

## Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como prospectiva de mejora para la calidad académica

### Recurrence Analysis in Engineering Education: A Formative Strategy as a Prospective Tool for Improving Academic Quality

Andrés Eduardo Rivas Cisneros <sup>1</sup>

Daniel Enrique Rivas Cisneros <sup>2</sup>

Melissa Glikowski Castro <sup>3</sup>

#### RESUMEN

La educación en ingeniería enfrenta el desafío de incorporar herramientas analíticas capaces de abordar fenómenos no lineales y sistemas dinámicos complejos. El objetivo de este trabajo es diseñar y fundamentar una unidad de aprendizaje basada en el Análisis de Recurrencias (AR) como estrategia formativa en programas de ingeniería. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de diseño curricular sustentado en investigación educativa aplicada. El proceso metodológico incluyó una revisión sistemática de literatura sobre educación en ingeniería y Educación 4.0, un análisis del campo disciplinar del AR y el diseño instruccional de una asignatura de 16 semanas orientada al análisis de sistemas dinámicos mediante diagramas de recurrencia y técnicas de cuantificación (RQA).

La propuesta integra fundamentos teóricos, prácticas de laboratorio computacional y aplicaciones en señales mecánicas, eléctricas y biomédicas, alineadas con un enfoque de aprendizaje basado en proyectos. Los resultados muestran que el AR puede incorporarse como una herramienta formativa interdisciplinaria que fortalece competencias en modelación, análisis de datos y pensamiento computacional. Este trabajo contribuye al desarrollo de propuestas curriculares innovadoras en ingeniería y establece bases para futuras implementaciones y evaluaciones empíricas en el aula.

**PALABRAS CLAVES:** educación en ingeniería, desarrollo curricular, sistemas dinámicos, análisis de datos, modelos matemáticos.

**Fecha de recepción:** 20 de febrero, 2026

**Fecha de aceptación:** 26 de marzo, 2026

---

<sup>1</sup> Doctor en Educación, Maestría en Administración Industrial y de Negocios con Orientación en Relaciones Industriales y Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Automatización. Profesor de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Nuevo León, [arivasc@uanl.edu.mx](mailto:arivasc@uanl.edu.mx), <https://orcid.org/0009-0004-2243-8991>

<sup>2</sup> Doctor en Ingeniería Eléctrica, Maestría en Ciencias de la Ingeniería con Orientación en Control Automático y Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Automatización. Profesor de la Preparatoria 9 de La UANL, [drivasc@uanl.edu.mx](mailto:drivasc@uanl.edu.mx), <https://orcid.org/0000-0002-3078-4913>

<sup>3</sup> Doctora en Educación, Maestría en Métodos Alternos y Solución de Controversias, Licenciada en Derecho, Docente de medio tiempo de la Preparatoria No. 9 de la Universidad Autónoma de Nuevo León, [melissa.glikowickst@uanl.edu.mx](mailto:melissa.glikowickst@uanl.edu.mx), <https://orcid.org/0009-0001-8344-7865>



## Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como prospectiva de mejora para la calidad académica

### ABSTRACT

Engineering education faces the challenge of incorporating analytical tools capable of addressing nonlinear phenomena and complex dynamical systems. The aim of this study is to design and theoretically support a learning unit based on Recurrence Analysis (RA) as a formative strategy in engineering programs. The research follows a qualitative curriculum design approach grounded in educational design research. The methodology included a systematic literature review on engineering education and Education 4.0, a disciplinary analysis of RA, and the instructional design of a 16-week course focused on dynamical systems analysis using recurrence plots and recurrence quantification analysis (RQA).

The proposal integrates theoretical foundations, computational laboratory activities, and applications in mechanical, electrical, and biomedical signals within a project-based learning framework. Results suggest that RA can be incorporated as an interdisciplinary educational tool that strengthens modeling skills, data analysis, and computational thinking. This work contributes to curriculum innovation in engineering education and provides a foundation for future classroom implementation and empirical evaluation.

**KEYWORDS:** Engineering education, Curriculum development, Dynamical systems, Data analysis, Mathematical models.

### INTRODUCCIÓN

La educación en ingeniería atraviesa un momento de transformación profunda, impulsado por la acelerada evolución tecnológica, la globalización del conocimiento y las nuevas demandas del mercado laboral. En este contexto, la actualización y diversificación de los planes de estudio mediante la incorporación de asignaturas emergentes se convierte en una estrategia clave para las instituciones de educación superior. Esta renovación curricular no solo busca mantener la pertinencia académica, sino también formar profesionales capaces de afrontar los desafíos de un entorno cada vez más complejo, interconectado y dinámico (Garcés et al., 2016).

