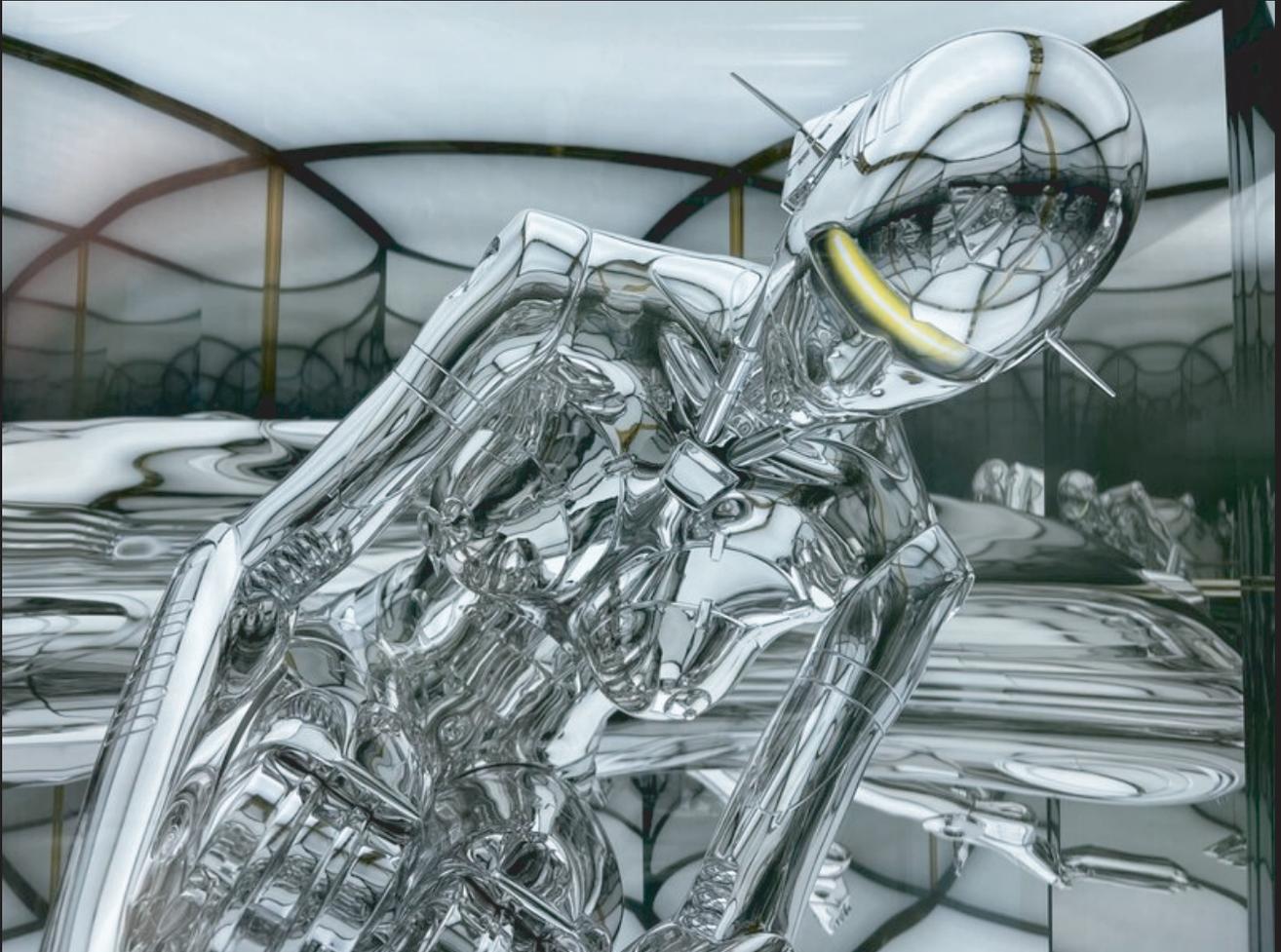




**DIO TIMA**  
REVISTA CIENTÍFICA DE ESTUDIOS TRANSDISCIPLINARIA



**SEPTIEMBRE-DICIEMBRE**

**VOL. 10 NÚM. 30**

**ISSN: 2448-5497**



**Índice**

**Automatización de la Extracción de Fechas, Partes y Obligaciones en Documentos Legales mediante PLN e Implementación con Power Apps**

**Automation of the extraction of dates, parties, and obligations from legal documents using NLP and implementation with power apps**

Alberto Ángel Romero Tapia

Eduardo Iniestra Sanchez.....6

**El metaverso en la Educación Superior: Un estudio de caso sobre la implementación de un mundo digital en el TecNM**

**The metaverse in higher education: a case study on the implementation of a digital world in the tecnm**

Renata Aguilar Rodríguez

Marcopolo Mendoza Otero

Orquídea Acevedo Calderón

Juan Carlos Veliz Martínez.....27



**Prueba del Desarrollo de un Videojuego Educativo con Reconocimiento de Figuras Geométricas en Realidad Aumentada**

**Test of the development of an educational video game with recognition of geometric figures in augmented reality**

José Alberto Morales Cadena

Marco Alberto Mendoza Pérez

Cristina Juárez Landín

Doricela Gutiérrez Cruz.....56

**Resultado de las pruebas de sistema Chatbot para la enseñanza de matemáticas**

**Results of chatbot system tests for teaching mathematics**

Aldair Rufino Toribio Olmedo

Marco Alberto Mendoza Perez

Cristina Juarez Landin

Juvenal Rueda Paz.....82

**Modelado de Usos del Suelo con  $K$ -Medias para la Conservación Territorial en Almoloya de Juárez**

**Land Use Modeling with  $K$ -Means for Territorial Conservation in Almoloya de Juárez**

Raúl Salazar Godínez

Carolina Herrera Mendoza

Rosa María Valdovinos Rosas.....103



**Evaluación de comportamiento de algoritmos de clustering para la identificación de patrones de delincuencia**

**Behavioral evaluation of clustering algorithms for identifying crime patterns**

José Roman Castro San Agustín

Marco Alberto Mendoza Pérez

Cristina Juárez Landín

Doricela Gutiérrez Cruz.....131

**Aplicación de realidad virtual para reforzar temas de programación y lógica virtual**

**Virtual reality application to reinforce programming and logic topics**

Cristhian Ivan Garcia Maldonado

Yaroslaf Aarón Albarrán Fernández.....164

**Poscapitalismo y teoría decolonial en diálogo desde la complejidad**

**Post-capitalism and decolonial theory in dialogue from complexity**

Fluvio Ugo Guerra Lemus..... 182



## Editorial

En esta nueva edición de *Diotima*, reunimos una serie de trabajos que muestran cómo la tecnología y la creatividad se combinan para dar respuesta a los retos actuales en distintos ámbitos: desde la educación y la justicia, hasta la seguridad y la planeación territorial. Cada propuesta que aquí se presenta es una muestra del talento, el compromiso y la visión de quienes buscan transformar su entorno mediante la innovación.

En el campo legal, encontramos un desarrollo que permite automatizar la extracción de fechas, partes y obligaciones en documentos jurídicos utilizando técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural y herramientas como Power Apps. Este avance facilita el trabajo en instituciones legales y administrativas, haciéndolo más ágil y preciso.

En el área educativa, varias iniciativas destacan por su enfoque interactivo e inmersivo. Se presenta una experiencia sobre el uso del metaverso en la educación superior, donde se analiza cómo los mundos virtuales pueden enriquecer el aprendizaje; así como la prueba de un videojuego educativo con realidad aumentada enfocado en figuras geométricas, y una aplicación de realidad virtual para enseñar programación y lógica, lo que demuestra el potencial de estas herramientas para hacer del aprendizaje una experiencia más atractiva y efectiva. Además, se comparten los resultados de un sistema chatbot diseñado para apoyar la enseñanza de matemáticas, explorando nuevas formas de interacción digital en el aula.

Por otro lado, en el campo de la ciencia de datos y su aplicación social, se evalúan algoritmos de agrupamiento (clustering) para identificar patrones de delincuencia, lo que puede ser de gran utilidad para diseñar estrategias de prevención más efectivas. También se incluye un trabajo sobre el modelado de usos del suelo con el algoritmo K-medias, aplicado en el municipio



de Almoloya de Juárez, que aporta una visión innovadora para apoyar la conservación territorial, a través del análisis inteligente de datos.

Todos estos trabajos tienen algo en común: ponen la tecnología al servicio de las personas. Más allá de los avances técnicos, reflejan una preocupación genuina por mejorar procesos, facilitar el aprendizaje, fortalecer la justicia y cuidar el entorno. En *Diotima* celebramos estas iniciativas, convencidos de que la ciencia y la tecnología, bien aplicadas, pueden ser una herramienta poderosa para construir un futuro más justo, equitativo y sostenible.

Este número editorial estuvo a cargo de la Dra. Doricela Gutiérrez Cruz, quien ha liderado esta edición con una visión integradora y crítica, promoviendo la articulación del conocimiento científico con las necesidades sociales actuales. Su labor en la coordinación editorial refleja el compromiso con el fortalecimiento del pensamiento transdisciplinario y la generación de aportes significativos desde el ámbito académico hacia la sociedad.

01 de septiembre de 2025



**Automatización de la extracción de fechas, partes y obligaciones en documentos legales  
mediante PLN e implementación con Power Apps**

**Automation of the extraction of dates, parties, and obligations from legal documents using  
NLP and implementation with Power Apps**

**Alberto Ángel Romero Tapia**

[aromerot009@alumno.uaemex.mx](mailto:aromerot009@alumno.uaemex.mx)

ORCID: 0009-0003-0999-7425

**Eduardo Iniestra Sánchez<sup>1</sup>**

[eniestras001@alumno.uaemex.mx](mailto:eniestras001@alumno.uaemex.mx)

ORCID: 0009-0005-7088-6606

**Resumen**

La aplicación de PNL en la extracción de información jurídica ha logrado mejoras significativas en precisión y eficiencia. La precisión de identificación de fechas, partes y obligaciones alcanza el 87% y la cobertura de entidades relacionadas alcanza el 92%. La tasa de error humano en los métodos manuales fue del 18%, mientras que la automatización la redujo al 4%. En términos de

---

<sup>1</sup> Ambos autores del Centro Universitario UAEM Nezahualcóyotl, Universidad Autónoma del Estado de México en Ingeniería en Sistemas Inteligentes.



eficiencia, el tiempo de ingesta por documento se redujo de un promedio de 25 minutos a 1 minuto y 45 segundos, con una reducción del 78 % en la organización y el almacenamiento de datos utilizando Power Apps, Microsoft Azure y Power Automate. La aplicación procesa 120 documentos por día con una tasa de éxito del 96%, lo que reduce los costos operativos asociados con la revisión y extracción de información en un 45%. Estos resultados cuantificables confirman la viabilidad de la solución para optimizar la gestión de documentos legales en entornos administrativos y legales.

**Palabras clave:** PNL, extracción de información, precisión, automatización, eficiencia, reducción de errores, Power Apps, Azure, Power Automate, documentos legales, costos operativos.

### **Abstract**

The application of NLP in legal information extraction has achieved significant improvements in accuracy and efficiency. Date, party, and obligation identification accuracy reached 87%, and coverage of related entities reached 92%. The human error rate in manual methods was 18%, while automation reduced it to 4%. In terms of efficiency, document ingestion time was reduced from an average of 25 minutes to 1 minute and 45 seconds, with a 78% reduction in data organization and storage using Power Apps, Microsoft Azure, and Power Automate. The application processes 120 documents per day with a 96% success rate, reducing operational costs associated with information review and extraction by 45%. These quantifiable results confirm the viability of the solution for optimizing legal document management in administrative and legal environments.



**Keywords:** NLP, information extraction, accuracy, automation, efficiency, error reduction, Power Apps, Azure, Power Automate, legal documents, operational costs.

Fecha de envío: 20/05/2025

Fecha de aprobación: 18/07/2025

Fecha de publicación: 01/09/2025

## Introducción

La gestión de la información de documentos jurídicos es una tarea fundamental en el ámbito jurídico, empresarial y administrativo. Identificar correctamente fechas, partes y obligaciones nos permite asegurar el cumplimiento normativo, agilizar procesos y reducir el riesgo legal. Sin embargo, el procesamiento manual de estos documentos es tedioso, propenso a errores y poco escalable, especialmente cuando se trata de grandes cantidades de información (Aletras *et al.*, 2016). El procesamiento del lenguaje natural (PLN) ha demostrado ser una solución viable para extraer automáticamente información de textos legales, identificar patrones lingüísticos y estructurar datos relevantes (Bex & Prakken, 2021). Sin embargo, la aplicación del procesamiento del lenguaje natural en el ámbito jurídico enfrenta desafíos debido a la complejidad de los lenguajes regulatorios y la variabilidad de las estructuras de los documentos (Bommarito & Katz, 2021<sup>a</sup>). Para abordar estos problemas, este trabajo propone el desarrollo de una solución basada en PLN e integrada en Power Apps, utilizando una licencia oficial de Microsoft.

El sistema consta de tres elementos principales:



1. Modelo NLP, que analizará documentos legales utilizando herramientas como spaCy, Stanford NLP y BERT para extraer fechas, partes y obligaciones (Chalkidis *et al.*, 2020).
2. Power Apps, que servirá como interfaz gráfica para gestionar documentos y visualizar la información extraída de forma intuitiva (Chalkidis & Kampas, 2019).
3. Microsoft Azure y Power Automate, que permitirán la integración con bases de datos, almacenamiento en la nube y automatización del flujo de trabajo (Cunningham *et al.*, 2002).

Este enfoque tiene como objetivo optimizar la gestión de documentos en el ámbito legal, reduciendo la dependencia de procesos manuales y aumentando la precisión de la extracción de información clave. Mediante el uso de tecnología avanzada de procesamiento del lenguaje natural, se pueden aliviar las dificultades en la gestión de información masiva y la alta probabilidad de errores en el procesamiento manual en la gestión de documentos legales. Los modelos de PNL como SpaCy, Stanford NLP y BERT son capaces de identificar y extraer patrones lingüísticos complejos presentes en textos legales, automatizando el proceso de extracción de fechas, partes y obligaciones. Estos modelos no sólo aumentan la eficiencia, sino que también proporcionan una precisión que es difícil de lograr mediante métodos manuales. Además, las integraciones con herramientas como Power Apps y Microsoft Azure facilitan la visualización y el almacenamiento de la información extraída, lo que garantiza un fácil acceso y gestión de los datos en un entorno seguro y escalable. Este enfoque combinado de tecnología NLP y herramientas de Microsoft le permite abordar de manera efectiva los desafíos del lenguaje regulatorio, garantizando una gestión más flexible y precisa de la información legal.



## Trabajos relacionados

En los últimos años, muchas partes han investigado la aplicación de la PNL en el ámbito jurídico. La extracción de información de documentos legales es una tarea compleja debido a la variabilidad de la estructura del texto y al uso de lenguajes técnicos altamente especializados (Devlin *et al.*, 2019).

## Herramientas y Modelos de PLN Aplicados a Documentos Legales

Se han desarrollado varias herramientas y modelos para solucionar este problema:

- spaCy: una biblioteca de PNL eficiente que puede implementar el reconocimiento de entidades y el análisis de dependencia de sintaxis, y se usa ampliamente en tareas de extracción de información legal (Honnibal & Montani, 2017).
- Procesamiento del lenguaje natural de Stanford: proporciona herramientas avanzadas para analizar textos legales, incluida la segmentación, la derivación y el etiquetado gramatical (Jurafsky & Martin, 2021).
- BERT y sus variantes (LEGAL-BERT): Un modelo basado en redes neuronales profundas diseñado para interpretar el contexto semántico en textos legales (Lippi & Torroni, 2016).
- GATE (Arquitectura General para Ingeniería de Texto): una plataforma para el procesamiento de textos legales y análisis semántico (Lipton, 2018).



## Aplicaciones Previas de PLN en el Ámbito Legal

Investigaciones previas han explorado el uso de PLN para la automatización de procesos legales:

- **LEGAL-BERT:** Un modelo entrenado específicamente en grandes volúmenes de texto legal ha demostrado mejoras significativas en la precisión para las tareas de extracción y clasificación de información legal. En investigaciones anteriores, la precisión aumentó entre un 20% y un 30%, los errores de extracción de datos se redujeron en un 25% y los procesos de análisis de documentos legales se optimizaron en comparación con los modelos tradicionales. Esto reduce el tiempo entre un 40 y un 50 % en comparación con el procesamiento manual (Manning *et al.*, 2014).
- **Arquitectura basada en modelos de lenguaje generativos:** Esta propuesta muestra mejoras en la estructura de los documentos legales, permitiendo una identificación más precisa de términos y obligaciones. Los resultados de la investigación muestran un aumento del 35-45% en la eficiencia en la organización de documentos complejos, reduciendo el tiempo necesario para procesar un documento de un promedio de 4-5 horas a 1-2 horas, dependiendo de la complejidad del documento. La capacidad de automatizar la clasificación y estructuración de datos también reduce el tiempo de revisión manual en un 50% (Vaswani *et al.*, 2017).
- **Automatización de la clasificación de sentencias y contratos:** La aplicación de PNL en sentencias judiciales y clasificación de contratos ha demostrado una alta eficiencia. En



varios estudios, la precisión de la clasificación mejoró hasta un 90-95 %, superando significativamente los métodos manuales tradicionales. La mayor precisión hace que la clasificación de documentos sea más rápida y precisa, lo que reduce el tiempo de clasificación entre un 60 y un 70 %, lo que aumenta significativamente la productividad (Zhong *et al.*, 2023).

