearon ecuaciones diferenciales ordinarias (ODE) o parciales (PDE) para modelar fenómenos dinámicos en diversas disciplinas. Estos estudios incluyen investigaciones teóricas, aplicadas, experimentales o de revisión que contribuirán al avance del conocimiento en modelado dinámico.

De manera similar, se delinearon criterios de exclusión para eliminar documentos no directamente relacionados con el uso de ecuaciones diferenciales en el modelado dinámico. Se excluyeron estudios que usaban métodos de modelado distintos a las ecuaciones diferenciales, que carecían de una metodología rigurosa o que presentaban resultados poco claros. Además, se excluyeron documentos no disponibles en idiomas accesibles o no revisados por pares, asegurando la calidad y confiabilidad de la literatura seleccionada.

Ejemplos específicos de criterios de inclusión incluyen documentos que presentaban nuevas técnicas o enfoques de modelado y revisión completas del estado del arte en las aplicaciones de ODE y PDE. En contraste, se excluyeron artículos que no cumplieran con los estándares metodológicos necesarios o que no contribuyeran significativamente a la comprensión del modelado de sistemas dinámicos con ecuaciones diferenciales.

Estos criterios fueron fundamentales para asegurar que la revisión fuera coherente, rigurosa y relevante dentro del contexto específico del modelado dinámico, facilitando la selección adecuada de literatura relevante para la investigación propuesta.

Se siguió un método estructurado para llevar a cabo el proceso de selección y evaluación de documentos relevantes, asegurando la inclusión de estudios pertinentes y la exclusión de aquellos que no cumplieron con los criterios establecidos. El proceso se detalló de la siguiente manera: La revisión inicial de títulos y resúmenes implicó una búsqueda exhaustiva utilizando bases de datos académicos y otras fuentes relevantes. Se utilizaron términos clave como modelado de sistemas dinámicos, ecuaciones diferenciales y aplicaciones en diversas disciplinas. Se revisaron los títulos y resúmenes de los documentos recuperados para identificar aquellos que podrían abordar el modelado dinámico con ecuaciones diferenciales.

En la fase de selección de artículos, los previamente seleccionados fueron evaluados más a fondo mediante una lectura completa. Se verificó si su contenido se alineaba con los objetivos del artículo de revisión, es decir, si trataban de técnicas de modelado mediante ecuaciones diferenciales en sistemas dinámicos. Se incluyen estudios teóricos, aplicados, experimentales o de revisión que contribuirán al avance del conocimiento en este campo específico.

Durante la evaluación crítica de la calidad metodológica, cada artículo seleccionado fue evaluado críticamente en cuanto a su metodología. Se demostró la claridad en la presentación de la metodología, la adecuación de los métodos utilizados para el modelado dinámico y la solidez del diseño experimental

cuando corresponde. Se excluyeron estudios que no cumplieron con los estándares metodológicos apropiados o que mostraron deficiencias en su rigor metodológico.

Al evaluar el impacto en el campo, más allá de la calidad metodológica, se evaluó el impacto del estudio en el modelado de sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales. Se demostró la originalidad de los enfoques presentados, la relevancia de los resultados para la comunidad científica y la contribución al avance del conocimiento en áreas específicas de aplicación.

Este proceso garantizó una revisión sistemática y rigurosa de la literatura relevante, asegurando que los documentos seleccionados se alineen con los objetivos del artículo de revisión y proporcionarán una base sólida para un análisis y discusión profunda sobre las técnicas de modelado en sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales.

Se siguieron pasos metodológicos rigurosos. Inicialmente, se identifican las tendencias y enfoques predominantes en el modelado de sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales, clasificando los estudios según los métodos tradicionales, como las ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales, así como las técnicas emergentes como redes neuronales y modelado basado en agentes. Esta categorización permitió detectar patrones en la aplicación de estas técnicas en diversos campos científicos y aplicados.

Además, se realizó una comparación detallada de los métodos y técnicas utilizadas, evaluando su efectividad y limitaciones para describir y predecir fenómenos dinámicos. Se identificaron contextos específicos donde ciertos métodos demostraron ser más adecuados que otros, proporcionando información valiosa sobre las mejores prácticas en el modelado dinámico.