Uno de los principales motores de este cambio es la llamada Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0, caracterizada por la integración de tecnologías disruptivas como la inteligencia artificial, el internet de las cosas, la robótica avanzada, la ciberseguridad y el análisis masivo de datos. Estas innovaciones están redefiniendo los perfiles profesionales que demanda la industria, lo que obliga a las universidades a rediseñar sus programas de estudio para preparar a los estudiantes frente a este nuevo paradigma (CRUCH, 2012.) La incorporación de estas temáticas amplía el horizonte de los conocimientos técnicos y fomenta competencias transversales esenciales, tales como la adaptabilidad, el pensamiento crítico y la capacidad de aprendizaje continuo.

La pandemia de COVID-19 evidenció además la urgencia de replantear los modelos tradicionales de enseñanza y acelerar la adopción de enfoques más flexibles, digitales y centrados en el estudiante (Cárdenas et al, 2023). Ante esta realidad, las universidades deben asumir un papel proactivo en la innovación curricular, con una visión prospectiva que anticipe las necesidades de la industria y de la sociedad.

El rediseño curricular no debe limitarse al “qué” se enseña, sino también abordar el “cómo” se enseña. La incorporación de metodologías activas de enseñanza-aprendizaje —como el aprendizaje basado en proyectos, la experimentación y el trabajo colaborativo— promueve una participación más significativa de los estudiantes y el desarrollo de habilidades prácticas esenciales para su ejercicio profesional (CRUCH, 2012). Estas estrategias, combinadas con la introducción de nuevas materias, generan entornos de aprendizaje más dinámicos, inclusivos y orientados a la resolución de problemas reales.



## Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como perspectiva de mejora para la calidad académica

El diseño curricular, por tanto, debe concebirse como un proceso sistemático, sustentado en un análisis riguroso de las necesidades tecnológicas, sociales y productivas. La planeación estratégica aplicada al currículo permite alinear los objetivos educativos con las expectativas del entorno, garantizando una formación pertinente, flexible y de calidad (Garcés et al., 2016). Asimismo, posibilita la evaluación y actualización continua de los programas académicos frente a los cambios del contexto.

Es un reto ajustar la educación en ingeniería a los principios y visión de la Industria 4.0, tanto en el ámbito curricular como en las prácticas pedagógicas y experiencias de laboratorio. En este sentido, el objetivo principal es desarrollar un procedimiento que permita adecuar las áreas de desarrollo curricular y los entornos prácticos mediante el aprendizaje experiencial y la aplicación de metodologías innovadoras de enseñanza-aprendizaje (Garcés & Peña, 2020).

Ante los desafíos derivados de la Cuarta Revolución Industrial como la automatización de procesos mediante inteligencia artificial, la transformación digital en las empresas industriales y el análisis de datos masivos aplicado a la producción, las instituciones de educación superior deben incorporar nuevos modelos educativos y garantizar la pertinencia de su oferta académica, alineándola con las demandas del sector productivo (Carbajal-Amaya, R. V. 2020).

El currículo universitario no es un elemento aislado, sino un sistema dinámico que se configura a partir de la interacción entre tres dimensiones esenciales: la sociedad, el conocimiento científico-tecnológico y la organización del trabajo académico. Cada una de estas dimensiones ejerce una influencia determinante en la estructura y funcionamiento del currículo. Por un lado, la sociedad plantea necesidades y demandas que orientan la formación profesional, los modos de trabajo y el desarrollo socioeconómico; por otro, el avance científico y tecnológico introduce nuevos problemas y campos de conocimiento que exigen actualización constante; finalmente, la organización académica define los modelos y procesos mediante los cuales se articula la enseñanza y el aprendizaje en la universidad. Comprender esta interrelación es clave para diseñar currículos pertinentes, flexibles y capaces de responder a los retos contemporáneos. (Carbajal-Amaya, R. V. 2020).

En este marco, la enseñanza de herramientas analíticas avanzadas constituye un eje esencial para fortalecer la formación de los ingenieros del siglo XXI. Los profesionales del área se enfrentan con frecuencia a fenómenos dinámicos complejos —como sistemas oscilatorios, fallos impredecibles, señales fisiológicas o comportamientos estructurales no lineales— que exceden los modelos lineales tradicionales. En consecuencia, es indispensable dotar a los estudiantes de metodologías modernas que les permitan comprender, modelar y analizar estas dinámicas.

El Análisis de Recurrencias (AR) representa una de estas herramientas innovadoras. Basado en la detección de patrones repetitivos en series temporales complejas, el AR permite visualizar y cuantificar la estructura dinámica de sistemas no lineales, incluso en presencia de ruido. A través de los diagramas de recurrencia y del Análisis Cuantitativo de Recurrencias (RQA, por sus siglas en inglés), los estudiantes pueden explorar transiciones de régimen, detectar fallos, evaluar estabilidad y caracterizar la evolución temporal de los sistemas.

En este trabajo se propone la implementación del AR como una unidad de aprendizaje teórico-práctico, en donde los alumnos trabajen con señales reales, aplicando técnicas de AR y RQA para analizar su comportamiento.