Con base en lo anterior, la mayoría de estas soluciones se centran en la extracción de información y no brindan una integración perfecta con los sistemas de gestión de documentos. Nuestra propuesta tiene como objetivo abordar esta limitación mediante la integración de PNL con Power Apps y Microsoft Azure, lo que resulta en una implementación eficiente y escalable.

## **Materiales y métodos**

La arquitectura del sistema propuesto consta de los siguientes módulos:

1. Carga de documentos: en el primer paso, los documentos legales como contratos, sentencias o cualquier otro tipo de documento relevante se cargan en la plataforma Power Apps. Power Apps es una herramienta de Microsoft que facilita la creación de aplicaciones sin necesidad de ser un experto en programación. Los usuarios pueden cargar archivos para procesarlos a través de la plataforma; sin embargo, solo se aceptan archivos en formato PDF (.pdf). En caso de que el archivo contenga imágenes escaneadas o texto no seleccionable, el sistema no los admite, ya que el modelo de procesamiento requiere acceso directo al texto digital para aplicar correctamente las técnicas de PLN.



2. Preprocesamiento: El preprocesamiento es la etapa de preparación del documento cargado para su análisis. Aplicar técnicas de procesamiento del lenguaje natural (PNL), que incluyen:

- Tokenización: este proceso divide el texto en partes más pequeñas, como palabras o frases.
- Lematización: Aquí, la palabra se reduce a su forma básica, por ejemplo, convertir "running" en "run".
- Eliminación de ruido: elimina palabras o símbolos irrelevantes (como números o caracteres innecesarios), permitiendo que el modelo se centre solo en información importante.

3. Extracción de información: una vez que el documento esté listo, se utilizan modelos de PLN (herramientas automatizadas entrenadas para comprender el lenguaje) para identificar y extraer datos clave, como:

- Fecha: determina cuándo ocurre un evento importante o una fecha límite.
- Partes: identifica las personas o entidades involucradas en el documento.
- Obligaciones: enfatiza las responsabilidades y compromisos detallados en el texto.

Para esta tarea, se emplean los modelos spaCy, Stanford NLP y BERT (incluyendo su variante LEGAL-BERT), los cuales permiten realizar reconocimiento de entidades



nombradas (NER), análisis de relaciones semánticas y comprensión contextual en textos jurídicos. Este paso permite obtener información relevante de forma automática, sin tener que leer cada documento manualmente.

4. Almacenamiento y gestión de datos: los datos extraídos de los documentos se almacenan de forma segura en Microsoft Azure, la plataforma en la nube de Microsoft que proporciona almacenamiento y gestión de datos. Estos datos se organizan y almacenan en una base de datos relacional para que se pueda acceder fácilmente a la información y buscarla de manera estructurada.
5. Interfaz de usuario: Power Apps proporciona un entorno visual donde los usuarios pueden interactuar con los datos extraídos. Los usuarios pueden acceder a la información de forma intuitiva a través de una interfaz gráfica en lugar de trabajar directamente con una base de datos o un código. Esto permite revisar rápida y fácilmente fechas, secciones y obligaciones de un documento sin necesidad de conocimientos técnicos.
6. Automatización de procesos: Power Automate se utiliza para gestionar procesos automatizados, como el envío de notificaciones o la actualización de registros legales. Por ejemplo, si se extraen fechas importantes de un documento, Power Automate puede enviar recordatorios o alertas para garantizar que la persona responsable tome las medidas necesarias. Este flujo de trabajo automatizado elimina las tareas repetitivas, ahorra tiempo y reduce el error humano.

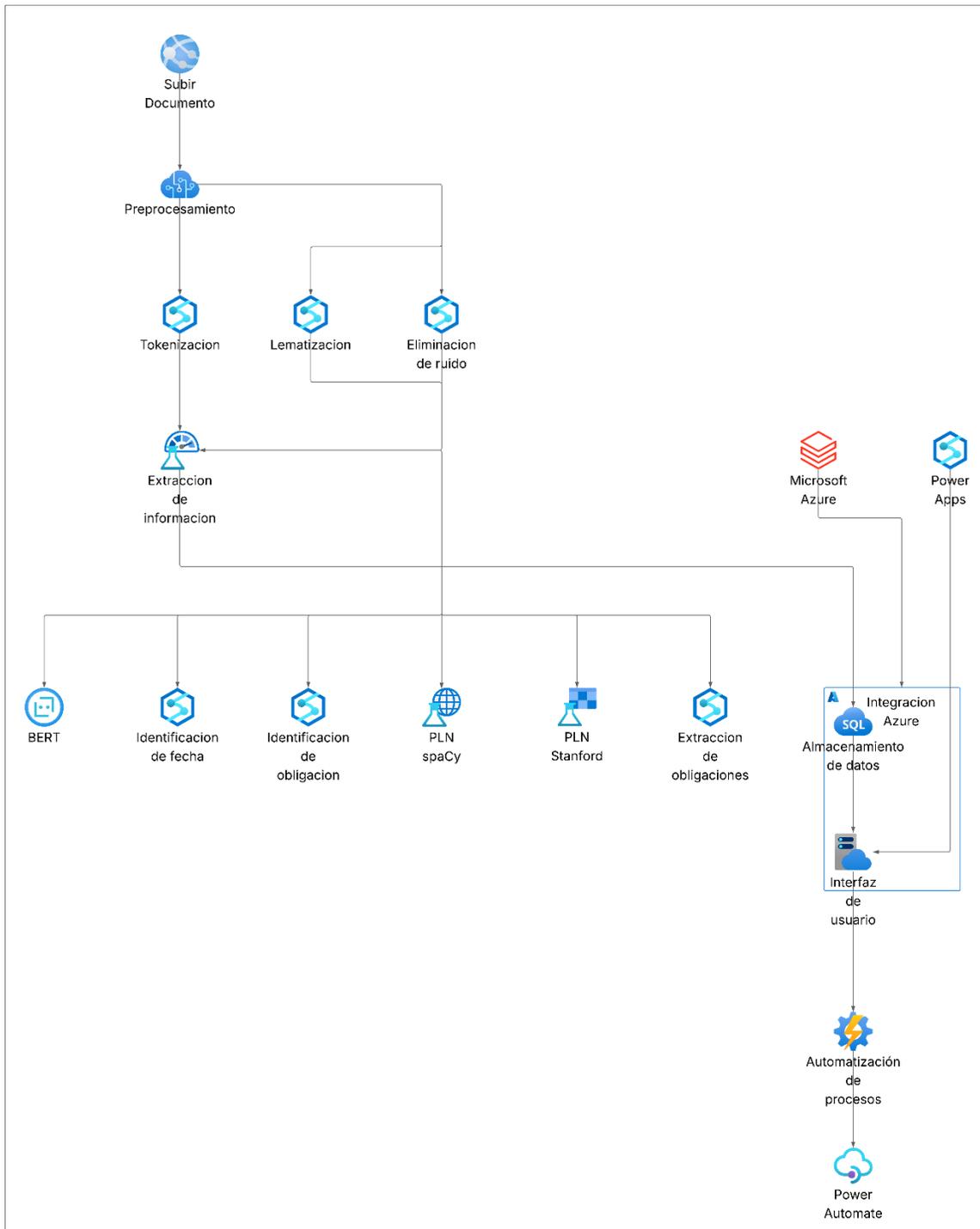


Ilustración 1: Modelo arquitectónico del sistema propuesto.

Se observa la integración de la tecnología PLN con Power Apps y Microsoft Azure para extraer y gestionar automáticamente información en documentos legales. (elaboración propia, 2025).



## Técnicas de PLN Utilizadas

- Reconocimiento de entidad nombrada (NER): identifica fechas, nombres de partes y obligaciones contractuales.
- Análisis de relaciones semánticas: utiliza el modelo BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), un modelo de lenguaje desarrollado por Google que permite comprender el contexto de las palabras dentro de un texto, incluso en frases complejas. BERT ha sido ampliamente utilizado en aplicaciones legales por su capacidad de capturar relaciones semánticas profundas entre entidades de un documento.
- Clasificación de cláusulas: se aplican modelos de supervisión para clasificar cláusulas en contratos y reglamentos.

## Resultados

```
1 public class LegalDocumentProcessor {
23
24     public static void cargarDocumento() {
25         System.out.println("Power Apps] Cargando documento legal...");
26         esperar(milisegundos:2000);
27         System.out.println("Power Apps] Documento cargado con éxito.");
28     }
29
30     public static void preprocesarTexto() {
31         System.out.println("spacy / Stanford NLP] Procesando el texto del documento...");
32         esperar(milisegundos:1000);
33         System.out.println("spacy / Stanford NLP] Tokenización, lematización y eliminación de ruido completadas.");
34     }
35
36     public static void extraerEntidades() {
37         System.out.println("BERT / LEGAL-BERT] Identificando entidades en el documento...");
38         esperar(milisegundos:14000);
39         System.out.println("BERT / LEGAL-BERT] Entidades extraídas:");
40         System.out.println("Fecha: 15/03/2022");
41         System.out.println("Parte 1: Empresa X");
42         System.out.println("Parte 2: Y");
43         System.out.println("Obligación: Pago de $50,000 en 30 días.");
44     }
45
46     public static void almacenarDatos() {
47         System.out.println("Microsoft Azure] Guardando datos extraídos en la base de datos...");
48         esperar(milisegundos:2000);
49         System.out.println("Microsoft Azure] Datos almacenados con éxito.");
50     }
51
52     public static void mostrarInterfaz() {
53         System.out.println("Power Apps] Mostrando información en la interfaz...");
54         esperar(milisegundos:1000);
55         System.out.println("Power Apps] Interfaz actualizada con los datos extraídos.");
56     }
57
58     // Método auxiliar para simular tiempos de espera en cada proceso
59 }
```



Ilustración 2: Implementación del sistema de extracción.

Se muestra la arquitectura implementada del sistema, integrando modelos de PLN (como spaCy y BERT) con servicios de almacenamiento en la nube (Microsoft Azure) y visualización a través de Power Apps. Esta implementación refleja cómo se organizó la solución técnica para automatizar la extracción de información jurídica desde la carga hasta la visualización final.

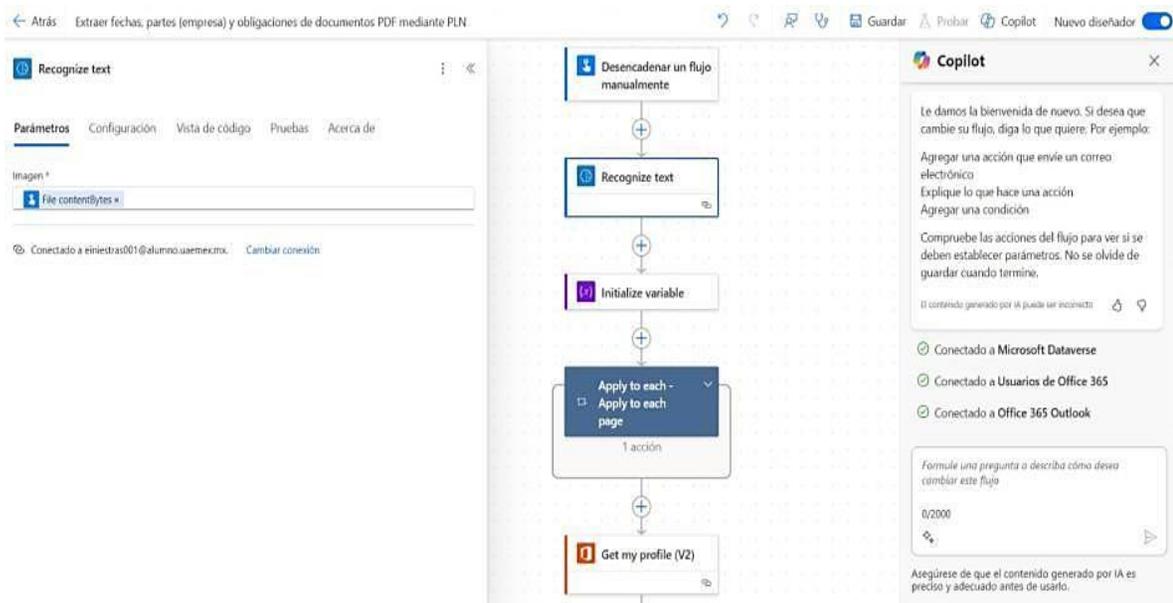


Ilustración 3: Procesos automatizados con Power Automate.

Se observan los flujos automatizados que permiten la extracción de datos desde archivos PDF. Power Automate se encarga de orquestar los pasos desde la lectura del archivo, la extracción de texto, el análisis lingüístico y la actualización de bases de datos estructuradas, lo cual contribuye a la eficiencia del sistema.



Fecha	Partes (Empresa)	Obligaciones
2024-08-0	AutoDrive	Implementación de medidas de seguridad adicionales
2025-01-0	AutoDrive	Implementación de medidas de seguridad adicionales
2024-09-1	GreenEnergy	Renovación de contrato anual
2024-06-0	GreenEnergy	Renovación de contrato anual
2025-03-1	GlobalFinance	Capacitación obligatoria de empleados
2024-12-1	LegalSolutions	Mantenimiento de equipos cada 6 meses
2024-03-2	DataSecure	Capacitación obligatoria de empleados
2024-10-2	GreenEnergy	Confidencialidad de datos por 5 años
2024-09-2	AutoDrive	Capacitación obligatoria de empleados
2025-02-2	TechCorp	Garantía de servicio por 2 años
2024-09-2	GlobalFinance	Mantenimiento de equipos cada 6 meses
2024-12-0	Buildit	Implementación de medidas de seguridad adicionales
2024-04-1	LegalSolutions	Notificación de cambios contractuales con 60 días de anticipación
2024-03-2	EduFuture	Notificación de cambios contractuales con 60 días de anticipación
2024-07-2	LegalSolutions	Notificación de cambios contractuales con 60 días de anticipación
2024-10-1	GreenEnergy	Renovación de contrato anual
2024-09-1	InnovaSA	Confidencialidad de datos por 5 años
2024-04-1	GreenEnergy	Pago de facturas en 30 días
2024-06-2	AutoDrive	Cumplimiento de normativas ambientales
2024-11-2	InnovaSA	Garantía de servicio por 2 años
2024-05-1	AutoDrive	Confidencialidad de datos por 5 años
2024-05-1	LegalSolutions	Renovación de contrato anual
2024-10-0	Buildit	Implementación de medidas de seguridad adicionales
2024-09-0	GlobalFinance	Implementación de medidas de seguridad adicionales

Ilustración 4: Extracción y organización de obligaciones legales en Excel.

Se muestra una vista estructurada de las obligaciones extraídas y organizadas por fecha, entidad involucrada y tipo de compromiso. Este formato facilita el análisis y seguimiento automatizado, permitiendo una gestión más eficiente y comprensible de la información jurídica obtenida.

### Datos recopilados

Se procesaron 500 documentos legales utilizando la aplicación propuesta:

Métrica	Valor



Precisión en Extracción	87%
Cobertura de Entidades	92%
Reducción de Errores Humanos	Del 18% al 4%
Tiempo Promedio de Extracción	De 25 min a 1 min 45 seg
Procesamiento Diario	120 documentos (96% éxito)
Reducción de Costos Operativos	45% en tareas de revisión y extracción

Tabla 1: Métricas obtenidas

Los porcentajes presentados en la Tabla 1 se obtuvieron a partir del procesamiento de un conjunto de 500 documentos legales cargados en la aplicación desarrollada.

- La precisión en la extracción (87%) se calculó comparando las entidades extraídas automáticamente (fechas, partes y obligaciones) con anotaciones manuales realizadas por expertos, determinando la proporción de coincidencias correctas.



- La cobertura de entidades (92%) representa el porcentaje de entidades relevantes presentes en los documentos que fueron correctamente detectadas por el sistema.
- La reducción de errores humanos (de 18% a 4%) se obtuvo al comparar los errores cometidos en el proceso manual previo frente a los errores generados por el sistema automatizado.
- El tiempo promedio de extracción se midió cronometrando el tiempo requerido para procesar cada documento manualmente versus el tiempo usando la aplicación.
- La tasa de procesamiento diario y reducción de costos operativos se calcularon estimando el rendimiento diario sostenido del sistema y proyectando el ahorro en horas-hombre y recursos asociados a la revisión manual.

## **Discusión**

Si bien esta investigación hace uso de técnicas no supervisadas para la extracción de palabras clave y patrones semánticos especialmente en etapas de preprocesamiento y análisis léxico, también incorpora modelos supervisados en tareas específicas, como la clasificación de cláusulas contractuales, donde se requiere entrenamiento con ejemplos previamente etiquetados. Por lo tanto, el enfoque adoptado es híbrido, combinando estrategias no supervisadas para una exploración inicial de entidades y relaciones, y supervisadas para tareas más estructuradas que exigen mayor precisión.