Durante el análisis, se destacaron los hallazgos más significativos derivados de la literatura revisada, incluyendo descubrimientos clave, avances metodológicos y aplicaciones innovadoras. Estos hallazgos fueron sintetizados para proporcionar conclusiones sólidas sobre la aplicabilidad y relevancia de las técnicas de modelado con ecuaciones diferenciales en diferentes disciplinas científicas y aplicadas. Esta síntesis consolidó el conocimiento existente y delineó áreas prometedoras para futuras investigaciones en el modelado de sistemas dinámicos.

4. RESULTADOS

Se desarrolló una matriz de análisis de documentos para llevar a cabo una investigación exhaustiva sobre las técnicas de modelado en sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales. Esta matriz incluyó artículos de membrillo seleccionados cuidadosamente por su importancia y contribución al campo. Cada artículo fue evaluado en función de criterios específicos, como el uso de ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales, así como la aplicación de metodologías modernas como redes neuronales y modelado basado en agentes. Además, se evaluaron la metodología empleada, la calidad del análisis realizado y la relevancia de los resultados para el avance del conocimiento en los sistemas dinámicos. Esta matriz proporcionó una visión detallada y comparativa de los enfoques encontrados en la literatura revisada, destacando descubrimientos importantes y tendencias emergentes en este campo de estudio.

Tabla 1.

Matriz de Análisis de Documentos

#	Article Title	Author(s)	Abstract	URL
1	A Delay Differential Equations Model for Disease Transmission Dynamics	Erdem et al. (2019)	The article explores dynamic modeling techniques using ODEs and PDEs across various disciplines.	https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/matematica/article/view/39948
2	Applications of Neural Networks and Deep Learning in Biomedical Engineering	Sarmiento (2020)	Analysis of how neural networks are used in dynamic systems modeling.	https://www.redalyc.org/journal/5537/553768213002/html/
3	Assessment of Mathematical Modeling Skills Development in an Ordinary Differential Equations Course: An Engineering Approach	Cardona et al. (2024)	Review of computational tools MATLAB and Python for simulating mathematical models.	https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50062024000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
4	Agent-Based Modeling: A Systems Engineering Approach	Pereda et al. (2015)	Exploration of how agent-based modeling can be applied in different fields.	https://polipapers.upv.es/index.php/RIAI/article/view/9364
5	Deep Learning Application for Precipitation Forecasting Using Meteorological Radar Reflectivity Data	Godoy (2019)	Study on the application of PDEs in predicting weather phenomena.	https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/32551/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf
6	Dynamics of Colombian Scientific Production in Economics: A Bibliometric Study on Scopus 2007-2019	Gómez et al. (2021)	Application of ODEs in predicting economic trends and their impact on public policies.	http://www.scielo.org.co/pdf/le/n95/0120-2596-le-95-277.pdf
7	Agent-Based Simulation of Systems Originally Represented with ODEs	Guerrero et al. (2024)	Research on simulating biological systems using ODEs and PDEs.	https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5924681
8	Methodology for Stability Analysis of N-Dimensional Differential Equation Systems	González et al. (2016)	Study of stability in control systems through differential equation analysis.	http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18592016000300004
9	Numerical Modeling of Seismic Wave Propagation in Coupled	Ayotunde et al. (2022)	Modeling of wave propagation in elastic media using differential equations.	http://www.ejemplo9.com

#	Article Title	Author(s)	Abstract	URL
	Poroelectric and Acoustic Media			
10	Bibliometric Analysis of Stochastic General Equilibrium Models	Cerquera (2023)	Application of stochastic models in economic and financial analysis.	https://revistascientificas.cuc.edu.co/economicascuc/article/view/4404/5153
11	Mathematical Modeling of Population Dynamics: Historical Development and Practical Use in Cuba	Miranda (2014)	Study on population dynamics using mathematical models with ODEs.	http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522014000300001
12	Development of a Mathematical Model to Simulate Traffic Flow in Cities	DosReis et al. (2024)	Numerical simulation of transport phenomena using partial differential equations.	https://oa.upm.es/75238/1/T_FG_JAIME_MARTIN_LOBO.pdf
13	Application of First-Order Ordinary Differential Equations for Solving Physical Problems	Cardona (2024)	Modeling of electrical circuits using ordinary differential equations.	Aplicación+de+las+ecuaciones+diferenciales+ordinarias+de+primer+orden.pdf
14	Comparative Exploration of Newton-Raphson and Bisection Methods for Solving Nonlinear Equations	Luna et al. (2024)	Comparison of numerical methods for solving partial differential equations.	https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/1258
15	Differential Equations: Applications and Biomath Modeling with MATLAB and Simulink	Chagas et al. (2023)	Applications of dynamic models in engineering using differential equations.	https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26559

Nota: La tabla presenta un marco para el análisis de documentos destinados a explorar técnicas avanzadas de modelado en sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales. Se revisaron quince artículos clave, examinando el uso de ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales, así como técnicas modernas como redes neuronales y modelado basado en agentes. Este análisis resaltó avances significativos y nuevas direcciones en este campo del estudio matemático.