El análisis de recurrencias no solo es una técnica útil para la investigación avanzada, sino también una herramienta pedagógica que puede transformar la forma en que los futuros ingenieros interpretan la dinámica de los sistemas complejos. Su incorporación en el aula representa una apuesta por una educación más cercana a los retos reales de la ingeniería moderna.



## Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como perspectiva de mejora para la calidad académica

### JUSTIFICACIÓN

La transformación tecnológica asociada a la Industria 4.0 ha generado nuevas exigencias en la formación de ingenieros, particularmente en el ámbito del análisis de datos, la modelación de sistemas no lineales y la interpretación de fenómenos dinámicos complejos. Aunque los planes de estudio han incorporado contenidos relacionados con programación, inteligencia artificial y procesamiento de señales, aún existe una brecha entre el desarrollo de herramientas analíticas avanzadas y su integración sistemática en el currículo universitario.

El Análisis de Recurrencias (AR) constituye una herramienta consolidada en la investigación científica para el estudio de sistemas dinámicos complejos; sin embargo, su presencia en la educación formal en ingeniería es limitada. Esta situación revela una oportunidad de innovación curricular: incorporar metodologías analíticas que permitan a los estudiantes trabajar con datos reales, comprender comportamientos no lineales y fortalecer competencias en modelación matemática y pensamiento computacional.

Desde el punto de vista pedagógico, la educación en ingeniería demanda propuestas formativas que integren teoría, experimentación y programación en entornos de aprendizaje activo. La literatura sobre Educación 4.0 subraya la importancia de desarrollar competencias transversales como la resolución de problemas complejos, el análisis crítico y la capacidad de adaptación tecnológica. En este sentido, el AR ofrece un marco conceptual y computacional que articula matemáticas, física, análisis de señales y programación científica dentro de una experiencia formativa coherente.

La justificación de este estudio radica en la necesidad de diseñar propuestas curriculares fundamentadas teóricamente que permitan integrar herramientas analíticas contemporáneas en la formación de ingenieros. Más que evaluar empíricamente una intervención educativa específica, el presente trabajo busca establecer una base conceptual y metodológica para la incorporación del AR en programas de ingeniería, ofreciendo un modelo adaptable que pueda ser implementado y evaluado en contextos educativos reales.

Así, este artículo contribuye al campo de la educación en ingeniería al proponer un diseño curricular estructurado, alineado con tendencias internacionales de innovación educativa y con las demandas tecnológicas actuales, promoviendo una formación más integral, interdisciplinaria y orientada al análisis de sistemas complejos.

### METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque exploratorio y de carácter documental, orientado a fundamentar la propuesta de incorporación del Análisis de Recurrencias (AR) como unidad de aprendizaje dentro de los programas de ingeniería. Este enfoque permitió examinar el estado actual de la educación en ingeniería, las tendencias internacionales en innovación curricular y las posibilidades pedagógicas del AR como herramienta formativa. El estudio se estructuró en tres etapas principales:

Diseño de investigación.

#### 1. Revisión teórica y contextual.

Se realizó una revisión sistemática de literatura científica, normativa y pedagógica relacionada con la transformación curricular en educación en ingeniería, la Industria 4.0, las metodologías activas de aprendizaje y la enseñanza de herramientas analíticas avanzadas. Las fuentes consultadas incluyeron artículos indexados en bases como Scopus, Springer, ScienceDirect y Google Scholar, así como documentos institucionales de organismos de acreditación e innovación educativa. Los artículos fueron los siguientes: (Rey-Sánchez et al., 2023), (Gupta et al., 2023), (Tobar Litardo et al., 2023), (Qian et al., 2023), (Cano Ibarra et al., 2022), (Goldin et al., 2022), (Layco,E.P. 2022),



## Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como perspectiva de mejora para la calidad académica

(Gonzales et al., 2022), (Srivani et al., 2022), (Velásquez Pérez et al., 2022), (Jam & Puteh, 2022), (Miranda et al., 2021), (Matsumoto-Royo et al., 2021), (López-Bernal et al., 2021), (Ramírez-Montoya, et al., 2021), (Sinche Crispín et al., 2021), (Ishak & Mansor, 2020), (Alda et al., 2020), (Himmetoglu et al., 2020), (Bujang et al., 2020), (Jamaludin et al., 2020).