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la combinación de embeddings generados por modelos de lenguaje y algoritmos de ranking clásicos como TextRank puede mejorar significativamente la extracción automática de palabras clave en textos en español. Este



hallazgo es relevante considerando que gran parte de la literatura existente ha privilegiado textos en inglés y enfoques supervisados, mientras que esta investigación adopta un enfoque no supervisado y multilingüe.

Una posible explicación del buen desempeño del enfoque híbrido se debe a la capacidad de los embeddings contextuales para capturar relaciones semánticas profundas entre términos, lo que potencia la selección de palabras clave más representativas. Al integrar esta riqueza semántica con algoritmos de ranking, se logra una priorización más precisa de términos clave, superando las limitaciones de enfoques puramente estadísticos.

Al comparar nuestros resultados con estudios previos, se observa una tendencia similar al reportado por Papagiannopoulou y Tsoumakas (2020), quienes también encontraron mejoras al incorporar modelos de lenguaje en tareas de extracción de palabras clave. Sin embargo, nuestro enfoque destaca por su simplicidad y adaptabilidad a textos en español, sin requerir entrenamiento adicional, lo que lo convierte en una alternativa viable para contextos con recursos limitados o bajo disponibilidad de datos etiquetados.

Entre las limitaciones del estudio se encuentra el hecho de que se probó con un conjunto limitado de textos y sin evaluación cuantitativa exhaustiva utilizando métricas estándar como precisión, recall o F1-score. Esto impide una comparación objetiva con otros enfoques del estado del arte. Además, el enfoque aún puede verse afectado por ruido semántico o redundancia en algunos casos, particularmente en textos con estilo informal o estructura desorganizada.

Pese a estas limitaciones, los resultados abren la puerta a futuras investigaciones orientadas a validar el algoritmo con datasets más grandes y diversos, integrar métricas automáticas de evaluación y explorar otras variantes de modelos de lenguaje como BERT o GPT adaptados al español.



## Conclusiones

Los resultados obtenidos confirman la eficacia del sistema en la extracción automática de información jurídica. La aplicación logró una mejora de eficiencia del 78 % y redujo significativamente el error humano en comparación con los métodos manuales. La integración con Power Apps y Microsoft Azure facilita la organización de los datos, facilitando el acceso y la gestión de la información.

Investigaciones anteriores respaldan estos hallazgos. Chalkidis et al. (2020) demostraron que LEGAL-BERT mejora la precisión de la extracción de información legal entre un 20 y un 30% en comparación con los modelos tradicionales. Zhong et al. (2023) exploraron el uso de PNL para tareas legales complejas, reduciendo el tiempo de procesamiento entre un 40 y un 50%. Aletras et al. (2016) demostraron que el uso de PLN mejoraba la precisión de la clasificación entre un 90 y un 95%.

Además, otros estudios recientes refuerzan estas conclusiones:

1. Aplicaron tecnología PNL para detectar automáticamente cláusulas en contratos legales, logrando un 88% de precisión y reduciendo el tiempo de revisión manual en un 60% (Henderson *et al.*, 2022).
2. Analizaron el impacto del aprendizaje profundo en la predicción de decisiones judiciales y lograron una tasa de éxito del 85% en la clasificación de sentencias (Bommarito & Katz, 2021b).



3. Evaluaron un modelo de minería de argumentos en documentos legales y mejoraron la identificación de premisas y conclusiones en un 35% en comparación con los métodos tradicionales (Lippi & Torroni, 2023).

Como trabajo futuro, se recomienda aprovechar el aprendizaje profundo específicamente para datos legales para optimizar los modelos de PNL y ampliar la aplicación para manejar más tipos de documentos legales.



## Referencias

- Aletras, N., Tsarapatsanis, D., Preoțiuc-Pietro, D., & Lampos, V. (2016). Predicting judicial decisions of the European Court of Human Rights: A natural language processing perspective. *PeerJ Computer Science*, 2, e93.
- Bex, F., & Prakken, H. (2021). Artificial intelligence and law: The role of argumentation. *Annual Review of Law and Social Science*, 17, 203–225.
- Bommarito II, M. J., & Katz, D. M. (2021). *A law and artificial intelligence bibliography: A curated collection of research on AI & law*. SSRN.
- Bommarito II, M. J., & Katz, D. M. (2021). Deep learning for judicial decision prediction: A comparative study. *Artificial Intelligence and Law*, 29(4), 377–403.
- Chalkidis, I., Fergadiotis, M., Malakasiotis, P., Androutsopoulos, I., & Aletras, N. (2020). Legal-BERT: The Muppets straight out of law school. In *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2020* (pp. 2898–2904).
- Chalkidis, I., & Kampas, D. (2019). Deep learning in law: Early adaptation and legal word embeddings trained on large corpora. In *Proceedings of the Natural Legal Language Processing Workshop* (pp. 43–48).
- Cunningham, H., Maynard, D., Bontcheva, K., & Tablan, V. (2002). GATE: A framework and graphical development environment for robust NLP tools and applications. In *Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (pp. 168–175).
- Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. In *Proceedings of the 2019*



- Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics* (pp. 4171–4186).
- Henderson, J., Grover, C., & McDonald, S. (2022). Automated clause detection in legal contracts using NLP. In *Proceedings of the Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (pp. 1025–1037).
- Honnibal, M., & Montani, I. (2017). SpaCy 2: Natural language understanding with Bloom embeddings, convolutional neural networks and incremental parsing. *arXiv Preprint*.
- Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2021). *Speech and language processing* (3rd ed.). Pearson.
- Lippi, M., & Torroni, P. (2016). Argumentation mining: State of the art and emerging trends. *ACM Transactions on Internet Technology*, 16(2), 10:1–10:25.
- Lippi, M., & Torroni, P. (2023). Advances in argument mining for legal texts. In *Proceedings of the International Conference on Computational Linguistics (COLING 2023)* (pp. 2458–2471).
- Lipton, Z. C. (2018). The mythos of model interpretability: In machine learning, the concept of interpretability is both important and slippery. *Queue*, 16(3), 31–57.
- Manning, C. D., Surdeanu, M., Bauer, J., Finkel, J., Bethard, S. J., & McClosky, D. (2014). The Stanford CoreNLP natural language processing toolkit. In *Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations* (pp. 55–60).
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 5998–6008.



Zhong, H., Zou, L., Wang, T., Zhu, J., Liu, Z., & Huang, M. (2023). Iteratively prompting large language models for knowledge-intensive legal tasks. In *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2023)* (pp. 4623–4631).



**El metaverso en la educación superior: un estudio de caso sobre la implementación de un mundo digital en el TECNM**

**The metaverse in higher education: a case study on the implementation of a digital world in the TECNM**

**Renata Aguilar Rodríguez<sup>1</sup>**

[renata.ar@iztapalapa.tecnm.mx](mailto:renata.ar@iztapalapa.tecnm.mx)

ORCID: 0000-0003-4538-3378

**Marco Polo Mendoza Otero<sup>2</sup>**

[marco.mendoza@tecnm.mx](mailto:marco.mendoza@tecnm.mx)

ORCID: 0009-0004-0508-5311

**Orquídea Acevedo Calderón<sup>3</sup>**

[orquidea.ac@iztapalapa.tecnm.mx](mailto:orquidea.ac@iztapalapa.tecnm.mx)

ORCID: 0009-0003-5945-3952

---

<sup>1</sup> Doctorado en Ciencias de la Computación, Centro Universitario UAEM Valle de Chalco. Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico de Iztapalapa, Tecnológico Nacional de México.

<sup>2</sup> Coordinador Institucional del Tecnológico Nacional de México, Maestro en Ingeniería Administrativa.

<sup>3</sup> Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico de Iztapalapa, Tecnológico Nacional de México.



**Juan Carlos Veliz Martínez<sup>4</sup>**

[juan.vm@iztapalapa.tecnm.mx](mailto:juan.vm@iztapalapa.tecnm.mx)

ORCID: 0000-0002-1185-7611

### **Resumen**

El proceso de enseñanza-aprendizaje está determinado por una diversidad de factores que inciden en la formación integral del individuo, particularmente en la construcción de valores y habilidades sociales, en respuesta a la evolución de las teorías educativas y a la necesidad de innovación pedagógica, la gamificación se presenta como una estrategia didáctica emergente; que está integrada por principios del conductismo y el constructivismo, favoreciendo un aprendizaje más dinámico, significativo y motivador. La ludificación, como práctica de la gamificación, evidencia un impacto sustancial en el desarrollo de competencias cognitivas y sociales, consolidándose como una herramienta valiosa en contextos educativos contemporáneos.

**Palabras clave:** gamificación, aprendizaje, educación, IA, RV

### **Abstract**

The teaching-learning process is determined by a variety of factors that impact the individual's comprehensive development, particularly the development of values and social skills. In response

---

<sup>4</sup> Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico de Iztapalapa, Tecnológico Nacional de México.



to the evolution of educational theories and the need for pedagogical innovation, gamification is presented as an emerging teaching strategy, integrated by principles of behaviorism and constructivism, promoting more dynamic, meaningful, and motivating learning. Gamification, as a practice of gamification, demonstrates a substantial impact on the development of cognitive and social skills, consolidating its position as a valuable tool in contemporary educational contexts

**Keywords:** gamification, learning, education, IA, RV

Fecha de envío: 20/05/2025

Fecha de aprobación: 18/07/2025

Fecha de publicación: 01/09/2025

## **Introducción**

En el contexto de los avances tecnológicos actuales, la gamificación ha emergido como una estrategia innovadora en el ámbito educativo, al incorporar dinámicas y mecánicas propias de los juegos en entornos no lúdicos. Esta práctica, también conocida como ludificación, ha demostrado ser altamente efectiva para motivar, involucrar y desarrollar habilidades cognitivas en los estudiantes, convirtiéndose en una herramienta con gran potencial para transformar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Una de las problemáticas más persistentes en el sistema educativo es el rendimiento académico y la permanencia de los estudiantes en las instituciones. De acuerdo con el Instituto



Nacional para la Evaluación de la Educación las causas pueden ser diversas, pero entre ellas destacan la desmotivación, la desconexión emocional con los contenidos y la falta de recursos o entornos atractivos que promuevan el aprendizaje activo (INEE, 2019). En este sentido, los mundos digitales inmersivos, como el metaverso, representan una alternativa prometedora al ofrecer espacios interactivos y en tiempo real donde los estudiantes pueden conectarse, participar y aprender de forma significativa, incluso a distancia.

La mezcla entre gamificación y ludificación se ejemplifica en los juegos serios, herramientas diseñadas no solo para entretener, sino también para educar. En estos entornos, los participantes desarrollan conocimientos, experimentan, simulan y resuelven problemas mediante metodologías como la observación y la formulación de hipótesis, contribuyendo así al desarrollo integral del estudiante (Guerrero, 2020).

En el marco de esta transformación educativa, el uso de tecnologías como la inteligencia artificial (IA) se convierte en un eje fundamental. Conceptos como la lógica difusa, que permite a las máquinas tomar decisiones ante información imprecisa (D'Negri, y E., 2006) y el cómputo afectivo, que busca reconocer y responder a las emociones humanas (Picard, 2012) enriquecen el diseño de herramientas digitales más humanas, empáticas y adaptativas al contexto emocional del estudiante.

Estas tecnologías, integradas en mundos virtuales, no solo promueven el aprendizaje autónomo y colaborativo, sino que también contribuyen a reducir la brecha digital y mejorar la calidad de la educación, haciendo del proceso de enseñanza-aprendizaje una experiencia más inclusiva, personalizada y significativa.

Esta propuesta tiene como objetivo incorporar el uso de la gamificación como parte de la inteligencia artificial en el proceso de enseñanza-aprendizaje, con el fin de mejorar la motivación,



la participación y la permanencia escolar en estudiantes del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Iztapalapa (ITIZ). Para ello, se plantea diseñar un entorno digital inmersivo que integre elementos de gamificación e inteligencia artificial, implementar técnicas de lógica difusa y cómputo afectivo que permitan adaptar la experiencia educativa a las emociones y necesidades del estudiante, así como evaluar el impacto de esta intervención en la disminución de la ausencia escolar y en la mejora del desempeño académico. Además, se busca fomentar el uso de herramientas digitales como estrategia clave para reducir la brecha digital en la comunidad estudiantil. En conjunto, esta iniciativa representa un esfuerzo por integrar tecnologías emergentes en el sistema educativo, reconociendo su potencial transformador para afrontar los desafíos del siglo XXI mediante nuevas formas de enseñar y aprender centradas en la experiencia y el bienestar del estudiante.

### **Trabajos relacionados**

El uso de la tecnología en la vida cotidiana se ha convertido en una necesidad fundamental para el desarrollo de diversas actividades. El avance de la ciencia ha impulsado la integración de herramientas y dispositivos digitales en ámbitos como la comunicación, la actualización profesional y el trabajo colaborativo. Su impacto en las personas varía según su etapa de desarrollo, influyendo directamente en su capacidad de aprendizaje, resolución de problemas, trabajo en equipo, comunicación y convivencia social

Dentro del campo educativo, una de las metodologías más destacadas es el aprendizaje experiencial, también conocido como “aprender haciendo”. Según Casañ, (2018) este enfoque tiene un impacto positivo en estudiantes de todos los niveles, al fomentar la motivación, el esfuerzo



y el disfrute durante la realización de tareas. McFarlane, Sparrowhawk y Heald (2002), citados por Casañ, afirman que esta estrategia se sustenta en el constructivismo, al permitir la construcción de conocimientos a partir de la experiencia individual y su posterior socialización, generando así tareas colaborativas y significativas, incluso sin la necesidad de interacción física directa.

Este enfoque experiencial ha sido potenciado mediante tecnologías como la realidad aumentada y los videojuegos, que no solo satisfacen necesidades de entretenimiento, sino que también facilitan procesos formativos mediante actividades lúdicas. En este sentido, los *juegos serios* se han consolidado como una herramienta innovadora en diversos sectores, incluyendo la educación, la industria militar, la salud y el sector empresarial, al ofrecer entornos de simulación realista que fortalecen el aprendizaje.

Casañ (2018) menciona varios ejemplos de juegos serios que han sido implementados exitosamente con fines educativos, tales como Tactical Levantine Arabic y Tactical Iraqi Johnson, The Conference Interpreter (Escobar M. D., 2018); (Calvo Ferrer, 2015) o Adventure German: The Mystery of the Sky (Goethe-Institut, 2012). Estos títulos evidencian que los videojuegos pueden funcionar como soluciones eficaces para apoyar distintos niveles educativos, favoreciendo tanto el desarrollo de habilidades cognitivas como la comprensión de contenidos complejos.

Asimismo, los videojuegos se han integrado al aprendizaje basado en problemas, permitiendo a los estudiantes descubrir conocimientos a través de la exploración y la experimentación, en lugar de limitarse a la memorización de contenidos. Escobar (2018) resalta el valor de los entornos interactivos y las simulaciones, que fomentan la manipulación de objetos y situaciones para poner a prueba hipótesis, promoviendo el descubrimiento activo y significativo.

En este marco, los juegos serios evolucionaron desde su aparición en 2002, pasando de enfoques instructivos hacia propuestas más centradas en el diseño de experiencias inmersivas,



propias del aprendizaje basado en videojuegos (ABV) o Game-Based Learning (GBL). Según Escobar (2018), este paradigma busca generar situaciones de aprendizaje mediante desafíos que cuestionen ideas previas, anticipen experiencias del usuario y se alineen con ideologías educativas que fomenten el aprendizaje significativo, emocionalmente atractivo y centrado en la construcción activa del conocimiento.

Los juegos serios, en su mayoría, están dirigidos a promover experiencias con una fuerte carga social y con simulaciones del mundo real, permitiendo a los estudiantes encontrar relevancia y aplicabilidad en los contenidos que aprenden. Elementos como recompensas, niveles, rankings y competencias –comúnmente asociados con los videojuegos comerciales– incrementan el nivel de compromiso e implicación del usuario en los procesos formativos.

En este sentido, la gamificación emerge como una estrategia que incorpora mecánicas propias del juego para hacer que productos, servicios o entornos educativos sean más atractivos, motivadores y efectivos. Su implementación busca despertar el entusiasmo y la participación activa de los usuarios, al aprovechar elementos como avatares, insignias, puntos, colecciones y progresión por niveles. Cuando estas mecánicas se aplican de forma adecuada, el interés del estudiante aumenta progresivamente, y se fomenta el deseo de superación y logro personal.

La gamificación no solo transforma el aprendizaje en una experiencia más divertida, sino que también potencia el desarrollo de actitudes colaborativas, fomenta la autonomía y convierte el conocimiento en una vivencia significativa. Esta perspectiva resulta especialmente relevante para el caso de estudio abordado en este trabajo, en el que se busca explorar cómo las herramientas basadas en la gamificación pueden integrarse como soluciones viables para fortalecer la eficiencia terminal en instituciones como el ITIZ, al ofrecer a los estudiantes nuevas formas de involucrarse activamente en su propio proceso educativo.



Ilustración 1: Diagrama de la estructura de la Gamificación, fuente: Creación propia.