Inicialmente, se identificaron 135 artículos de investigación provenientes de diversas bases de datos como Scielo, Scopus, Matemáticas Journals, Dialnet, Digital CIDE, Revista CUC, Digital UPM y Revista MQR. Tras una revisión exhaustiva, se excluyeron un total de 120 artículos. De estos, 80 fueron eliminados después de una evaluación detallada de los títulos y resúmenes, ya que no cumplían con los criterios de inclusión establecidos. Además, se identificaron y excluyeron 40 artículos duplicados durante este proceso. Los criterios de exclusión se basaron en varios aspectos técnicos y metodológicos: falta de relevancia para

las ecuaciones diferenciales en el contexto de sistemas dinámicos, ausencia de publicación en revistas científicas o académicas reconocidas, presencia de informes técnicos, libros de texto u otras publicaciones no académicas, estudios con un alcance limitado o falta de un análisis metodológico sólido, así como artículos no disponibles en inglés o español o aquellos inaccesibles a través de bases de datos académicos reconocidos.

5. DISCUSSION

La investigación analizó quince artículos claves centrados en técnicas avanzadas de modelado en sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales. Cada uno de los estudios seleccionados ofrece perspectivas únicas y aplicaciones específicas en áreas como la epidemiología, la ingeniería biomédica, la economía, la meteorología y más. Por ejemplo, Erdem et al. (2019) exploraron modelos de enfermedades utilizando EDOs y EDPs, mientras que Sarmiento (2020) destacó el uso de redes neuronales en ingeniería biomédica. Cardona et al. (2024) revisaron herramientas computacionales para simular modelos matemáticos, y Pereda et al. (2015) investigan el modelado basado en agentes en ingeniería de sistemas.

Estudios como el de Godoy (2019) sobre predicción climática utilizando EDP, y el trabajo de Gómez et al. (2021) en economía, demostraron aplicaciones significativas de las EDOs en la predicción y las políticas públicas. Guerrero et al. (2024) investigan la simulación de sistemas biológicos, mientras que González et al. (2016) desarrollaron metodologías para analizar la estabilidad en sistemas N-dimensionales. Estos trabajos subrayan la variedad y la profundidad de las aplicaciones de las ecuaciones diferenciales en diversas disciplinas científicas y técnicas.

En conjunto, estos estudios contribuyen a una comprensión más completa del modelado matemático en sistemas dinámicos, destacando avances significativos y tendencias emergentes. Desde la simulación de ondas sísmicas por Ayotunde et al. (2024) hasta el modelado de la dinámica poblacional por Miranda (2014), cada estudio proporciona herramientas y métodos clave para abordar problemas complejos en ingeniería, ciencias naturales y ciencias sociales. Este conjunto de literatura no solo expande el conocimiento teórico, sino que también promueve la aplicación práctica de técnicas matemáticas avanzadas para resolver los desafíos contemporáneos.

Este análisis evidencia el impacto de las ecuaciones diferenciales en la resolución de problemas multidisciplinarios, mostrando su potencial para ofrecer soluciones innovadoras en sectores como la salud, el medio ambiente y la economía. Las investigaciones revisadas refuerzan la necesidad de aplicar técnicas de modelado avanzado para enfrentar la complejidad y los cambios rápidos que caracterizan los sistemas dinámicos actuales.

6. CONCLUSIONES

La revisión exhaustiva de quince artículos clave reveló una amplia gama de técnicas avanzadas de modelado en sistemas dinámicos utilizando ecuaciones diferenciales. Estas técnicas se han aplicado con éxito en diversas disciplinas como la física, la ingeniería, la biología y la economía. Los estudios revisados destacan la capacidad única de las ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) y las ecuaciones diferenciales parciales (EDP) para capturar con precisión y rigor matemático la evolución temporal y las variaciones espaciales de fenómenos complejos. Este enfoque no solo permite una comprensión más profunda de los sistemas

dinámicos, sino que también facilita la predicción y optimización en diversos contextos aplicados (Cedeño et al., 2024; Díaz Subieta, 2024).