### 2. Análisis del campo disciplinar.

En esta fase se exploraron las aplicaciones del Análisis de Recurrencias en distintos ámbitos de la ingeniería —mecánica, eléctrica, biomédica y de control— con el fin de identificar su potencial formativo y su pertinencia curricular. Se recopilaron y clasificaron casos de aplicación del AR en la investigación y la práctica profesional, analizando su valor didáctico y su vinculación con competencias de modelado, análisis de datos y resolución de problemas complejos. Los artículos fueron los siguientes: (Eckmann et al., 1987), (Marwan, 2008), (Marwan et al., 2007), (Webber & Marwan, 2015), (Pánis et al., 2023), (Rysak et al., 2023), (Marwan & Webber, 2014), (Zou et al., 2008), (Braun et al., 2022), (Hirata & Aihara, 2011), (Suresha et al., 2016), (Schinkel et al., 2008), (Sytá et al., 2012), (Kecik et al., 2022), (García et al., 2013), (Baghdadi et al., 2021), (Furman et al., 2023), (Frilot et al., 2015), (Frolov et al., 2023), (Badarin et al., 2024), (Calderón-Juárez et al., 2023), (Calderón-Juárez et al., 2023b), (López Pérez et al., 2023), (Kędra, 2023), (Li et al., 2008), (Rivas-Cisneros, 2023), (Rivas-Cisneros, D.E y Rivas-Cisneros, A.E., 2025) y (Rivas Cisneros, D., Díaz Romero, D. & Alcorta García, E. 2025).

### 3. Propuesta de integración curricular.

A partir de los hallazgos anteriores, se elaboró una propuesta conceptual de implementación del AR como unidad de aprendizaje. Esta propuesta contempla su posible inserción en asignaturas existentes (Sistemas Dinámicos, Procesamiento de Señales, Análisis de Datos) o como módulo transversal en programas de ingeniería. Se diseñó un esquema preliminar de objetivos de aprendizaje, contenidos temáticos, estrategias didácticas y evaluación por competencias.

#### Técnicas de análisis.

El análisis de la información se realizó mediante una triangulación teórica entre tres dimensiones:

- (a) Las tendencias globales en educación en ingeniería,
- (b) Las exigencias tecnológicas de la Industria 4.0, y
- (c) Las potencialidades del AR como herramienta formativa y de investigación aplicada.

Esta triangulación permitió sustentar la pertinencia de la propuesta y delinear los criterios pedagógicos y técnicos para su implementación.

En conjunto, esta metodología permitió no solo contextualizar la necesidad de incorporar el Análisis de Recurrencias en la educación en ingeniería, sino también fundamentar su valor didáctico y estratégico como respuesta a las demandas de una formación científica más dinámica, interdisciplinaria y orientada al análisis de sistemas complejos.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir del análisis documental y de la identificación del potencial educativo del Análisis de Recurrencias, se diseñó una propuesta preliminar de unidad de aprendizaje orientada a su incorporación en los programas de ingeniería. El propósito de este plan de curso es ofrecer una estructura formativa clara, organizada y pertinente que permita a los estudiantes desarrollar competencias en el análisis de sistemas dinámicos mediante técnicas de recurrencia, tanto desde su fundamento teórico como desde su aplicación computacional y profesional. Esta propuesta

## Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como prospectiva de mejora para la calidad académica

curricular busca servir como modelo de referencia para su futura implementación, adaptación o evaluación en contextos reales de enseñanza universitaria.

El plan propuesto es el siguiente:

Asignatura: Análisis de recurrencia en sistemas dinámicos.

Nivel: Ingeniería (7 u 8 semestre).

Modalidad: Teórica–Práctica (clase + laboratorio de cómputo).

Horas por semana: 4 horas (2 horas de teoría + 2 horas de práctica).

Duración: 16 semanas.

Requisitos previos:

- Ecuaciones diferenciales.
- Álgebra lineal.
- Programación (Python o Matlab).
- Introducción a los sistemas dinámicos.

Objetivo general:

Formar al estudiante en el uso de técnicas de recurrencia para el análisis de sistemas dinámicos, proporcionando bases teóricas, habilidades computacionales y aplicaciones en ingeniería y ciencias exactas.

Competencias a desarrollar:

- Comprender el concepto de recurrencia en sistemas dinámicos periódicos, cuasi periódicos y caóticos.
- Construir y analizar diagramas de recurrencia (RP).
- Aplicar técnicas de cuantificación de recurrencias (RQA), incluyendo porcentaje de recurrencia, porcentaje de determinismo, entropía de Shannon y trapping time.
- Implementar técnicas de reconstrucción de fase mediante el teorema de Takens.
- Programar y ejecutar algoritmos de análisis de recurrencia en Python o Matlab.
- Analizar señales reales provenientes de sistemas mecánicos, eléctricos, biomédicos o climáticos.
- Elaborar reportes técnicos y artículos cortos con estructura académica.

Temario

Unidad 1: Sistemas Dinámicos (Semana 1-2).

- Sistemas dinámicos periódicos.
- Sistemas dinámicos cuasi periódicos.
- Sistemas dinámicos caóticos.
- Espacio de fase y atractores.
- Ejemplo: Péndulo forzado, Sistema de Lorenz, Sistema de Rössler.

Unidad 2: Concepto de recurrencia (Semana 3-4).

- Teorema de recurrencia de Poincaré.
- Definición formal de Recurrencia.
- Simetría y periodicidad de trayectorias.
- Ejercicios computacionales: Simulación y visualización en Python/Matlab.