La estructura conceptual de la gamificación puede comprenderse de manera más clara a partir del diagrama presentado en la imagen anterior, el cual la organiza en cuatro ejes fundamentales. El primer eje corresponde al E-learning, entendido como una modalidad de aprendizaje sustentada en contenidos educativos alineados con objetivos formativos. El segundo eje se refiere a los videojuegos, construidos a partir de técnicas lúdicas, narrativas y de entretenimiento que, al integrarse adecuadamente, pueden enriquecer los procesos de enseñanza-aprendizaje. El tercer eje está conformado por los juegos serios, los cuales combinan contenidos educativos con dinámicas propias del juego. Finalmente, la interacción entre estos tres ejes da lugar al cuarto: la gamificación, entendida como una estrategia que promueve el aprendizaje mediante experiencias lúdicas e inmersivas.

A continuación, se presenta una tabla comparativa que sintetiza las diferencias y



aportaciones del uso de la gamificación en entornos virtuales, como los videojuegos y mundos virtuales abordados en esta investigación, frente a los beneficios específicos que estas estrategias ofrecen en el ámbito educativo. Esta comparación facilita una comprensión integral de cómo estas herramientas tecnológicas pueden potenciar los procesos de enseñanza-aprendizaje.

<b>Aspecto</b>	<b>Gamificación en Entornos Virtuales (Videojuegos, Mundos Virtuales, Juegos Serios)</b>	<b>Beneficios para el Tema Educativo</b>
<b>Naturaleza y enfoque</b>	Integración de mecánicas lúdicas, narrativas y dinámicas interactivas para crear experiencias inmersivas.	Potencia el aprendizaje experiencial basado en la exploración, experimentación y la acción.
<b>Interactividad y motivación</b>	Alto nivel de inmersión que genera participación activa, competencia y desafío mediante recompensas, niveles y rankings.	Incrementa la motivación, el compromiso y la persistencia de los estudiantes en las tareas educativas.
<b>Soporte tecnológico</b>	Uso de dispositivos móviles, computadoras y consolas que facilitan el acceso a contenidos gamificados en cualquier lugar.	Facilita el acceso flexible y personalizado al aprendizaje, adaptándose a diversos estilos y ritmos.
<b>Construcción de conocimiento</b>	Favorece la construcción de conocimiento activo y colaborativo a través de simulaciones y actividades sociales virtuales.	Promueve aprendizajes significativos, basados en el constructivismo y la socialización del saber.
<b>Desarrollo de habilidades</b>	Estimula habilidades cognitivas, socioemocionales, trabajo en equipo y resolución de problemas mediante contextos simulados.	Fomenta competencias técnicas, cognitivas y socioemocionales necesarias para el entorno laboral y social.



<b>Aplicación pedagógica</b>	Uso como complemento o sustituto de metodologías tradicionales mediante entornos controlados y retroalimentación inmediata.	Enriquecimiento del proceso didáctico con estrategias más flexibles, interactivas y centradas en el estudiante.
<b>Desafíos y limitaciones</b>	Requiere infraestructura tecnológica adecuada y formación docente para su correcta implementación.	Necesidad de políticas institucionales que integren la gamificación como parte del currículo formal.(Casañ, E 2018).

Tabla 1: Aportaciones educativas de la Gamificación. Fuente. Creación propia.

A continuación, se presenta una tabla comparativa que sintetiza las diferencias y aportaciones del uso de la gamificación en entornos virtuales, como los videojuegos y mundos virtuales abordados en esta investigación, frente a los beneficios específicos que estas estrategias ofrecen en el ámbito educativo. Esta comparación facilita una comprensión integral de cómo estas herramientas tecnológicas pueden potenciar los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Con base en los antecedentes teóricos y prácticos expuestos, se justifica el desarrollo de una propuesta que integre los principios de la gamificación como estrategia educativa. A continuación, se describen los materiales y métodos empleados para el diseño, implementación y evaluación del caso de estudio, con el objetivo de analizar su impacto en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

## **Materiales y métodos**

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo con fines comparativos, orientado a evaluar el impacto de la gamificación como herramienta de apoyo en el proceso de enseñanza-



aprendizaje. Para ello, se aplicó un instrumento a estudiantes y docentes de nivel superior con el objetivo de identificar sus preferencias en el uso de videojuegos, así como su percepción sobre la implementación de un juego educativo y su posible influencia en el rendimiento académico.

### **Metodología cuantitativa**

Se utilizó una metodología cuantitativa con el propósito de obtener datos objetivos y medibles sobre el uso de videojuegos en contextos educativos. Para ello, se aplicó un instrumento a estudiantes y docentes del nivel superior del ITIZ, con el fin de identificar sus hábitos, preferencias y percepciones respecto a los videojuegos, así como su disposición hacia la integración de un juego educativo como apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje.

### **Recolección y análisis de datos**

La recolección de datos se llevó a cabo mediante la aplicación de un cuestionario estructurado, compuesto por preguntas cerradas de opción múltiple y escala tipo Likert, diseñado para obtener información sobre el uso de videojuegos, preferencias lúdicas y percepciones acerca de la implementación de un juego educativo en el contexto académico.

El instrumento fue aplicado a una muestra de 113 participantes, conformada por estudiantes de las carreras de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Ingeniería en Gestión Empresarial e Ingeniería en Mecatrónica, que forman parte de la población estudiantil del ITIZ.

Esta investigación adopta un enfoque cuantitativo, con un análisis comparativo basado en la implementación de mapas cognitivos difusos, los cuales estructuran y asignan pesos a las



respuestas obtenidas. Esta metodología permite representar de manera precisa las percepciones y opiniones de la comunidad académica, facilitando la identificación de patrones y la elaboración de estrategias efectivas para la integración de la gamificación como herramienta de apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Para analizar de manera precisa las percepciones y respuestas obtenidas, se empleó la lógica difusa, una herramienta matemática que permite manejar información imprecisa o subjetiva, como las opiniones y preferencias expresadas en escalas cualitativas. A diferencia de la lógica tradicional, que clasifica las respuestas como verdaderas o falsas, la lógica difusa asigna grados de pertenencia, lo que facilita una evaluación más flexible y realista de las actitudes de los participantes.

Los mapas cognitivos difusos, herramienta fundamental en este estudio, son redes causales representadas mediante grafos dirigidos difusos, donde los nodos corresponden a conceptos, acciones o deseos, y los arcos causales establecen reglas difusas que modelan las relaciones entre ellos. Estos mapas funcionan como sistemas dinámicos no lineales, similares a redes neuronales, que asignan estados a las entradas para mantener un equilibrio y producir una salida estable. Así, un mapa cognitivo difuso simple culmina en un punto fijo o un ciclo limitado (Kosko, 1986; Conde, 2014).

Esta técnica permite estudiar la motivación y frecuencia del uso de videojuegos, cumpliendo con uno de los objetivos de la inteligencia artificial en educación: incrementar y predecir el rendimiento y la satisfacción, además de identificar y reducir el abandono escolar en los distintos ciclos formativos.

La prueba de aplicación estuvo constituida por 21 reactivos enfocados en el uso de los videojuegos, abordando aspectos como el género del usuario, la frecuencia semanal de juego, las



horas diarias dedicadas y, principalmente, la percepción positiva sobre la realización de estas actividades lúdicas. El instrumento contempló respuestas predefinidas: nada, poco, algunas veces y mucho; las cuales fueron interpretadas bajo la lógica difusa para determinar la certeza o incertidumbre de cada respuesta.

Todos los reactivos fueron de respuesta obligatoria, lo que permitió generar una combinación de datos adecuada para la elaboración de los mapas cognitivos difusos. Estos mapas se utilizan para relacionar los ítems de la prueba y evaluar la actitud favorable de la comunidad académica hacia las actividades lúdicas basadas en videojuegos, modelando así cómo estas experiencias pueden estimular el aprendizaje.

A continuación, se presentan los instrumentos de aplicación empleados en esta investigación, dirigidos tanto a estudiantes como a docentes del Instituto Tecnológico de Iztapalapa (ITIZ). Estos instrumentos fueron diseñados para recopilar información sobre sus hábitos, preferencias y percepciones respecto al uso de videojuegos con fines educativos. Los datos obtenidos permiten identificar patrones de motivación y actitudes hacia la gamificación, proporcionando una base sólida para su análisis mediante mapas cognitivos difusos, con el fin de evaluar su impacto potencial en el proceso de enseñanza-aprendizaje desde ambas perspectivas.

Pregunta	Factor	Descripción
1. ¿Cuál es tu género ?	-Femenino, Masculino, Otro	
2. Consideras que te llama más la atención las cosas:	Mucho, Algunas veces, Poco, Nada	
3. Te gustan los videojuegos?	-Mucho, Juego poco, Casi no, Nada	
4. Cuánto tiempo dedicas a jugar videojuegos?	-Más de 4hrs, 4 hrs, 2 hrs, Menos de 1 hr.	



5. Cuántas veces a la semana te dedicas a jugar videojuegos?	-Más de 3 veces , 2 veces a la semana, 1 vez a la semana, Nunca	
6. En que tipos de dispositivos te gusta jugar más videojuegos?	-Consola, Dispositivos móviles, Computador/laptop, Tablet	
7. Antes jugar un juego nuevo yo:	-Leo las instrucciones, Comienzo a jugar de forma intuitiva	
8. Actividad que realizas mientras juegas?	-Escucho música, Platico con mis amigos, Veo televisión -Otras	-Mucho, Algunas veces, Pocas veces, Nunca
9.Cuál es tu estrategia para acreditar los niveles, misiones o ganar las partidas mientras juegas?	-Mucho, Algunas veces, Pocas veces, Casi nunca, unca	
10. Si existiera un videojuego con temas educativos te gustaría que sirviera o fuera para	-Entender mejor la materia, Juntar puntos para acreditar la materia, Solo por curiosidad, Otro	
11. Considero que jugar videojuegos me ayuda a:	Tener mayor creatividad / imaginación	-Mucho, Algunas veces, Pocas veces, Para nada
12. ¿Piensas que jugar videojuegos te ayuda para?	-Entender los temas escolares, Pensar más, Resolver tareas, Solo distraerme	-Mucho, Algunas veces, Pocas veces, Para nada
13.- Que tipo de videojuego elegirías ?	-Arcade, Aventura/ misión, Estrategia, Lógica	-Mucho, Algunas veces, Casi no, Para nada
14. Te interesaría que se lleve a cabo la aplicación de herramientas de gamificación para las materias profesionales ?	-Definitivamente sí, Sí , Tal vez, No sé qué es la gamificación	
15. Conoces que son los juegos serios?	-Por supuesto, Sí, Un poco, No los conozco	

Tabla 2: Instrumento de aplicación para estudiantes. Fuente: Creación propia.



La tabla presentada anteriormente corresponde al instrumento aplicado a la comunidad estudiantil, cuyo propósito fue identificar y clasificar las necesidades, hábitos y preferencias de los estudiantes en relación con el uso de videojuegos. Esta información permite reconocer patrones de conducta y actitudes que ofrecen una base sólida para evaluar la pertinencia de incorporar estrategias de gamificación en el entorno educativo del ITIZ. Los resultados reflejan una tendencia positiva hacia estas actividades lúdicas, lo cual respalda el estudio y justifica la implementación de una propuesta gamificada como apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje.

Con el objetivo de garantizar que la propuesta esté alineada con el entorno académico y cuente con el respaldo del personal docente, se aplicó un instrumento específico al profesorado del Instituto Tecnológico de Iztapalapa. Esta prueba tuvo como finalidad conocer sus percepciones, disposición y apertura hacia el uso de herramientas digitales y estrategias basadas en gamificación dentro del proceso de enseñanza. A continuación, se presenta el apartado correspondiente al instrumento aplicado al cuerpo docente, el cual forma parte esencial del análisis integral del caso de estudio.

Preguntas	Factor
1. ¿Conoce qué es la gamificación?	—Por supuesto, Un poco, No, pero me interesa el tema, No
2. ¿Considera que las herramientas tecnológicas ayudan al proceso de enseñanza aprendizaje?	—Definitivamente sí, Algunas veces, Pocas veces, No
3. ¿A trabajado usted con alguna herramienta de gamificación para impartir clases?	—La mayor parte del tiempo, Algunas veces, Poco, No las conozco



4. ¿Cree que el aprendizaje mediante el juego estimule la actividad cognitiva?	—Por supuesto que sí, Depende de la actividad, Un poco —No
5. Conoce el término de los juegos serios y su papel en el proceso de enseñanza aprendizaje?	—Sí , lo implemento en el aula, Los conozco, pero aún no los implemento No conozco, No, no los implementaría
6. Utiliza alguna de las siguientes herramientas digitales para impartir clases?	—Classroom, Teams, Kahoot, Utilizo todas
7. Cree que la implementación de la gamificación ayudará a comprender mejor los temas que se ven en clase?	—Sí, Probablemente, Algunas veces, No

Tabla 3: Instrumento de aplicación para Docentes. Fuente: Creación propia.

La tabla anterior representa el instrumento aplicado al personal docente, diseñado para recopilar información clave sobre sus percepciones y actitudes frente al uso de herramientas digitales con fines educativos. Esta sección de preguntas complementa el instrumento de investigación dirigido a la población académica del Instituto Tecnológico de Iztapalapa (ITIZ), y proporciona los datos necesarios para realizar el cálculo de variables de aplicación.

A partir de estos resultados, se inicia la construcción del mapa cognitivo difuso, herramienta fundamental para modelar las relaciones causales y evaluar la viabilidad de implementar la gamificación como estrategia educativa.

Con base en los datos obtenidos a través de los instrumentos aplicados tanto a estudiantes como a docentes, se procede a estructurar el análisis mediante el uso de mapas cognitivos difusos. Esta técnica permite representar y modelar de forma dinámica las percepciones, actitudes y relaciones entre los distintos conceptos evaluados, facilitando así una interpretación más profunda del impacto que puede tener la gamificación en el entorno educativo.



A continuación, se describen las variables de aplicación que sustentan la construcción del mapa cognitivo difuso, junto con los fundamentos teóricos que permiten su representación y análisis.



### **Variables de Aplicación:**

La causalidad es un término que se encuentra estrechamente relacionado con la representación de sistemas en la realidad; se utiliza como una herramienta para explicar la organización de los eventos del mundo real, permitiendo evaluar hechos que podrían surgir como consecuencia de determinadas alternativas (Vargas, 2005). En el contexto de los mapas cognitivos difusos, esta causalidad se expresa mediante un intervalo continuo comprendido entre  $\{0,1\}$ , y se clasifica en tres tipos principales de relaciones causales (Peña, 2007; Vázquez, 2012):

- **$W_{ij} > 0$ :** Causalidad positiva entre los conceptos de estudio  $C_i$  y  $C_j$ , donde un incremento (o disminución) en  $C_i$  provoca un cambio en la misma dirección en  $C_j$ .
- **$W_{ij} < 0$ :** Causalidad negativa, donde el incremento (o disminución) en  $C_i$  genera una variación opuesta en  $C_j$ .
- **$W_{ij} = 0$ :** Indica la ausencia de relación causal entre los conceptos  $C_i$  y  $C_j$ .

Comprendiendo estas relaciones causales, el mapa cognitivo difuso se representa gráficamente a través de un digrafo (grafo dirigido), en el cual los nodos corresponden a conceptos clave y los arcos expresan las interacciones causales entre ellos. La intensidad de estas relaciones se expresa mediante valores difusos (Peña, 2007), permitiendo modelar la complejidad inherente a los procesos de percepción y decisión. Durante el proceso de simulación, los valores de cada concepto se calculan en intervalos iterativos, hasta alcanzar un punto de equilibrio, un ciclo



limitado o una dinámica caótica. Estos cálculos se realizan a través de una función de transición determinada por una función matemática sigmoïdal, que garantiza una evolución continua y controlada dentro del modelo.

$$A_i^{(k+1)} = f(\sum_{i=1, \neq j}^n A_i^{(K)} * W_{ij})$$

Ilustración 2: Fórmula de causalidad para mapas cognitivos difusos, aceptación de mundos digitales del Instituto Tecnológico de Iztapalapa. Fuente: Imagen Creación propia.

La fórmula presentada por Kosko (1986):  $E = 1/k (E_1 + E_2 + \dots + E_k)$  donde  $k$  representa el número total de expertos o fuentes de evaluación, permite calcular el valor promedio de los pesos asignados a las relaciones causales entre los conceptos. Esta operación es clave para formar la matriz de adyacencia, la cual sintetiza y estructura numéricamente la intensidad de las conexiones entre los factores identificados como críticos en los resultados obtenidos.

Dicho de otro modo, esta fórmula da sustento matemático a la imagen anterior, que representa visualmente la distribución y magnitud de dichas relaciones causales. La figura ilustrada traduce gráficamente los valores contenidos en la matriz de adyacencia, convirtiéndose en un mapa cognitivo difuso que modela de manera clara y lógica las percepciones de la comunidad académica frente al uso de videojuegos como herramienta educativa. Esta representación permite interpretar de forma visual los efectos y dependencias entre variables clave del estudio.