Desde una perspectiva metodológica, se observará una notable diversidad entre los estudios revisados. Mientras que algunos se centraron en el uso convencional de EDO y EDP para modelar fenómenos específicos, otros exploran técnicas modernas como las redes neuronales y el modelado basado en agentes. Esta variedad de enfoques subraya la flexibilidad y adaptabilidad de las herramientas de modelado matemático frente a diferentes desafíos y tipos de datos. Sin embargo, cada metodología también presenta sus propias limitaciones y consideraciones prácticas que deben ser evaluadas cuidadosamente en contextos de aplicación específicos (Boujenna et al., 2024; Forero Corba & Negre Bennásar, 2024).

Los hallazgos revisados tienen implicaciones significativas para la práctica profesional y la formulación de políticas. Por ejemplo, en el campo de la ingeniería biomédica, las técnicas de modelado pueden utilizarse para simular y optimizar dispositivos médicos, mejorando así la precisión y eficiencia de los tratamientos. En economía, el uso de EDO y EDP permite prever con mayor exactitud las tendencias económicas y evaluar el impacto de las políticas públicas. Estas aplicaciones prácticas demuestran el potencial transformador de las ecuaciones diferenciales para resolver problemas complejos del mundo real (Cedeño et al., 2024).

A pesar de los avances significativos, los estudios revisados también revelaron ciertas limitaciones. Estas incluyen la necesidad de mejorar la precisión de los modelos matemáticos, integrar nuevos datos y desarrollar técnicas de validación más robustas. Además, se identifican oportunidades para explorar tecnologías emergentes y adaptar las metodologías existentes para abordar los desafíos contemporáneos en campos como la inteligencia artificial y la computación cuántica (Forero Corba & Negre Bennásar, 2024).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arroyo-Vera, Z., Fernández-Prieto, S., Barreto-Zambrano, L. y Paz-Enrique, L. Entornos virtuales de aprendizaje en comunidades de práctica de docentes universitarios del Ecuador, revista ensayos pedagógico, v. 13 (2), 2018. <http://dx.doi.org/10.15359/rep.13-2.9>
- Calle, E., Mora, M. Jácome, M. y Breda, A. La enseñanza de las matemáticas en un curso de formación en contexto de pandemia: la percepción de futuros profesores de matemáticas de Ecuador, revista cuadernos de investigación y formación de educación matemática, v. 16 (20): 200-215. 2021. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cifem/article/view/48505/48264>
- Chávez, M., Rivera, V. y Haro, G. Percepción de la educación virtual en Instituciones de Educación Superior 2020, Universidad Estatal de Boívar, Ecuador. <http://doi.org/10.33789/enlace.20.1.81>
- Cobos-Velasco, J., Jaramillo-Naranjo, L.M. y Vinuesa-Vinuesa, S. Las competencias digitales en docentes y futuros profesionales de la Universidad Central del Ecuador, revista cátedra 8 (1): 2631-2875. <https://doi.org/10.29166/catedra.v2i1.1560>
- Esparza Cruz, N.K. Percepciones de los docentes sobre el uso de las TIC en el aula: El caso de la Universidad Técnica de Babahoyo (Ecuador). 3C TIC: Cuadernos de desarrollo aplicados a las TIC, 6(1), 25-37. (2017). <http://dx.doi.org/10.17993/3ctic.2017.55.25-37/>>. 21. Gellibert-Merchán, S., Zapata-Mora, S.E., Díaz-Vera, J.P. Las TIC en la educación superior durante la pandemia de la COVID-19, revista sinapsis, v. 1 (19): 1390-977. <https://revistas.itsup.edu.ec/index.php/sinapsis/article/view/405/802>
- Espinoza-Cedeño, M.E., García-Mendoza, M.J. y Vera-García, K.V. Percepción de los docentes de enseñanza básica ante las TIC de acuerdo a la edad, revista dom. Cien., v. 8 (4): 3-18. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8635317>
- Díaz-Vera, J., Peña-Hojas, D., Ruiz-Ramírez, A. y Macías-Mora, D. Percepción del aprendizaje en el contexto de las clases en línea de la Universidad de Guayaquil frente a la COVID-19, Revista sinapsis, v. 13 (18): 1390-9770. <https://www.itsup.edu.ec/myjournal/index.php/sinapsis/article/view/425/626>