Unidad 3: Diagrama de recurrencias (RP) (Semana 5-6).

## Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como prospectiva de mejora para la calidad académica

- Construcción de matrices de recurrencias.
- Elección de parámetros: Dimensión de embebimiento, retardo y umbral de cercanía.
- Visualización y patrones en graficas de recurrencias.
- Ejercicios computacionales: Graficas de recurrencias de sistema periódico, cuasi-periódico, caótico.

Unidad 4: Cuantificación de recurrencias (RQA) (Semana 7-9).

- Medidas básicas: Recurrencias (Porcentaje de REC), determinismo (Porcentaje de DET), entropía de Shannon, trapping time.
- Interpretación física e ingenieril de medidas básicas de recurrencia.
- Ejercicios prácticos con librerías de RQA en Python.
- Proyecto intermedio: Análisis de medidas de recurrencia entre un sistema periódico, cuasi-periódico y caótico.

Unidad 5: Aplicaciones en ingeniería y ciencia (Semana 10-13).

- Análisis de vibraciones mecánicas.
- Análisis de señales eléctricas.
- Análisis de señales fisiológicas (ECG, EEG).
- Aplicación en el análisis de ciencias de datos.

Unidad 6: Proyecto final (Semana 14-16).

- Desarrollo de un proyecto aplicado en equipo (Ejemplo: Diagnostico de fallas, análisis de señales reales, estudio de atractores caóticos).
- Presentación oral y entrega de articulo técnico corto.

A continuación, exponemos algunas ventajas aplicaciones y ventajas del uso del análisis de recurrencias en la ingeniería.

Aplicaciones en ingeniería.

El AR posee un amplio rango de aplicaciones en la ingeniería moderna, entre ellas:

- Análisis de vibraciones mecánicas no lineales.
- Oscilaciones en señales eléctricas y circuitos.
- Detección de fallos y monitoreo estructural.
- Procesamiento de señales fisiológicas en biomecánica e ingeniería biomédica.
- Evaluación de estabilidad en sistemas de control no lineales.
- Diagnóstico temprano de fallas en maquinaria industrial.

Ventajas educativas.

La integración del AR en la formación de ingenieros ofrece múltiples beneficios pedagógicos:

- Introduce a los estudiantes en el análisis de datos reales mediante métodos contemporáneos.
- Fortalece el pensamiento computacional, el razonamiento crítico y la interpretación de resultados.
- Estimula el uso de herramientas tecnológicas como Python, Matlab o R.
- Fomenta el trabajo interdisciplinario y la investigación aplicada.

**Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa como prospectiva de mejora para la calidad académica**

**Tabla 1. Evaluación sugerida (dependerá de cada escuela y carrera)**

N°	Evaluación	Valor
1.	Tareas y ejercicios	20%
2.	Proyecto intermedio	20%
3.	Proyecto final	30%
4.	Exámenes	30%
	Total	100%

## CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Los resultados de este estudio indican que el análisis de recurrencias constituye una herramienta didáctica con alto potencial para fortalecer la formación en ingeniería, especialmente en un contexto de transformación curricular orientado por la Industria 4.0. La revisión sistemática mostró que, aunque esta metodología es ampliamente utilizada en física, ciencias de la complejidad y análisis de sistemas dinámicos, su adopción en programas de ingeniería aún es limitada. Esta brecha abre una oportunidad significativa para incorporar enfoques analíticos avanzados que promuevan el pensamiento sistémico, la modelación y la interpretación crítica de datos complejos.

La propuesta de curso desarrollada en este trabajo aporta una ruta concreta para integrar formalmente el análisis de recurrencias en la educación superior. Los contenidos, actividades y criterios de evaluación se alinean con competencias clave identificadas en la literatura educativa y normativa, como el razonamiento matemático, la capacidad de abstracción, el análisis de sistemas y la resolución de problemas. Además, el enfoque didáctico basado en metodologías activas y aprendizaje por proyectos favorece la autonomía del estudiante y la conexión entre teoría y práctica, elementos indispensables en la innovación curricular contemporánea.

En la discusión metodológica, los hallazgos revelan que el análisis de recurrencias facilita la comprensión de fenómenos dinámicos no lineales de una manera visual e intuitiva. Esto permite que estudiantes sin un trasfondo profundo en sistemas caóticos puedan aproximarse a conceptos avanzados mediante representaciones gráficas, lo cual reduce la carga cognitiva inicial y aumenta la accesibilidad del tema. Sin embargo, también se identificaron desafíos: es necesario fortalecer la formación docente en esta técnica y desarrollar materiales didácticos estandarizados que faciliten su adopción.