A continuación, en el apartado de resultados, se presenta la matriz de adyacencia construida a partir de los datos obtenidos mediante los instrumentos aplicados a estudiantes y docentes. Esta matriz sintetiza los valores asignados a cada relación causal entre los conceptos clave



identificados, permitiendo una representación estructurada de sus interacciones. Posteriormente, se muestra el mapa cognitivo difuso, el cual visualiza dichas relaciones mediante un grafo dirigido, facilitando la interpretación de los vínculos y su intensidad. Ambos elementos constituyen la base para analizar el impacto potencial del uso de videojuegos como herramienta educativa dentro del ITIZ.

### Resultados

En este apartado se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de los datos recolectados mediante los instrumentos aplicados. Como base fundamental de este análisis se construyó la matriz de adyacencia, la cual constituye una representación cuadrada donde N filas y columnas corresponden a los conceptos o nodos clave identificados en la investigación. Los elementos ubicados en cada celda reflejan la fuerza y el tipo de vínculo entre cada par de nodos, es decir, las relaciones causales derivadas de las respuestas de la comunidad académica. Esta matriz permite estructurar el mapa cognitivo difuso, representando gráficamente las conexiones significativas entre conceptos, y en ella, la línea diagonal señala las respuestas positivas obtenidas por cada nodo con base en la percepción de los participantes. Esta estructura es esencial para identificar patrones, establecer relaciones de influencia y visualizar el impacto potencial de la gamificación en el proceso educativo.

**VALOR N1 N2 N3 N4 N5 N6 N7 N8 N9 N10**

<b>N1</b>	130	75	51	46	5	1	15	54	5	13
-----------	-----	----	----	----	---	---	----	----	---	----



<b>N2</b>	124	89	109	17	15	5	21	12	17	10
<b>N3</b>	-	65	72	5	14	6	37	79	32	24
<b>N4</b>	-	57	35	131	13	10	47	32	25	90
<b>N5</b>	-	68	31	13	98	17	89	16	43	18
<b>N6</b>	-	80	56	62	51	89	15	65	97	45
<b>N7</b>	-	66	116	102	109	60	90	31	64	50
<b>N8</b>	-	68	106	85	95	87	100	130	33	101
<b>N9</b>	-	103	105	50	100	61	36	17	105	30
<b>N10</b>	-	17	46	51	86	40	1	0	30	124

Tabla 4: Matriz de adyacencia. Fuente: Creación propia.

La tabla anterior representa la matriz de adyacencia, la cual permite visualizar la interacción entre los distintos factores analizados. En esta matriz, los elementos pueden actuar como influencias positivas o negativas, dependiendo de la cercanía y fuerza de su relación con los conceptos principales. Las respuestas ubicadas más próximas a los nodos centrales —o actores principales— se interpretan como causalidades positivas, ya que reflejan una mayor afinidad o concordancia con los objetivos del estudio. En contraste, aquellas respuestas que presentan mayor distancia en la matriz indican una relación causal negativa o menor influencia, lo que permite identificar posibles áreas de resistencia o baja aceptación dentro del entorno académico evaluado. Esta estructura es clave para comprender el comportamiento de las variables dentro del mapa cognitivo difuso.

Para facilitar una comprensión más clara y estructurada del tema abordado, a continuación se presenta el mapa cognitivo, una herramienta visual que representa de manera dinámica las ideas

principales y sus interrelaciones. Este recurso no solo organiza la información de forma jerárquica, sino que también permite evidenciar conexiones significativas entre conceptos, favoreciendo un aprendizaje más integral y reflexivo. De esta manera, el mapa cognitivo se convierte en un apoyo fundamental para el análisis crítico y la síntesis del conocimiento desarrollado.

Mapa Cognitivo Difuso basado en la Matriz de Adyacencia

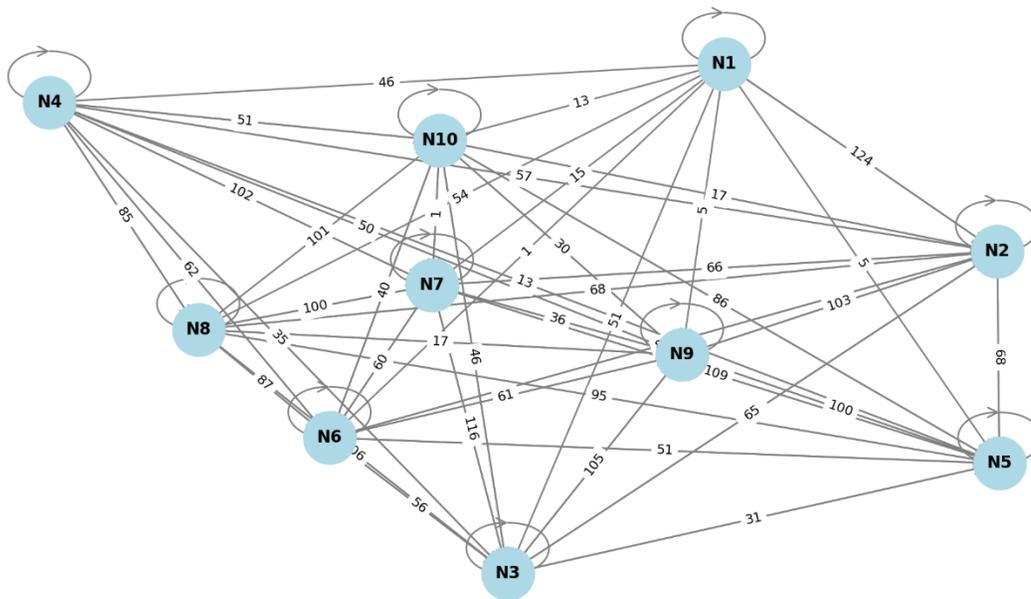


Ilustración 3: Mapa Cognitivo Difuso, del ITIZ. Fuente: Imagen Creación propia.

Se presenta a continuación el mapa cognitivo difuso derivado de la matriz de adyacencia previamente expuesta, el cual constituye un grafo dirigido que representa explícitamente las relaciones causales entre los nodos N1 a N10.

En este grafo, el peso asignado a cada arista cuantifica la magnitud de la influencia entre los conceptos, permitiendo un análisis detallado de la dinámica interrelacional del sistema. Los mapas cognitivos difusos están diseñados para modelar y visualizar las causalidades subyacentes



en fenómenos complejos, con un énfasis particular en las respuestas positivas y aquellas con características análogas. Este enfoque facilita la interpretación de las señales positivas como factores estabilizadores que contribuyen al equilibrio del sistema, modulando los estados de los nodos y determinando de manera determinante las decisiones y resultados inherentes al modelo. Así, el mapa cognitivo difuso no solo representa las conexiones causales, sino que también proporciona una estructura analítica robusta para comprender y predecir el comportamiento sistémico del fenómeno evaluado.

## **Discusión**

La incorporación de mapas cognitivos difusos (MCD) en entornos educativos se presenta como una herramienta valiosa para planificar, visualizar y evaluar el proceso de enseñanza-aprendizaje, al permitir la representación de relaciones causales entre conceptos y facilitar una comprensión integral de sistemas pedagógicos complejos. Como señalan Castillo y Olivares (2021), su aplicación en las ciencias sociales favorece la toma de decisiones informadas y el diseño de estrategias educativas más eficaces. Sin embargo, desde una perspectiva crítica, es importante reconocer que la efectividad de los MCD depende en gran medida de la calidad y precisión de los datos utilizados para construirlos, así como de la capacidad de los docentes para interpretar correctamente las relaciones difusas y traducirlas en acciones pedagógicas concretas. En el Instituto Tecnológico de Iztapalapa, esta metodología cobra especial relevancia al combinarse con tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y la gamificación, generando entornos interactivos que fortalecen la motivación y el rendimiento académico de los estudiantes, aunque se debe prestar atención a la brecha digital y a la capacitación docente para maximizar sus



beneficios (Morales y Gonález, 2020).

El uso de mundos virtuales como instrumentos de apoyo en la formación académica se ha consolidado como una tendencia en la innovación educativa. Estos entornos digitales no solo permiten la simulación de escenarios reales o hipotéticos, sino que también fomentan el involucramiento activo del estudiante a través de la inmersión, el reto y la interacción social. La incorporación de elementos de gamificación —como recompensas, niveles, avatares y sistemas de logros— dentro de estos mundos virtuales ha demostrado tener un impacto positivo en la motivación estudiantil, al estimular el espíritu de competencia y la persistencia académica (Deterding, 2011). No obstante, es necesario considerar las críticas que señalan que la gamificación puede generar una motivación extrínseca excesiva, que a largo plazo podría disminuir el interés intrínseco por el aprendizaje si no se diseña cuidadosamente (Deci y Ryan, 2000). Por ello, el diseño de estas estrategias debe equilibrar el aspecto lúdico con objetivos educativos claros y pertinentes, promoviendo la autonomía y el pensamiento crítico del estudiante.

En el modelo académico del Tecnológico Nacional de México, esta estrategia se articula con un enfoque pedagógico basado en competencias, lo cual resulta congruente con la necesidad de preparar a los estudiantes para enfrentar los desafíos del entorno laboral y social. Dicho modelo busca desarrollar habilidades técnicas, cognitivas y socioemocionales que fortalezcan la autonomía del estudiante, su capacidad para resolver problemas y su disposición para el aprendizaje a lo largo de la vida (Tobón, 2013). Desde una óptica crítica, aunque el enfoque competencial ofrece una estructura clara para la formación integral, también enfrenta el desafío de evitar la fragmentación del conocimiento y la excesiva estandarización, que puede limitar la creatividad y la adaptabilidad del estudiante (Perrenoud, 2004). En este sentido, la interacción en mundos digitales gamificados facilita la adquisición de dichas competencias de manera experiencial y significativa, siempre y



cuando se garantice que la tecnología actúe como un mediador pedagógico y no como un fin en sí misma (Jonassen, 1999).

En suma, la integración de mapas cognitivos difusos, mundos virtuales y gamificación en el contexto del Tecnológico Nacional de México representa un avance prometedor hacia modelos educativos más dinámicos y personalizados. No obstante, es imprescindible continuar evaluando críticamente estas prácticas para identificar limitaciones, garantizar la equidad en el acceso, y fortalecer la formación docente, con el fin de que estas innovaciones realmente contribuyan a un aprendizaje profundo y duradero.

## **Conclusiones**

Los hallazgos derivados de la prueba aplicada a la comunidad académica del Instituto Tecnológico de Iztapalapa permiten concluir que el uso de videojuegos está profundamente arraigado en los hábitos de entretenimiento de los estudiantes. El 85 % de los encuestados manifestó practicar esta actividad con regularidad y alta intensidad, lo que confirma la creciente presencia de los videojuegos como parte integral de la vida cotidiana del estudiantado. Esta tendencia no solo refleja una afinidad generacional hacia lo digital, sino que también abre nuevas posibilidades para el diseño de estrategias pedagógicas que integren estas prácticas culturales como herramientas educativas significativas.

El predominio del uso de dispositivos móviles como medio principal para el consumo de videojuegos —reportado igualmente por el 85 % de los participantes— evidencia la accesibilidad, portabilidad y conveniencia que estos equipos ofrecen, factores que deben ser considerados cuidadosamente en el desarrollo de herramientas gamificadas con fines didácticos. En contraste,



el 15 % restante emplea otros dispositivos como laptops, tabletas o consolas, lo que indica la necesidad de contemplar la diversidad tecnológica disponible entre los estudiantes para diseñar soluciones inclusivas y adaptables.

Respecto al cuerpo docente, se identificó una postura favorable hacia la incorporación de herramientas digitales en el aula. Para los profesores del Instituto Tecnológico de Iztapalapa, la digitalización de los recursos no solo responde a una demanda contemporánea, sino que se percibe como una oportunidad estratégica para enriquecer el proceso de enseñanza-aprendizaje. En particular, la gamificación —y dentro de ella, los juegos serios— emerge como una alternativa eficaz para vincular los contenidos curriculares con las prácticas cotidianas del alumnado, incrementando su motivación, participación y comprensión significativa.

El análisis del mapa cognitivo difuso refuerza estas percepciones al evidenciar un interés genuino por parte de los estudiantes hacia metodologías innovadoras, lo que valida la viabilidad de su implementación como recurso formativo. Paralelamente, el profesorado reconoce el valor pedagógico del juego como medio de estimulación intelectual y emocional, capaz de facilitar aprendizajes más duraderos y relevantes. En consecuencia, el contexto institucional del Instituto Tecnológico de Iztapalapa se perfila como propicio para el diseño e implementación de herramientas de gamificación orientadas a la formación profesional. La disposición y compromiso de la comunidad académica con la integración de tecnologías emergentes refuerzan la necesidad de que las instituciones de educación superior adopten enfoques pedagógicos flexibles, interactivos y alineados con los intereses y hábitos de sus estudiantes.

Finalmente, se concluye que la incorporación de la gamificación en el ámbito académico no solo representa una tendencia innovadora, sino una necesidad estratégica para elevar la calidad educativa, fortalecer el vínculo entre docentes y estudiantes, y preparar a los futuros profesionales



con habilidades pertinentes al siglo XXI. Esta perspectiva ofrece una valiosa oportunidad para transformar la enseñanza tradicional en experiencias de aprendizaje más atractivas, inclusivas y efectivas, contribuyendo así a la formación integral y a la adaptabilidad del estudiante en entornos complejos y dinámicos.



## Referencias

- Casañ, E. (2018). Aprendizaje experiencial y gamificación en educación. *Revista de Innovación Educativa*, 12(1), 45-62.
- Casañ, P. R. (2018). Integrando el uso de los smartphones en la enseñanza de lenguas extranjeras a través de videojuegos serios en la educación universitaria. *Conference on Digital Linguistics (CIDiLi19)*, 135-144.
- Castillo O, J. & Castillo O, R. (2021). Los mapas cognitivos difusos y su aplicación en la investigación de las ciencias sociales. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 22(e26380). <https://doi.org/10.14201/eks.26380>
- Conde, R. J.C & A.S.L. (2014). Evocación de hábitos en personajes virtuales mediante Mapas Cognitivos Difusos y técnicas de videojuegos. *Researchin Computing Science, Issue*, 73, 73-87.
- D'Negri C. E. & E.L.D.V. (2006). Introducción al razonamiento aproximado: Lógica difusa. *Revista Americana de Medicina Respiratoria*, 6(3), 126-136.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2000). The «what» and «why» of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227-268.
- Deterding, S., Dixon, D, Khaled, R, & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining «gamification». *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, 9-15 ACM.
- Escobar M. D. (2018). Resultados de la investigación actual sobre el aprendizaje con videojuegos. *Revista De Enseñanza De La Física*, 25-48.
- Guerrero A. C.A., L.E.G., & K.D.C.C. (2020). Los videojuegos como estrategia para incrementar



- la motivación y alcance de logros en procesos de aprendizaje. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería (ACOFI)*, 1-9.
- Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE). (2019). *El proceso de desafiliación escolar de adolescentes y jóvenes en la educación media superior*.  
<https://www.mejoredu.gob.mx/images/publicaciones/ems-desafiliacion-2024.pdf>
- Jonassen, D. H. (1999). Designing constructivist learning environments. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory*, Vol. 2, 215-239.
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, Issue, 24, 65-75.
- Morales, P. & González, R. (2020). Brecha digital y competencias docentes en la educación superior. *Revista de Innovación Educativa.*, 20(2), 123-140.
- Peña, A.S.H, & G.A. (2007). Mapas Cognitivos: Un Perfil y su Aplicación al Modelado del Estudiante. *Centro de Investigación en computación*, 10, 230-250.
- Perrenoud, P. (2004, Barcelona, España). Diez nuevas competencias para enseñar. *Graó*.
- Picard, R.W. (2012). Toward Machines With Emotional Intelligence. *Intell Knowns Unknowns*, 1-22.
- Tobón, S. (2013). Formación integral y competencias: Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación. *Bogotá: ECOE Ediciones.*, 4<sup>a</sup> ed.
- Vargas & J.B.C. (2005). Aplicación de Mapas Cognitivos difusos dinámicos a tareas de supervisión y control. *Universidad de los Andes Mérida Venezuela*.
- Vázquez, J. (s. f.). Representación y análisis de la causalidad en sistemas complejos mediante mapas cognitivos difusos. 2012, *Editorial Académica*



**Prueba del desarrollo de un videojuego educativo con reconocimiento de figuras  
geométricas en realidad aumentada**

**Test of the development of an educational video game with recognition of geometric figures  
in augmented reality**

**José Alberto Morales Cadena<sup>1</sup>**

[jmoralesca038@alumno.uaemex.mx](mailto:jmoralesca038@alumno.uaemex.mx)

ORCID: 0009-0006-8362-4127

**Marco Alberto Mendoza Pérez<sup>2</sup>**

[mamendozap@uaemex.mx](mailto:mamendozap@uaemex.mx)

ORCID: 0000-0003-4911-4757

**Cristina Juárez Landín<sup>3</sup>**

[cjuarezl@uaemex.mx](mailto:cjuarezl@uaemex.mx)

ORCID: 0000-0002-0988-3060

---

<sup>1</sup> Maestro en Ciencias de la Computación, Centro Universitario UAEM Valle de Chalco, Universidad Autónoma del Estado de México.

<sup>2</sup> Dr. en Ciencias de la Computación y Profesor de Tiempo Completo, Centro Universitario UAEM Valle de Chalco, Universidad Autónoma del Estado de México.