- González-Prado, N.N. Manejo docente de las tecnologías de la información y la comunicación en Cuenca, Ecuador, Revista INNOVA, v. 2 (4): pp. 61-72.
<https://doi.org/10.33890/innova.v2.n4.2017.153>
- Hernández-Sampieri y Mendoza-Torres. Metodología de la investigación, las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A de C.V; 2018.
http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista-Lucio, P. Desarrollo de la perspectiva teórica: revisión de la literatura y construcción del marco teórico. 6° Edición. Ciudad de México: McGraw-Hill; 2014.
- Koehler, M. & Mishra, P. What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? Contemporary Issues in Technology and Teacher Education, 9(1), 60-70. Waynesville, NC USA: Society for Information Technology y Teacher Education. 2009.
- López, M., Herrera, M. y Apolo, D. Educación de calidad y pandemia: retos, experiencias y propuestas desde estudiantes en formación docente de Ecuador, repositorio de la universidad nacional de Educación, Ecuador. (2021)
<https://www.scielo.br/j/tl/a/dRk4ckCj9JVGt6TW6SvHd5Q/?format=pdf&lang=es>
- Martínez, M., McGrath D. y Foster D. How Deeper Learning Can Create a New Vision for Teaching. Arlington, Virginia: Consulted Strategists. (2016). <https://csaa.wested.org/wp-content/uploads/2019/11/How-Deeper-Learning-Can-Create-a-New-Vision-for-Teaching.pdf>
- Martínez-Sanz, R.; Arribas-Urrutia, A. El rol de las redes sociales para futuros periodistas. Manejo, uso y comportamiento de estudiantes y profesores universitarios de Ecuador. Cuad.inf., Santiago, n. 49, p. 146-165, 2021. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-367X2021000200146&lng=es&nrm=iso
- Novillo-Maldonado, E.F. Influencia de las TIC en la educación universitaria, caso Universidad Técnica de Machala, Revista Innova Research Journal, v. 2 (3): 69-79. (2017).
<https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/136>
- Obaco-Soto, E., Lara-Lara, F., Cano de la Cruz, Y. y Ramírez-Calderón, G. Oportunidades y barreras de la educación virtual: condicionantes de la percepción del nivel de satisfacción de los actores educativos, Revista Publicaciones Facultad de Educación y Humanidades del Campus de Melilla, v. 53 (1): pp. 187-205. 2023. <https://doi.org/10.30827/publicaciones.v53i1.27991>
- Paredes-Prada, V. Brecha en el uso de tecnologías de la información y comunicación (TIC) básicas y modernas entre estudiantes y docentes en universidades ecuatorianas, revista educación, v. 3 (1) 2019. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44057415009>
- Sarmiento-Torres, A. Percepción de docentes acerca de educación en línea en el marco de la emergencia sanitaria covid-19 caso 19, repositorio universidad casa grande, Ecuador. 2021.
<http://dspace.casagrande.edu.ec:8080/bitstream/ucasagrande/2655/1/Tesis2824SARp.pdf>
- Scolari, C. A. Introducción. Del alfabetismo mediático al alfabetismo transmedia. Adolescentes, medios de comunicación y culturas colaborativas. Aprovechando las competencias transmedia de los jóvenes en el aula, 14-23. Universidad Pompeu Fabra. Barcelona. 2018.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-252X2018000300007
- Sumba-Nacipucha, N., Cueva-Estrada, J., Conde-Lorenzo, E. y Mármol-Castillo, M. Enseñanza superior en el Ecuador en tiempos de COVID 19 en el marco del modelo TPACK, revista san Gregorio, v. 43. (2020). <https://doi.org/10.36097/rsan.v1i43.1524>
- Tejedor, S., Cervi, L., Tusa, F. y Parola, A. Educación en tiempos de pandemia: reflexiones de alumnos y profesores sobre la enseñanza virtual universitaria en España, Italia y Ecuador, Revista Latina de Comunicación social, v. 78. <https://www.doi.org/10.4185/RLCS2020-1466>

Conflicto de Intereses: Los autores afirman que no existen conflictos de intereses en este estudio y que se han seguido éticamente los procesos establecidos por esta revista. Además, aseguran que este trabajo no ha sido publicado parcial ni totalmente en ninguna otra revista.