En conclusión, este estudio sostiene que el análisis de recurrencias puede funcionar como una estrategia formativa innovadora y transversal, capaz de integrar matemática aplicada, física, computación y análisis de datos en un solo marco conceptual. Su incorporación curricular no solo amplía las competencias analíticas del estudiantado, sino que también contribuye a preparar perfiles profesionales más alineados con las demandas tecnológicas actuales. Se recomienda continuar con estudios empíricos que evalúen el impacto de esta propuesta en contextos educativos reales y que desarrollen recursos pedagógicos avanzados para su implementación.



**Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa  
como perspectiva de mejora para la calidad académica**

**REFERENCIAS**

- Ruay Garcés, R., González Bravo, P., & Plaza Taucare, E. (2016). ¿Cómo abordar la renovación curricular en la educación superior? *Alteridad. Revista de Educación*, 11(2), 157–170. <https://www.redalyc.org/pdf/4677/467749196002.pdf>
- Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas (CRUCH) (2012). *Innovación Curricular en las Universidades del Consejo de Rectores. Reflexiones y procesos en las Universidades del Consejo de Rectores Prácticas Internacionales*. ISBN: 978-956-7581-03-0.
- Arriaga Cárdenas, O. G., & Lara Magaña, P. C. (2023). La innovación en la educación superior y sus retos a partir del COVID-19. *Revista Educación*, 47(1). <https://doi.org/10.15517/revedu.v47i1.51979>
- Garcés, G. y Peña, C. (2020). Ajustar la Educación en Ingeniería a la Industria 4.0: Una visión desde el desarrollo curricular y el laboratorio. *Revista de Estudios y Experiencias en Educación*. <https://doi.org/10.21703/rexe.20201940garces7>
- Carbajal-Amaya, R. V. (2020). La Universidad del futuro y la Revolución 4.0. Hacia una Universidad innovadora. Análisis prospectivo. *Revista Electrónica Calidad En La Educación Superior*, 11(2), 15–26. <https://doi.org/10.22458/caes.v11i2.3321>
- Rey-Sánchez, S. P., Vergara-Calderón, R. S., Rodríguez-Barboza, J. R., Pablo-Huamani, R. (2023). Educación 4.0 en estudiantes universitarios peruanos en situación postpandemia: Education 4.0 in Peruvian university students in post-pandemic situation. *Scientific Research Journal CIDI*, 3 (5), 1-22. <https://doi.org/10.53942/srjci.v3i5.110>
- Gupta, A., Sawhney, S., Nanda, A., Shabaz, M., Ofori, I. (2023). Transforming Learning to Online Education 4.0 during COVID-19: Stakeholder Perception, Attitude, and Experiences in Higher Education Institutions at a Tier-III City in India. *Education Research International*, 2023 (1), 3217552. <https://doi.org/10.1155/2023/3217552>
- Tobar Litardo, J. E., Rodríguez Wong, C. A., Garcés Suárez, E. F. (2023). La formación de los docentes para la enseñanza de la industria 4.0 en la educación superior. *RECIAMUC*, 7 (2), 180-194. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.\(2\).abril.2023.180-194](https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.(2).abril.2023.180-194)
- Qian, Y., Vaddiraju, S., Khan, F. (2023). Safety education 4.0– A critical review and a response to the process industry 4.0 need in chemical engineering curriculum. *Safety Science*, 161, 106069. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106069>
- Cano Ibarra, S. T., Galván Morales, P., Briseño Canchola, S., Plascencia Cano, M. A. (2022). Probabilidad y Estadística Basada en Retos: Enfoque Educativo STEM y Educación 4.0 (Challenge-Based Probability And Statistics: Stem Educational Approach And Education 4.0). *Pistas Educativas*, 43 (141). <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/2710/2166>
- Goldin, T., Rauch, E., Pacher, C., Woschank, M. (2022). Reference architecture for an integrated and synergetic use of digital tools in education 4.0. *Procedia Computer Science*, 200, 407-417. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.239>
- Layco, E. P. (2022). Mathematics Education 4.0: Teachers Competence and Skills Readiness in Facing the Impact of Industry 4.0 on Education. *Journal of Positive School Psychology*, 6 (2), 1233-1259. <https://www.journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/1642>



**Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa  
como prospectiva de mejora para la calidad académica**

- Gonzales, G., Costan, F., Suladay, D., Gonzales, R., Enriquez, L., Costan, E., Atibing, N. M., Aro, J. L., Evangelista, S. S., Maturan, F., Selerio, E., Ocampo, L. (2022). Fermatean fuzzy DEMATEL and MMDE algorithm for modelling the barriers of implementing education 4.0: Insights from the Philippines. *Applied Sciences*, 12 (2), 689. <https://doi.org/10.3390/app12020689>
- Srivani, V., Hariharasudan, A., Pandeewari, D. (2022). English language learning using education 4.0 in Karimnagar, India. *World Journal of English Language*, 12 (2), 325. <https://doi.org/10.5430/wjel.v12n2p325>
- Velásquez Pérez, T., Flórez Villamizar, L., Castro Silva, H. F. (2022). Pedagogías emergentes & educación 4.0: hacia un modelo de enseñanza holístico. *Revista Boletín Redipe*, 11 (1), 551-564. <https://doi.org/10.36260/rbr.v11i1.1662>
- Jam, N. A. M., Puteh, S. (2022). Exploring the teaching and learning indicators towards education 4.0 in MTUN, Malaysia. *International Journal of Information and Education Technology*, 12 (2), 179-184. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.2.1602>
- Miranda, J., Navarrete, C., Noguez, J., Molina-Espinosa, J., Ramírez-Montoya, M., Navarro-Tuch, S. A., Bustamante-Bello, M., Rosas-Fernández, J., Molina, A. (2021). The core components of education 4.0 in higher education: Three case studies in engineering education. *Computers & Electrical Engineering*, 93, 1- 13. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107278>
- Matsumoto-Royo, K., Ramírez-Montoya, M. S., Conget, P. (2021). Opportunities to develop lifelong learning tendencies in practice-based teacher education: Getting ready for education 4.0. *Future Internet*, 13 (11), 292. <https://doi.org/10.3390/fi13110292>
- López-Bernal, D., Balderas, D., Ponce, P., Molina, A. (2021). Education 4.0: Teaching the Basics of KNN, LDA and Simple Perceptron Algorithms for Binary Classification Problems. *Future Internet*, 13 (8), 193. <https://doi.org/10.3390/fi13080193>
- Ramírez-Montoya, M. S., Loaiza-Aguirre, M. I., Zúñiga-Ojeda, A., Portuguez-Castro, M. (2021). Characterization of the Teaching Profile within the Framework of Education 4.0. *Future Internet*, 13 (4), 91. <https://doi.org/10.3390/fi13040091>
- Sinche Crispín, F. V., Gordillo Flores, R. E., Baldeón Tovar, M. T., Medina Pelaiza, L. E., Armada Pacheco, J. (2021). El reto de la Educación 4.0 a nivel universitario de cara a la emergencia por Covid-19. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 61 (4), 717-724. <https://doi.org/10.52808/bmsa.7e5.614.020>
- Ishak, R., Mansor, M. (2020). The relationship between knowledge management and organizational learning with academic staff readiness for education 4.0. *Eurasian Journal of Educational Research*, 20 (85), 169- 184. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejer/issue/52308/685555>
- Alda, R., Boholano, H., Dayagbil, F. (2020). Teacher Education Institutions in the Philippines towards Education 4.0. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 19 (8), 137-154. <https://doi.org/10.26803/ijlter.19.8.8>
- Himmetoglu, B., Aydog, D., Bayrak, C. (2020). Education 4.0: Defining the teacher, the student, and the school manager aspects of the revolution. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 21(Special Issue|ODL), 12-28. <https://doi.org/10.17718/tojde.770896>



**Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa  
como perspectiva de mejora para la calidad académica**

- Bujang, S. D. A., Selamat, A., Krejcar, O., Maresova, P., Nguyen, N. T. (2020). Digital Learning Demand for Future Education 4.0—Case Studies at Malaysia Education Institutions. *Informatics*, 7 (2), 13. <https://doi.org/10.3390/informatics7020013>
- Jamaludin, R., McKay, E., Ledger, S. (2020). Are we ready for Education 4.0 within ASEAN higher education institutions? Thriving for knowledge, industry and humanity in a dynamic higher education ecosystem?. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 12 (5), 1161-1173. <https://doi.org/10.1108/JARHE-06-2019-0144>
- Eckmann, J.-P., Kamphorst, S. O., & Ruelle, D. (1987). Recurrence plots of dynamical systems. *Europhysics Letters*, 4(9), 973–977. <https://doi.org/10.1209/0295-5075/4/9/004>
- Marwan, N. (2008). A historical review of recurrence plots. *European Physical Journal Special Topics*, 164, 3–12. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2008-00829-1>
- Marwan, N., Romano, M. C., Thiel, M., & Kurths, J. (2007). Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Physics Reports*, 438(5), 237–329. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2006.11.001>
- Webber, C. L., Jr., & Marwan, N. (Eds.). (2015). *Recurrence quantification analysis: Theory and best practices*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07155-8>
- Pánis, R., Adámek, K., & Marwan, N. (2023). Averaged recurrence quantification analysis. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 47–56. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00686-4>
- Rysak, A., Sedlmayr, M., & Gregorczyk, M. (2023). Revealing fractionality in the Rössler system by recurrence quantification analysis. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 83–98. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00740-1>
- Marwan, N., & Webber, C. L., Jr. (2014). Mathematical and computational foundations of recurrence quantifications. In C. L. Webber Jr. & N. Marwan (Eds.), *Recurrence quantification analysis: Theory and best practices* (pp. 3–43). Springer.
- Zou, Y., Thiel, M., Romano, M. C., Read, P., & Kurths, J. (2008). Recurrence analysis of quasiperiodicity in experimental fluid data. *European Physical Journal Special Topics*, 164, 23–33. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2008-00831-7>
- Braun, T., Kraemer, K. H., & Marwan, N. (2022). Recurrence flow measure of nonlinear dependence. *European Physical Journal Special Topics*, 232. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00687-3>
- Hirata, Y., & Aihara, K. (2011). Erratum: Devaney's chaos on recurrence plots. *Physical Review E*, 83.
- Suresha, S., Sujith, R., Emerson, B., & Liewen, T. (2016). Nonlinear dynamics and intermittency in a turbulent reacting wake with density ratio as bifurcation parameter. *Physical Review E*, 94, 042206. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.94.042206>
- Schinkel, S., Dimigen, O., & Marwan, N. (2008). Selection of recurrence threshold for signal detection. *European Physical Journal Special Topics*, 164, 15–53. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2008-00833-5>



**Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa  
como perspectiva de mejora para la calidad académica**

- Syta, A., Jonak, J., Jedliński, Ł., & Litak, G. (2012). Failure diagnosis of a gear box by recurrences. *Journal of Vibration and Acoustics*, 134. <https://doi.org/10.1115/1.4005846>
- Kecik, K., Smagala, A., & Liubyska, K. (2022). Ball bearing fault diagnosis using recurrence analysis. *Materials*, 15(17), 5940. <https://doi.org/10.3390/ma15175940>
- García, S., Romo, M., & Figueroa-Nazuno, J. (2013). Characterization of ground motions using recurrence plots. *Geofísica Internacional*, 52, 209–227. [https://doi.org/10.1016/S0016-7169\(13\)71473-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7169(13)71473-9)
- Baghdadi, G., Amiri, M., Falotico, E., & Laschi, C. (2021). Recurrence quantification analysis of EEG signals for tactile roughness discrimination. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 12, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s13042-020-01224-1>
- Furman, Ł., Duch, W., Minati, L., & Tołpa, K. (2023). Short-time Fourier transform and embedding method for recurrence quantification analysis of EEG time series. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 135–149. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00683-7>
- Frilot, C., Kim, P. Y., Carrubba, S., McCarty, D. E., Chesson, A. L., & Marino, A. A. (2015). Analysis of brain recurrence. In C. L. Webber Jr. & N. Marwan (Eds.), *Recurrence quantification analysis* (pp. 213–251). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-07155-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-07155-8_7)
- Frolov, N., Pitsik, E., Maksimenko, V., et al. (2023). Applying recurrence time entropy to identify changes in event-related potentials. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 161–168. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00743-y>
- Badarin, A., Brusinskii, N., Grubov, V., et al. (2024). Recurrency time entropy of brain wave rhythms as an indicator of performance on visual search tasks in schoolchildren. *European Physical Journal Special Topics*. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-024-01348-3>
- Calderón-Juárez, M., González Gómez, G. H., Echeverría, J. C., et al. (2023). Recurrence quantitative analysis of heart rate variability during intradialytic hypotension. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 111–121. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00688-2>
- Calderón-Juárez, M., Gutiérrez Alvarado, D. A., González Gómez, G. H., et al. (2023). Recurrence plot analysis of heart rate variability in end-stage renal disease. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 99–110. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00682-8>
- López Pérez, D., Bokde, A. L. W., & Kerskens, C. M. (2023). Complexity analysis of heartbeat-related signals in brain MRI time series as a potential biomarker for ageing and cognitive performance. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 123–133. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00696-2>
- Kędra, M. (2023). Dam-induced changes in river flow dynamics revealed by RQA. *European Physical Journal Special Topics*, 232, 209–215. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00689-1>
- Li, S., Zhao, Z., & Liu, F. (2008). Identifying spatial pattern of NDVI series dynamics using recurrence quantification analysis. *European Physical Journal Special Topics*, 164, 127–139. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2008-00839-y>



**Análisis de recurrencias en la educación en ingeniería: Una estrategia formativa  
como prospectiva de mejora para la calidad académica**

- Rivas-Cisneros, D. E. (2023). Use of recurrence plots to find mutations in deoxyribonucleic acid sequences. *Complex Systems*, 32(1), 89–100. <https://doi.org/10.25088/ComplexSystems.32.1.89>
- Rivas-Cisneros, D. E., y Rivas-Cisneros, A. E. (2025). Análisis de recurrencia: de señales de ingeniería a la mejora continua en procesos de manufactura. *Multidisciplinas de la Ingeniería*, 13(22), 120–128. <https://doi.org/10.29105/mdi.v13i22.343>
- Rivas Cisneros, D., Díaz Romero, D. & Alcorta García, E. (2025). Recurrence Analysis as a Tool for Identifying Incipient Faults. *Memorias del Congreso Nacional de Control Automático 2025*, pp. 50-55. <https://doi.org/10.58571/CNCA.AMCA.2025.009>