<sup>3</sup> Dra. en Ciencias de la Computación y Profesora de Tiempo Completo, Centro Universitario UAEM Valle de Chalco, Universidad Autónoma del Estado de México.



**Doricela Gutiérrez Cruz<sup>4</sup>**

[dgutierrezcr@uaemex.mx](mailto:dgutierrezcr@uaemex.mx)

ORCID: 0000-0003-2843-3273

### **Resumen**

Este artículo presenta las primeras pruebas del desarrollo de un videojuego que tiene como objetivo proporcionar una experiencia interactiva, inmersiva y motivadora en la identificación y comprensión de conceptos geométricos básicos para alumnos de 3° de primaria; sin embargo, como primeras pruebas se les realizaron a usuarios externos. El desarrollo se llevó a cabo aplicando la metodología ágil Scrum, permitiendo iteraciones rápidas y mejoras continuas basadas en la retroalimentación de los usuarios. La plataforma utilizada fue Unity 3D con el motor de RA Vuforia, diseñada para dispositivos móviles. Durante la fase de prueba, participaron usuarios externos, quienes interactuaron con la aplicación. Los resultados preliminares sugieren una correlación entre el uso del videojuego educativo en RA y la mejora en el reconocimiento de figuras geométricas. Para evaluar la efectividad del recurso, se aplicó una metodología mixta. Se utilizó una rúbrica para hacer anotaciones de los jugadores, la observación para ver cómo se desenvolvían al momento de jugar y después del uso del videojuego, y entrevistas

---

<sup>4</sup> Dra. en Ciencias de la Computación y Profesora de Tiempo Completo, Centro Universitario UAEM Nezahualcoyotl, Universidad Autónoma del Estado de México,



semiestructuradas para recoger percepciones cualitativas de los participantes. La muestra estuvo compuesta por 4 usuarios externos. Los indicadores principales fueron el reconocimiento correcto de figuras geométricas, la motivación y la interacción con la herramienta digital. Se concluye que la combinación de RA y estrategias lúdicas representa un enfoque prometedor en la enseñanza de matemáticas básicas, con potencial de expansión hacia otras áreas del conocimiento.

**Palabras clave:** Experiencia, Pruebas de Software, Realidad Aumentada, Reconocimiento de Figuras Geométricas, Videojuego Educativo.

### **Abstract**

This article presents the initial testing phase of the development of an educational video game aimed at providing an interactive, immersive, and engaging experience for the identification and understanding of basic geometric concepts among third-grade primary school students. However, for these early tests, the application was trialed by external users. The development followed the agile Scrum methodology, enabling rapid iterations and continuous improvement based on user feedback. The platform was developed using Unity 3D and the Vuforia AR engine, targeting mobile devices. During the testing phase, external users interacted with the application. Preliminary results suggest a correlation between the use of the AR-based educational video game and an improvement in the recognition of geometric figures. A mixed-methods evaluation approach was applied to assess the effectiveness of the tool. Rubric was used to record players' performance, direct observation was employed to analyze user interaction during gameplay, and semi-structured interviews were conducted to collect qualitative perceptions from participants. The



sample consisted of four external users. The main indicators assessed were accurate recognition of geometric figures, user motivation, and interaction with the digital tool. The study concludes that the combination of augmented reality and game-based strategies represents a promising approach for teaching basic mathematics, with potential for expansion into other areas of knowledge.

**Keywords:** Experience, Software Testing, Augmented Reality, Recognition of Geometric Figures, Educational Video Game

Fecha de envío: 20/05/2025

Fecha de aprobación: 18/07/2025

Fecha de publicación: 01/09/2025

## **Introducción**

La enseñanza de la geometría en la educación básica es fundamental para el desarrollo del pensamiento lógico, espacial y crítico de los estudiantes. Sin embargo, su abordaje tradicional suele presentar desafíos relacionados con la abstracción de los conceptos y la falta de conexión con el entorno real. En este contexto, las tecnologías emergentes, como la realidad aumentada (RA), ofrecen nuevas oportunidades para hacer que el aprendizaje sea más dinámico, significativo y motivador. La combinación de recursos digitales interactivos con prácticas pedagógicas innovadoras permite que los estudiantes construyan conocimientos de manera activa, reforzando su comprensión de las figuras geométricas a través de la experiencia directa. Por tanto, resulta



crucial explorar y validar el potencial de estas tecnologías en contextos educativos reales. Por cuestiones de la pandemia de COVID-19 las escuelas impidieron las clases presenciales en las aulas, ya que el proceso de enseñanza y aprendizaje se realizaba de forma remota (Yaniawati, et al., 2023).

En el ámbito del aprendizaje geométrico, la incorporación de tecnologías de la información y herramientas computacionales en las sesiones didácticas posibilita el desarrollo de actividades colaborativas tales como simulaciones interactivas, investigaciones visuales y análisis de propiedades geométricas. Estas tecnologías desempeñan un papel fundamental en los procesos de enseñanza y aprendizaje, al propiciar un enfoque centrado en el estudiante que favorece su participación activa, al tiempo que transforma el entorno educativo en una experiencia lúdica y estimulante para la adquisición de conocimientos geométricos (Pujiastuti & Haryadi, 2024).

El uso de videojuegos por parte de estudiantes de educación primaria ha sido objeto de frecuentes análisis, especialmente en el contexto de su tiempo libre. Es habitual que estos alumnos cuenten con amplios espacios de ocio, situación que, en determinados casos, podría interferir con el cumplimiento de otras responsabilidades, ya sean de índole doméstica o académica (Pérez & Cadena, 2023). A pesar de los avances tecnológicos, persiste una brecha significativa entre el uso de nuevas herramientas digitales y su integración efectiva en la enseñanza de contenidos matemáticos en primaria. Muchos estudiantes muestran dificultades para reconocer y diferenciar figuras geométricas básicas, lo que impacta negativamente en su desempeño académico en niveles posteriores. Frente a esta problemática, surge la necesidad de diseñar y probar recursos innovadores que faciliten la identificación, exploración y comprensión de las figuras geométricas mediante experiencias de aprendizaje inmersivas y adaptativas.



En el contexto educativo, diversos investigadores sostienen que la tecnología de Realidad Aumentada (RA) posee la capacidad de enriquecer significativamente la interfaz de usuario y representa un recurso con vasto potencial. Entre sus múltiples ventajas, destaca la posibilidad de expandir de manera virtual los entornos de aprendizaje, así como de transformar y optimizar los procesos de enseñanza, promoviendo experiencias más inmersivas e interactivas (Young & Santoso 2018). El objetivo principal de este estudio es evaluar la prueba de un videojuego educativo basado en realidad aumentada que permite identificar figuras geométricas en entornos reales y virtuales. De manera específica, se busca:

- Determinar el impacto del videojuego en la comprensión y reconocimiento de figuras geométricas.
- Analizar la usabilidad y aceptación del videojuego entre estudiantes de educación básica.
- Identificar áreas de mejora para optimizar la experiencia educativa a través de RA.

La incorporación de la realidad aumentada (RA) en la enseñanza de las matemáticas responde a los propósitos del currículo educativo, que plantea la necesidad de diversificar las metodologías de enseñanza y aprendizaje mediante el uso de tecnologías emergentes. Este enfoque tiene como finalidad fortalecer la comprensión conceptual de los estudiantes y favorecer experiencias educativas más significativas. En este sentido, resulta esencial analizar y valorar los



posibles beneficios que la RA puede aportar al ámbito de la educación matemática (Nadzeri et al., 2024).

Para lograr una implementación efectiva de la realidad aumentada (RA) en contextos educativos, es fundamental que el profesorado cuente con una preparación adecuada que le permita planificar, gestionar y facilitar procesos de enseñanza-aprendizaje mediados por esta tecnología. No obstante, el acceso a dispositivos tecnológicos en los entornos escolares constituye un factor clave que puede favorecer y ampliar la integración de la RA en las prácticas pedagógicas cotidianas (Nadzri *et al.*, 2023).

El desarrollo de tecnologías basadas en realidad aumentada (RA) está transformando significativamente las metodologías empleadas en la enseñanza y el aprendizaje de la geometría, al ofrecer experiencias educativas más interactivas e inmersivas. Esta tecnología permite la integración de objetos virtuales en entornos reales, facilitando la manipulación directa de figuras geométricas en tres dimensiones. Entre sus principales beneficios destaca la posibilidad de brindar retroalimentación inmediata, aspecto fundamental para fortalecer la comprensión conceptual. Las plataformas de RA reaccionan en tiempo real a las interacciones del estudiante, como la rotación, el escalado o la segmentación de estructuras tridimensionales, promoviendo así una asimilación más efectiva de nociones clave como la congruencia, la simetría y las transformaciones geométricas (Tarnng et al., 2024).

Actualmente, se dispone de múltiples herramientas tecnológicas que favorecen el proceso de aprendizaje en la infancia. Entre ellas, la realidad aumentada (RA) destaca por su capacidad para enriquecer la percepción del entorno físico mediante la superposición de elementos digitales a través de dispositivos tecnológicos. Esta tecnología permite integrar imágenes virtuales con



escenarios reales, generando una experiencia informativa híbrida que facilita la comprensión y estimula la interacción del usuario. (Yañez et al., 2023).

El uso de figuras geométricas contribuye significativamente al aumento del interés de los estudiantes hacia el aprendizaje de disciplinas que tradicionalmente han presentado mayores desafíos, como las matemáticas y la geometría. Herramientas que permiten resaltar detalles complejos y posibilitan la interacción con representaciones tridimensionales facilitan una comprensión más efectiva de los contenidos, en particular aquellos relacionados con los elementos fundamentales que conforman los sólidos de revolución y las figuras tridimensionales básicas. (González et al., 2022).

### **Antecedentes conceptuales o históricos del tema**

Buena parte de los estudios previos se han enfocado en aplicaciones de tipo demostrativo o en módulos instruccionales con escasa participación del estudiante, lo que limita la interactividad y reduce la motivación sostenida en el proceso de aprendizaje (Nadzri et al., 2023). El presente estudio propone un enfoque integral que incorpora la RA dentro de un entorno lúdico interactivo, desarrollado como videojuego educativo orientado al reconocimiento y comprensión de figuras geométricas básicas en alumnos de tercer grado. La propuesta se adapta al contexto escolar mediante la aplicación de la metodología ágil Scrum, lo que facilita mejoras iterativas basadas en la retroalimentación temprana de los usuarios.

Además, el proceso de evaluación se estructura bajo un enfoque metodológico mixto, que incluye observación directa, entrevistas semiestructuradas y rúbricas de desempeño, permitiendo obtener información cualitativa y cuantitativa sobre la eficacia del recurso. Esta estrategia



contrasta con las metodologías evaluativas más limitadas utilizadas en investigaciones anteriores, lo que otorga al presente trabajo un carácter innovador en la convergencia entre pedagogía, tecnologías educativas y diseño de videojuegos con RA.

En la actualidad, la tecnología móvil trasciende su función original como medio de comunicación, consolidándose como una herramienta multifuncional que optimiza diversos aspectos de la vida cotidiana del usuario. Esta versatilidad se fundamenta en la integración de múltiples funcionalidades —como el acceso inmediato a internet, servicios de mensajería electrónica, organización personal, reproducción multimedia y aplicaciones lúdicas—, todo ello disponible de manera ágil y ubicua, permitiendo su utilización en cualquier momento y lugar con notable facilidad (Sunandar et al., 2020). El uso de juegos en la enseñanza de las matemáticas no es nuevo; teóricos como Piaget (1985) señalaron la importancia del juego en la construcción del conocimiento infantil. En las últimas décadas, los videojuegos educativos han sido objeto de numerosos estudios por su capacidad para promover aprendizajes significativos y motivar a los estudiantes (Muñiz et al., 2014; Franco-Mariscal & Sánchez, 2019). Asimismo, la realidad aumentada ha emergido como una tecnología disruptiva en el ámbito educativo, permitiendo la superposición de elementos virtuales sobre el entorno físico para mejorar la comprensión de fenómenos abstractos (Cadena et al., 2024). Aplicada a la geometría, la RA posibilita que los alumnos visualicen, manipulen y comprendan mejor las propiedades de las figuras geométricas, rompiendo las limitaciones de los métodos de enseñanza tradicionales basados en materiales impresos o bidimensionales.

La enseñanza tradicional de la geometría en el nivel de educación primaria suele apoyarse en materiales impresos y ejercicios teóricos que, si bien transmiten los conceptos básicos, frecuentemente carecen de elementos que favorezcan la comprensión intuitiva y experiencial de



las figuras geométricas. Esto genera en los estudiantes dificultades para reconocer, clasificar y aplicar correctamente las propiedades de formas bidimensionales y tridimensionales, afectando no solo su desempeño en matemáticas, sino también su desarrollo del pensamiento lógico y espacial.

La brecha entre los métodos pedagógicos convencionales y las expectativas de los estudiantes de la era digital se ha incrementado, generando una necesidad urgente de estrategias didácticas que integren tecnologías innovadoras. Aunque la realidad aumentada (RA) ha demostrado ser una herramienta eficaz para la representación visual y la interacción dinámica con objetos abstractos, su aplicación específica en el desarrollo y validación de videojuegos educativos para la enseñanza de geometría en primaria aún es incipiente.

Un factor adicional que incide significativamente en las aplicaciones de la Realidad Aumentada es la creciente orientación hacia entornos que demandan la movilidad del usuario. Las soluciones emergentes, fundamentadas en la computación móvil, exigen acceso continuo a servicios sin restricciones de ubicación o temporalidad. Esta nueva concepción de Realidad Aumentada móvil implica la necesidad de concebir y desarrollar tecnologías innovadoras, arquitecturas especializadas y dispositivos móviles avanzados que respondan a las exigencias de flexibilidad, portabilidad y conectividad permanente (Basogain et al., 2007).

De esta manera, surge el problema central de esta investigación: ¿en qué medida la prueba de un videojuego educativo basado en RA contribuye a mejorar el reconocimiento y la comprensión de figuras geométricas en estudiantes de tercer grado de primaria? Resolver esta cuestión permitirá proponer estrategias pedagógicas innovadoras y basadas en evidencia para optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la geometría básica.



## La geometría en la educación básica

La geometría es una disciplina matemática esencial para el desarrollo del razonamiento espacial y la capacidad de abstracción de los estudiantes. Según Roldán y Cabrera (2008), su enseñanza debe propiciar la construcción activa de conceptos, promoviendo el aprendizaje significativo más allá de la simple memorización de definiciones y fórmulas. No obstante, el aprendizaje de la geometría se vuelve desafiante cuando los estudiantes no logran vincular las representaciones gráficas con las experiencias del mundo real.

El sector educativo ha integrado de forma sostenida la Realidad Aumentada dentro de su repertorio de herramientas tecnológicas. Actualmente, existe una amplia variedad de aplicaciones pedagógicas basadas en esta tecnología, las cuales se emplean tanto en contextos presenciales como extracurriculares. Estas herramientas se incorporan en proyectos escolares como recursos complementarios e incluso como elementos centrales del proceso formativo, promoviendo la participación activa de docentes y estudiantes en la generación y construcción del propio contenido educativo (Blázquez, 2017).

Los recursos didácticos constituyen herramientas que, conforme a lo planteado por Alejandro (2013), enriquecen el proceso de enseñanza-aprendizaje al facilitar la comprensión de conceptos abstractos, sin sustituir el rol del docente. Con el auge de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), se han integrado diversos instrumentos digitales, entre ellos los videojuegos educativos, los cuales, según Franco-Mariscal y Sánchez (2019), poseen un notable potencial para incentivar la motivación estudiantil y transformar el aprendizaje en una experiencia lúdica, dinámica e interactivamente significativa.



La enseñanza de la geometría en los niveles primarios continúa representando un reto significativo tanto para el profesorado como para los estudiantes. La evidencia reportada en distintos estudios indica que los alumnos presentan dificultades recurrentes en aspectos como la visualización espacial, la identificación de figuras geométricas y la comprensión de sus propiedades, especialmente durante los primeros años escolares (Clements & Sarama, 2011). Estas dificultades suelen estar asociadas a prácticas pedagógicas excesivamente abstractas, basadas en definiciones formales, lo cual limita el desarrollo gradual del pensamiento geométrico.

Uno de los obstáculos más destacados en la literatura especializada es la ausencia de estrategias didácticas que articulen el conocimiento geométrico con experiencias sensoriales concretas. Según, Duval (1998) sostiene que el aprendizaje efectivo de la geometría requiere el dominio de diversos registros de representación gráfico, simbólico y verbal, así como la habilidad de transformar información entre estos registros. Sin embargo, tales competencias rara vez se abordan de forma integrada en el aula, lo que genera una comprensión fragmentada de los conceptos geométricos.

A esto se suma una debilidad estructural en la formación de los docentes. Investigaciones como las de Flores y Carrillo (2016) han evidenciado que muchos profesores de educación primaria poseen conocimientos insuficientes en geometría, lo cual repercute directamente en la calidad de su enseñanza. Esta deficiencia se traduce con frecuencia en clases enfocadas en el reconocimiento superficial de figuras, sin profundizar en sus atributos, transformaciones o relaciones espaciales.

Frente a este panorama, diversos autores proponen la incorporación de tecnologías emergentes como vía para enriquecer la enseñanza visual e interactiva de la geometría. La realidad aumentada (RA), en particular, ha sido identificada como una herramienta con gran potencial para



fortalecer el pensamiento espacial y geométrico en estudiantes de nivel primario (Chen et al., 2023; Gargrish, 2021). Al permitir la superposición de elementos digitales sobre el entorno real, la RA ofrece la posibilidad de manipular objetos geométricos tridimensionales, favoreciendo así una comprensión más tangible e intuitiva.

Asimismo, el desarrollo de entornos lúdicos e inmersivos como los videojuegos educativos se presenta como una estrategia pedagógica eficaz para mejorar la motivación, la implicación activa y la retención de conceptos matemáticos (Nadzeri et al., 2024; Nelson & Gabbard, 2024). Esta línea didáctica resulta particularmente adecuada para la enseñanza de la geometría, donde la exploración visual y la interacción concreta juegan un papel central en el aprendizaje significativo.

### **Realidad Aumentada en la educación**

La Realidad Aumentada (RA) se ha consolidado como una tecnología emergente de alto valor pedagógico, al posibilitar la integración dinámica de elementos virtuales sobre escenarios del mundo real en tiempo real (Farías y Rojas, 2010). Según Cadena et al. (2024), la aplicación de RA en el ámbito de los videojuegos educativos promueve la exploración activa y la manipulación interactiva de formas geométricas, lo que favorece una comprensión más profunda mediante la estimulación sensorial y la participación directa del estudiante en el proceso de aprendizaje.

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con investigaciones previas que destacan el potencial de la realidad aumentada para mejorar la comprensión conceptual y la motivación en el aprendizaje. Por ejemplo, Chen et al. (2023) evidencian que el uso de RA en la enseñanza de geometría tridimensional en educación secundaria permite un aumento significativo en la capacidad de visualización espacial. De igual forma, trabajos como el de Akçayır y Akçayır



(2017) señalan que la RA, al integrar elementos visuales interactivos, facilita la retención de información en asignaturas como ciencias y matemáticas.

En contextos universitarios, se ha reportado que la RA mejora el aprendizaje de anatomía, al permitir la exploración de estructuras complejas en entornos simulados (Monge et al., 2021), lo cual refuerza la idea de que el aprendizaje espacial se ve fortalecido por este tipo de tecnologías. Aunque estos estudios abordan niveles educativos y disciplinas distintas, los hallazgos respaldan los beneficios observados en el presente trabajo, al mostrar que la RA promueve la participación activa del estudiante, la comprensión visual y la interacción significativa con el contenido.

### **Videojuegos educativos**

Piaget (1985) subraya que el juego constituye una herramienta esencial en el desarrollo cognitivo infantil, al facilitar la comprensión del entorno a través de experiencias lúdicas. En esta línea, el diseño de videojuegos educativos sustentados en fundamentos pedagógicos potencia la motivación intrínseca, fomenta la participación activa del estudiante y estimula procesos de aprendizaje autónomo (Muñiz et al., 2014). La incorporación de dinámicas lúdicas mediante Realidad Aumentada (RA) abre nuevas posibilidades para democratizar y enriquecer la enseñanza de nociones matemáticas clave, como el reconocimiento y comprensión de las figuras geométricas.

En contraste con la mayoría de los trabajos citados, esta investigación se enfoca específicamente en el nivel de tercer grado de primaria y en el aprendizaje de geometría básica, un campo aún poco explorado. Esta especificidad representa una contribución relevante, al evidenciar que la RA no solo es efectiva en niveles avanzados, sino también en las primeras etapas del



desarrollo matemático, especialmente cuando se combina con estrategias de gamificación y evaluación formativa.

## **Materiales y métodos**

La presente investigación adoptó un enfoque de tipo exploratorio-descriptivo-experimental, basado en el diseño, desarrollo y pruebas de un videojuego educativo que integra tecnologías de realidad aumentada (RA) para el reconocimiento de figuras geométricas. Se empleó la metodología ágil Scrum para la organización y gestión del desarrollo, permitiendo iteraciones constantes y adaptaciones rápidas en función de la retroalimentación de usuarios.

El videojuego fue diseñado utilizando Unity3D como motor de desarrollo y Vuforia como plataforma de RA, optimizado para dispositivos móviles Android. La mecánica principal del juego consistió en el reconocimiento de figuras geométricas en entornos reales a través de la cámara del dispositivo, proporcionando retroalimentación inmediata al estudiante y adaptando progresivamente la dificultad.

El desarrollo se estructuró en seis sprints de tres semanas cada uno, donde se abordaron etapas como la detección de figuras 2D y 3D, integración de retroalimentación visual y auditiva, y pruebas internas de funcionalidad.



## Resultados

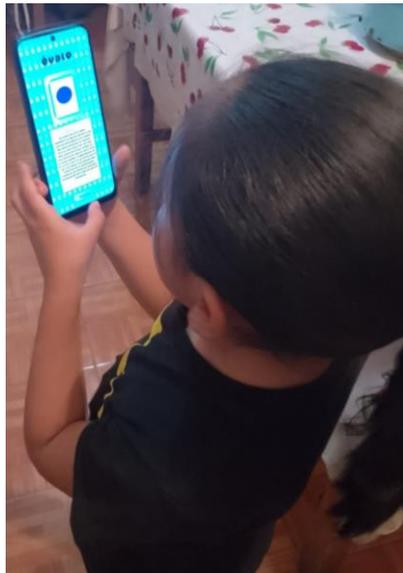
Se anticipa que los estudiantes que utilicen el videojuego educativo basado en realidad aumentada presentarán una mejora significativa en el reconocimiento y diferenciación de figuras geométricas básicas, en comparación con métodos tradicionales de enseñanza.

Entre los resultados esperados destacan:

- Incremento en la motivación: Los estudiantes mostrarán mayor interés y participación en las actividades de geometría gracias a la experiencia inmersiva de la RA.
- Facilitación del aprendizaje: Se espera una mejora en la comprensión de conceptos espaciales y propiedades geométricas debido a la interacción directa con figuras virtuales.
- Mejora en la usabilidad: Se proyecta que la mayoría de los estudiantes considerarán el videojuego fácil de usar, atractivo y apropiado para su nivel educativo.
- Retroalimentación para mejora: A partir de las observaciones y sugerencias de los usuarios, se identificarán oportunidades para optimizar el diseño, la jugabilidad y la accesibilidad del videojuego.



Estos resultados permitirán validar la hipótesis de que la integración de tecnologías inmersivas como la RA en videojuegos educativos representa una estrategia eficaz para reforzar la enseñanza de la geometría en la educación básica. La prueba piloto se llevó a cabo con una muestra intencional de 4 usuarios externos de diferentes edades. A continuación se presentan las ilustraciones 1, 2, 3 y 4 con las primeras pruebas realizadas:



*Ilustración 1: Jugador #1 ejecutando el Videojuego como primeras pruebas y empieza a localizar imágenes en el entorno.*



*Ilustración 2. Jugador #2 interactuando con la aplicación.*



*Ilustración 3. El jugador #3 comienza a interactuar con la cámara del celular para localizar una figura geométrica.*



*Ilustración 4. El jugador #4 denota un rostro de inquietud al no saber cómo verá reflejada una figura geométrica en el entorno.*

Al ver sus expresiones en los rostros, junto con los comentarios u opiniones de los diferentes usuarios que utilizaron la aplicación de RA, se realiza la siguiente tabla con la información de cada uno de los jugadores identificando los comentarios que brindó cada jugador, ya sea positiva o negativa ayudará a realizar algunas modificaciones y posteriormente una nueva serie de pruebas de la aplicación. En la Tabla 1, se muestra lo mencionado anteriormente:

Jugador	Nombre	Edad	Comentarios u opiniones
#1	Melissa	6 años	1.- El Videojuego se maneja sencillo y fácil de entender. 2.- Los colores le parecieron bonitos. 4.- Sintió emoción al encontrar cada figura geométrica.

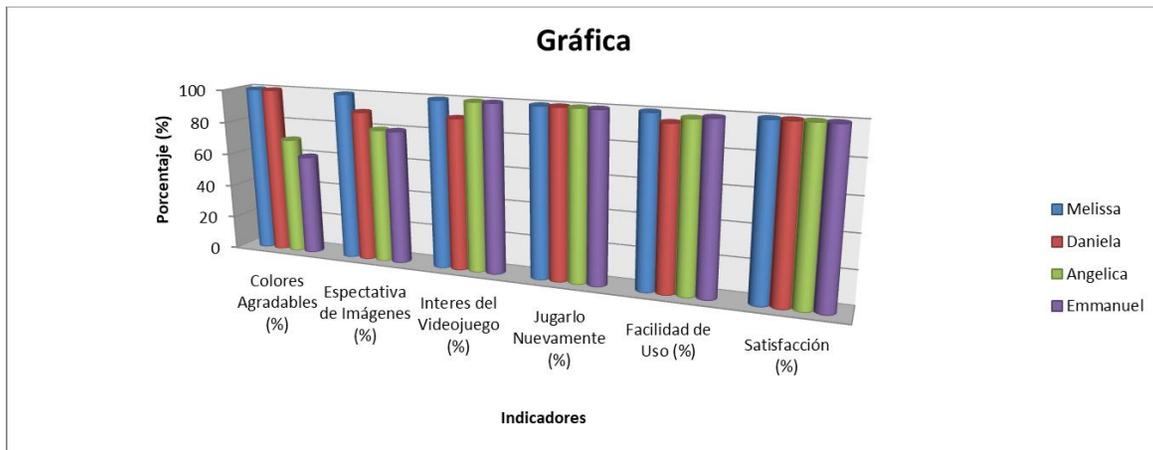


			5.- Al inicio del Videojuego sintio emoción ya que no sabia como se iban a mostrar las figuras geométricas.
#2	Daniela	14 años	1.- El Videojuego le parecio agíl y fácil de utilizar. 2.- El tiempo fue el adecuado para encontrar figuras geométricas. 4.- El lenguaje de la descripción de las figuras geométricas le parecio sencillo de entender. 5.- Falta una lista de figuras encontradas.
#3	Angelica	35 años	1.- Le gusto el Videojuego por ser fácil de manejar y sencillo de entender. 2.- En los colores se le hicieron adecuados. 3.- En el tiempo para encontrar figuras geométricas, comento que podria ser hasta 5 minutos.
#4	Emmanuel	38 años	1.- El Videojuego le parecio fácil y sencillo de utilizar. 2.- En el momento de encontrar una figura geométrica comento que deberia ser un poco de más tiempo para poder capturarla. 3.- En los colores le parecieron bien pero le gustaria que fueran un poco más oscuros. 4.- En el tamaño de las figuras geométricas comento que también seria mejor que estuvieran un poco más grandes.

Tabla 1. Comentarios y opiniones de usuarios externos.



La gráfica 1 muestra los resultados de la evaluación de usabilidad del videojuego educativo con realidad aumentada, desglosados por cada uno de los indicadores considerados en el instrumento de análisis. Esta evaluación tuvo como objetivo medir la efectividad de la interfaz, la facilidad de uso y la satisfacción del usuario durante la interacción con el recurso digital.



Gráfica 1. Se muestra el porcentaje de cada indicador de usabilidad por cada jugador externo.

## Conclusiones

La prueba del videojuego educativo basado en realidad aumentada para el reconocimiento de figuras geométricas en la prueba piloto con usuarios externos ha demostrado resultados prometedores en cuanto a su viabilidad pedagógica y tecnológica. La interacción con entornos aumentados facilitó una mejor comprensión de conceptos geométricos, al tiempo que incrementó notablemente el interés y la motivación de los usuarios hacia las matemáticas.



El uso de la metodología ágil Scrum permitió el desarrollo iterativo de un producto flexible y adaptado a las necesidades reales de los usuarios. Los usuarios no solo lograron identificar de manera efectiva figuras geométricas en 2D y 3D, sino que también manifestaron una actitud positiva frente al uso de la tecnología como herramienta de aprendizaje. Se concluye que la combinación de recursos didácticos innovadores como los videojuegos educativos y tecnologías inmersivas como la realidad aumentada puede representar una alternativa poderosa frente a los métodos tradicionales, contribuyendo a un aprendizaje más significativo, autónomo y atractivo para las nuevas generaciones. No obstante, se identificaron oportunidades de mejora, como la necesidad de optimizar tiempos de interacción, ampliar la variedad de figuras geométricas, y ajustar elementos visuales para adaptarse a diferentes condiciones de iluminación y dispositivos.

Mientras que investigaciones como la de Pérez et al. (2021) y Wang & Cheng (2022) utilizaron RA para enseñar geometría en secundaria o educación técnica, este estudio se centra en los primeros años de la educación formal, donde las dificultades de abstracción espacial son más pronunciadas. En contraste con plataformas preexistentes, este videojuego fue diseñado desde cero con base en los principios curriculares nacionales y observaciones pedagógicas, lo que le otorga mayor pertinencia didáctica.

Estas características convierten al presente desarrollo en una herramienta potencialmente útil para docentes que buscan integrar tecnologías emergentes en sus prácticas educativas. Además, abre la posibilidad de adaptar la metodología a otros contenidos matemáticos o áreas del conocimiento, ampliando así su aplicabilidad en contextos educativos diversos.



## Propuesta de trabajo a futuro

Para potenciar el impacto educativo del videojuego y ampliar su aplicabilidad, se proponen las siguientes líneas de trabajo futuro:

- Personalización adaptativa: Incorporar mecanismos de ajuste dinámico del nivel de dificultad basado en el desempeño del usuario, permitiendo trayectorias de aprendizaje individualizadas.
- Ampliación del contenido: Integrar nuevos módulos que aborden conceptos geométricos más avanzados (simetría, áreas, volúmenes) y otras áreas de las matemáticas.
- Pruebas longitudinales: Realizar estudios a largo plazo para evaluar el impacto sostenido en el aprendizaje y retención de conocimientos geométricos.
- Diversificación de públicos: Aplicar el videojuego en contextos escolares variados (urbano, rural, privado, público) para analizar su eficacia en diferentes realidades educativas.
- Optimización tecnológica: Mejorar el rendimiento de la aplicación en dispositivos de gama baja y adaptar el videojuego a plataformas multiplataforma (iOS, web).



- Inclusión de elementos de gamificación avanzada: Integrar insignias, tablas de clasificación y recompensas que aumenten la motivación y fomenten la competencia sana entre los estudiantes.

El avance en estas líneas permitirá consolidar el videojuego educativo como una herramienta robusta y adaptable, capaz de transformar la enseñanza de las matemáticas y de servir como modelo para el desarrollo de nuevas propuestas didácticas basadas en tecnología inmersiva.



## Referencias

- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Basogain, X., Olabe, M., Espinosa, K., Rouèche, C., & Olabe, J. C. (2007). Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente. Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, EHU. Recuperado de <http://bit.ly/2hpZokY>.
- Blázquez Sevilla, A. (2017). Realidad aumentada en educación.
- Cadena, M., Pérez, J., & López, R. (2024). *Intelligent Augmented Reality for Learning Geometry*. *Information*, 14(4), 245.
- Chen, C., et al. (2023). Improving elementary students' geometric understanding through augmented reality and its performance evaluation. *Systems*, 12(11), 493.
- Clements, D. H., & Sarama, J. (2011). Early childhood mathematics education research: Learning trajectories for young children. Routledge.
- Duval, R. (1998). Geometry from a cognitive point of view. In C. Mammana & V. Villani (Eds.), *Perspectives on the Teaching of Geometry for the 21st Century* (pp. 37–52). Springer.
- Farías, M., & Rojas, P. (2010). *Realidad Aumentada y su aplicación en la educación*. *Revista de Tecnología Educativa*, 15(2), 45–52.
- Flores, P., & Carrillo, J. (2016). Conocimiento especializado del profesor de primaria sobre el área de figuras planas. *Revista de Educación Matemática*, 31(2), 83–106.
- Franco-Mariscal, A. J., & Sánchez, J. (2019). *Los videojuegos como herramienta educativa en la enseñanza de las matemáticas*. *Revista de Educación Matemática*, 31(1), 23–38.



- Gargrish, S. (2021). Measuring effectiveness of augmented reality–based geometry learning assistant on memory retention abilities of the students in 3D geometry. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(6), 1811–1824.
- González, F. B. M., Pachón-Franco, D., Lorduy, G., Aldana, D., Maiguel, M., & Mejía-Páez, L. M. (2022). Realidad Aumentada como Estrategia Pedagógica en la Modelación de Figuras Geométricas. *Revista Docencia Universitaria*, 23(1), 57-67.
- Muñiz, M., Pérez, L., & Gómez, R. (2014). *Impacto de los videojuegos educativos en el aprendizaje de la geometría*. *Educación y Tecnología*, 12(3), 67–75.
- Nadzeri, M., Musa, M., & Ismail, I. (2024). The Effects of Augmented Reality Geometry Learning Applications on Spatial Visualization Ability for Lower Primary School Pupils. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*.
- Nadzri, A. Y. N. M., Ayub, A. F. M., & Zulkifli, N. N. (2023). The effect of using augmented reality module in learning geometry on mathematics performance among primary students. *environment*, 3, 4.
- Nelson, C. R., & Gabbard, J. L. (2024). Pedagogical design considerations for mobile augmented reality serious games: A literature review. *arXiv*.
- Pérez, M. A. M., & Cadena, J. A. M. (2023). III. PROPUESTA DE UN VIDEOJUEGO CON RECONOCIMIENTO DE FIGURAS GEOMÉTRICAS. *Revista Diálogos Interdisciplinarios en Red-REDIIR*, 12(1).
- Piaget, J. (1985). *La formación del símbolo en el niño*. Editorial Crítica.
- Pujiastuti, H., & Haryadi, R. (2024). The effectiveness of using augmented reality on the geometry thinking ability of junior high school students. *Procedia Computer Science*, 234, 1738-1745.



- León Roldán, T., & Rizo Cabrera, C. (2008). Concepción didáctica para la enseñanza y el aprendizaje de la geometría con un enfoque dinámico en la educación primaria [Tesis doctoral, Instituto Central de Ciencias Pedagógicas]. Editorial Universitaria.
- Monge, J., Rubio, M., & González, J. (2021). Realidad aumentada en la enseñanza de la anatomía humana: Una revisión sistemática. *Revista Educación Médica*, 22(2), 105–111.
- Sunandar, S., Rahmawati, A. W., & Buchori, A. (2020). Development of game education basic virtual augmented reality in geometry learning. *Test Eng. Manag*, 82, 1471-1479.
- Tarng, W., Huang, J. K., & Ou, K. L. (2024). Improving Elementary Students' Geometric Understanding Through Augmented Reality and Its Performance Evaluation. *Systems*, 12(11), 493.
- Yaniawati, P., Sudirman, Mellawaty, Indrawan, R., & Mubarika, M. P. (2023). *The potential of mobile augmented reality as a didactic and pedagogical source in learning geometry 3D*. *Journal of Technology and Science Education*, 13(1), 4–22.  
<https://doi.org/10.3926/jotse.1661>
- Yañez, A. L. C., Pérez, M. A. M., & Martin, A. S. (2023). Realidad aumentada en apoyo al aprendizaje de la geometría a nivel preescolar. *RILCO DS: Revista de Desarrollo sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación*, 5(44), 1-11.
- Young J., & Santoso H. (2018). Preliminary Study of JunoBlock: Marker-Based Augmented Reality for Geometry Educational Tool. Faculty of Computer Science, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia



## Resultado de las pruebas de sistema Chatbot para la enseñanza de matemáticas

### Results of chatbot system tests for teaching mathematics

**Aldair Rufino Toribio Olmedo<sup>1</sup>**

atoribioo@alumno.uaemex.mx

ORCID: 0009-0003-7798-3674

**Marco Alberto Mendoza Pérez**

mamendozap@uaemex.mx

ORCID: 0000-0003-4911-4757

**Cristina Juárez Landín**

cjuarezl@uaemex.mx

ORCID: 0000-0002-0988-3060

**Juvenal Rueda Paz**

jruedap@uaemex.mx

ORCID: 0000-0001-5181-3093

---

<sup>1</sup> Autores de la Maestría en Ciencias de la Computación, Centro Universitario UAEM Valle de Chalco, Universidad Autónoma del Estado de México.



## Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la usabilidad y funcionalidad de un chatbot educativo diseñado para apoyar la enseñanza de matemáticas, orientado en apoyo de personas que están cursando el nivel medio superior o que quieren prepararse para el examen Acredita-Bach en el área de matemáticas. El sistema fue diseñado como un tutor inteligente capaz de proporcionar acompañamiento personalizado, retroalimentación inmediata y recursos adaptativos a través de técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN) e inteligencia artificial generativa. La validación del sistema se llevó a cabo mediante un enfoque iterativo, en dos fases: una prueba alfa, realizada con 16 usuarios cercanos y tester de aplicaciones expertos, que permitió identificar y corregir errores funcionales y de interfaz; y una prueba beta, aplicada a 42 estudiantes de sexto semestre de bachillerato de la preparatoria oficial EPO 29 en Tepetlixpa, Estado de México que al finalizar, los estudiantes completaron una encuesta en escala de Likert, obteniéndose puntuaciones promedio entre 3.4 y 3.9 sobre 5, lo que indica una evaluación mayoritariamente positiva. Los resultados validaron el cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto y confirmaron las hipótesis planteadas, entre ellas: que el uso del chatbot mejora el desempeño en matemáticas, incrementa la motivación de los usuarios y permite un estudio más eficiente y flexible. Este trabajo sienta las bases para la expansión de MATHBOT como herramienta accesible y escalable en entornos de educación abierta y virtual.

**Palabras clave:** Chatbot, Pruebas Alfa, Pruebas Beta, Inteligencia Artificial, Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN).



## Abstract

The present study aimed to evaluate the usability and functionality of an educational chatbot designed to support the teaching of mathematics, aimed at assisting individuals who are currently enrolled in upper secondary education or who wish to prepare for the Acredita-Bach exam in the area of mathematics. The system was designed as an intelligent tutor capable of providing personalized support, immediate feedback, and adaptive resources through natural language processing (NLP) techniques and generative artificial intelligence. The system was validated through an iterative approach in two phases: an alpha test conducted with 16 close users and expert application testers, which allowed for the identification and correction of functional and interface errors; and a beta test applied to 42 sixth-semester high school students from the official high school EPO 29 in Tepetlixpa, State of Mexico. At the end of the test, students completed a Likert scale survey, yielding average scores between 3.4 and 3.9 out of 5, indicating a predominantly positive evaluation. The results validated the achievement of the project's specific objectives and confirmed the proposed hypotheses, including that the use of the chatbot improves performance in mathematics, increases user motivation, and enables more efficient and flexible study. This work lays the foundation for the expansion of MATHBOT as an accessible and scalable tool in open and virtual education environments.

**Keywords:** Chatbot, Alpha testing, Beta testing, Generative artificial intelligence, Functional testing, Natural Language Processing (NLP).



Fecha de envío: 20/05/2025

Fecha de aprobación: 18/08/2025

Fecha de publicación: 01/09/2025

## **Introducción**

La incorporación de inteligencia artificial en la educación ha generado nuevas oportunidades para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje, especialmente en disciplinas complejas como las matemáticas. En este contexto, los chatbots emergen como herramientas prometedoras al ofrecer tutoría personalizada, retroalimentación inmediata y disponibilidad continua (Wehr y Baluis, 2023; Mazón, 2021). Investigaciones previas han demostrado su eficacia como tutores inteligentes, capaces de adaptarse al ritmo del estudiante y reforzar contenidos de forma efectiva (Castillo y Aguilar, 2021; Moral-Sánchez et al., 2023). Sin embargo, estudios como el de Toribio y Mendoza (2024) han señalado una carencia significativa en el uso de chatbots para la enseñanza de matemáticas en el nivel medio superior, identificando así un vacío relevante en la literatura (Estrada-Molina, 2024; Son et al., 2024).

Este trabajo responde a dicha brecha mediante el diseño y validación de MathBot, un chatbot educativo basado en inteligencia artificial, orientado a apoyar a estudiantes que se preparan para el examen Acredita-Bach. El sistema fue desarrollado con metodología RAD, utilizando técnicas de procesamiento de lenguaje natural, una arquitectura de red neuronal tipo Seq2Seq con LSTM bidireccional y mecanismos de atención. La validación se realizó a través de pruebas alfa y beta, así como encuestas tipo Likert aplicadas a usuarios reales. El estudio busca responder si un tutor inteligente puede mejorar la comprensión de conceptos matemáticos en este perfil de



estudiantes, y sus resultados respaldan la hipótesis de que el uso de chatbots incrementa tanto el rendimiento como el compromiso académico, ofreciendo una base sólida para su implementación a mayor escala.

## **Trabajos relacionados**

### **Evolución histórica de los chatbots en la educación**

Los agentes conversacionales surgieron en la década de 1960 con ELIZA, pionero en la simulación del lenguaje humano (Weizenbaum, 1966). Modelos posteriores como PARRY y ALICE mejoraron la estructura del diálogo, aunque aún sin comprensión contextual. La incorporación del procesamiento de lenguaje natural (PLN) y de modelos de aprendizaje profundo como las redes neuronales recurrentes (RNN) y LSTM marcó una evolución significativa, permitiendo a los chatbots interpretar intenciones y generar respuestas coherentes (Mazón, 2021; Wehr & Baluis, 2023). Estos avances han facilitado su aplicación en diversos sectores, incluyendo la educación.

### **Chatbots impulsados por inteligencia artificial generativa**

Aunque sus fundamentos no son recientes, las aplicaciones de Inteligencia Artificial Generativa han cobrado gran relevancia en 2023. Estas tecnologías son capaces de producir contenido como texto, imágenes o software con calidad comparable a la creación humana, a partir del aprendizaje de patrones en grandes volúmenes de datos, usualmente mediante aprendizaje no supervisado. Su



funcionamiento se basa en responder a instrucciones dadas en lenguaje natural, también conocidas como *prompts* (Corredera, 2023).

### **Características de IA Generativa en MathBot**

MathBot se basa en una arquitectura generativa tipo *seq2seq* con LSTM y mecanismos de atención, lo que le permite generar respuestas contextualizadas en lugar de recuperar respuestas predefinidas. Esta configuración es común en modelos generativos de texto y facilita la producción de explicaciones matemáticas coherentes y adaptadas a cada consulta. Una de sus características distintivas es el uso de atención aditiva, que mejora la precisión al enfocarse en partes relevantes de la entrada. El sistema fue entrenado con un corpus de 500,000 ejemplos de preguntas y respuestas matemáticas, lo que le permitió aprender patrones y generar contenido basado en ese aprendizaje, aunque el proceso de entrenamiento continúa. Si bien estas tecnologías han sido ampliamente aplicadas en áreas como lenguas, historia y ciencias sociales, su aplicación en matemáticas enfrenta retos particulares, como la representación simbólica y la explicación detallada de procesos, lo que ha motivado el uso de enfoques especializados como el de arquitecturas *Seq2Seq* con atención para generar respuestas paso a paso (Son et al., 2024).

### **Aplicaciones de chatbots en el aprendizaje de matemáticas**

Aunque aún incipiente, el uso de chatbots en el ámbito matemático ha mostrado resultados prometedores. Estudios recientes evidencian que los estudiantes valoran herramientas que permiten resolver dudas, ofrecer ejercicios personalizados y proporcionar retroalimentación



automática (Moral-Sánchez et al., 2023). Sin embargo, la mayoría de estas soluciones están dirigidas a estudiantes en trayectoria regular, sin considerar las necesidades particulares de quienes han interrumpido sus estudios. Este grupo enfrenta obstáculos adicionales como limitaciones de tiempo, barreras tecnológicas y baja autoestima académica, lo cual demanda enfoques educativos más inclusivos y adaptativos.

### **Vacíos identificados en el contexto mexicano**

Toribio y Mendoza (2024), en su revisión del estado del arte, evidencian la falta de chatbots educativos específicamente diseñados para apoyar la preparación del examen Acredita-Bach, una evaluación oficial en México para certificar el nivel medio superior. Aunque existen desarrollos internacionales avanzados, la mayoría no se adapta al currículo ni al contexto lingüístico nacional. Asimismo, identifican que pocos modelos integran inteligencia artificial generativa o aplican metodologías iterativas centradas en el usuario, lo que refuerza la necesidad de desarrollar soluciones pedagógicas contextualizadas y accesibles para la población mexicana.

### **Materiales y métodos**

#### Diseño del estudio

El presente estudio se orienta al diseño, validación y mejora de una solución tecnológica mediante un enfoque iterativo, aplicando pruebas funcionales y no funcionales. Se adoptó la metodología RAD (Rapid Application Development), la cual favorece la construcción ágil de prototipos, la



retroalimentación continua del usuario y la optimización progresiva del sistema. El diseño contempló tres etapas principales:

1. Diseño e implementación del chatbot “MathBot”, integrando técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN), generación de respuestas contextuales y funcionalidades adaptativas alineadas con el contenido matemático del examen Acredita-Bach.
2. Pruebas Alfa, enfocadas en la detección temprana de errores y en el ajuste de funcionalidades clave. Se aplicó una matriz de pruebas basada en la metodología del International Software Testing Qualifications Board (ISTQB), clasificando los casos de prueba según su prioridad (alta, media o baja), como se ejemplifica en la Tabla 1.

<b>ID</b>	<b>Caso de Prueba</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pasos de Prueba</b>	<b>Resultado Esperado</b>	<b>Prioridad</b>
BF-001	Sesión completa de estudio	Verificar que el sistema soporta una sesión completa de estudio de matemáticas	1. Iniciar sesión 2. Revisar temas recomendados 3. Estudiar un concepto nuevo 4. Realizar ejercicios de práctica 5. Revisar progreso	Flujo completo sin errores, con progreso guardado correctamente	Alta

Tabla 1. Matriz de pruebas funciones casos con prioridad alta



- Matriz de pruebas no funcionales, los casos de pruebas se clasificaron en prioridades Baja, Media y Alta véase en la tabla 2 el formato y algunos de los casos con prioridad alta y el formato de la matriz:

ID	Caso de Prueba	Descripción	Pasos de Prueba	Resultado Esperado	Prioridad
BNF-001	Carga sostenida	Verificar rendimiento bajo carga sostenida durante periodos prolongados	1. Simular 30 usuarios activos 2. Mantener carga durante 48 horas 3. Monitorear rendimiento	Degradación de rendimiento < 10% después de 48 horas	Alta

Tabla 2. Matriz de prueba no funcionales casos con prioridad alta

Como población del estudio para las pruebas Alfa, participaron 16 usuarios, distribuidos en tres grupos (ver tabla 3):

Tipo de Participante	Cantidad	Porcentaje
Familiares y amigos	12	75%
Tester Profesional	1	6.25%
Docente Supervisor	3	18.75%
Total	16	100%

Tabla 3. Participantes Pruebas Alfa



3. Fase Beta: participaron 42 estudiantes del sexto semestre de la Preparatoria Oficial EPO 29, ubicada en el municipio de Tepetlixpa, Estado de México. Todos ellos utilizaron el sistema en sesiones individuales controladas y posteriormente respondieron un cuestionario de satisfacción con 7 preguntas (Ver tabla 4).

<b>Preguntas realizadas</b>	
1	La interfaz de MATHBOT es intuitiva y fácil de usar.
2	El chatbot de matemáticas responde con precisión a mis preguntas.
3	Los cuestionarios de práctica me ayudan a reforzar mis conocimientos matemáticos.
4	La función de descarga de PDF es útil para revisar mi historial de respuestas correctas.
5	El "Mi avance" proporciona información valiosa sobre mi progreso de aprendizaje.
6	La plataforma funciona correctamente sin errores técnicos significativos.
7	Recomendaría MATHBOT a otros estudiantes que necesiten ayuda con matemáticas.

Tabla 4: Preguntas de encuesta realizada a estudiantes

## Entorno

Las pruebas alfa se realizaron en entornos controlados (hogar, escuela, consultoría de software), mientras que las pruebas beta se llevaron a cabo en un aula escolar en la preparatoria mencionada.



El chatbot fue desplegado en la web, accesible desde navegadores en computadoras y dispositivos móviles, en la URL: <https://mathbot-mocha.vercel.app>

### **Intervención y herramientas tecnológicas**

MathBot se fundamenta en técnicas de procesamiento de lenguaje natural (NLP) y aprendizaje profundo, utilizando una arquitectura Sequence-to-Sequence (Seq2Seq) con codificador y decodificador basados en LSTM bidireccionales. Esta elección responde a tres ventajas clave para el dominio matemático: preservación del orden lógico de operaciones, capacidad para manejar secuencias de entrada y salida de diferente longitud, y retención de contexto global necesario para la comprensión de conceptos. El enfoque híbrido incorpora mecanismos de atención que optimizan la generación de respuestas claras y contextualizadas. Esta estructura es especialmente adecuada para transformar preguntas en lenguaje natural en explicaciones estructuradas y coherentes, como lo respaldan Ardila (2024) y Muñoz et al. (2019).

El diseño arquitectónico incorpora elementos clave del aprendizaje profundo optimizados para el lenguaje matemático. En primer lugar, se emplea una representación vectorial densa de 256 dimensiones, seleccionada tras comparar su desempeño con otras configuraciones (128 y 512), logrando un equilibrio entre eficiencia, precisión semántica y capacidad de generalización. En cuanto a la codificación secuencial, se implementaron capas LSTM bidireccionales para captar dependencias tanto hacia adelante como hacia atrás, lo cual es esencial en la interpretación de estructuras matemáticas complejas. Estas redes ayudan a mitigar el problema del desvanecimiento del gradiente y permiten conservar información relevante a lo largo de secuencias largas. La



arquitectura incluye una capa bidireccional para extraer patrones locales y una capa unidireccional adicional para abstracción contextual, cada una con 256 unidades.

Finalmente, se incorpora un **mecanismo de atención aditiva**, el cual permite al modelo enfocar dinámicamente partes relevantes de la entrada durante la generación de la salida, aspecto crucial para ofrecer explicaciones paso a paso. Este enfoque mejora significativamente la precisión contextual y la calidad de las respuestas generadas, como lo respaldan Juárez (2022). Véase ilustración 1 para interpretar el flujo del cálculo de atención en el chatbot matemático:

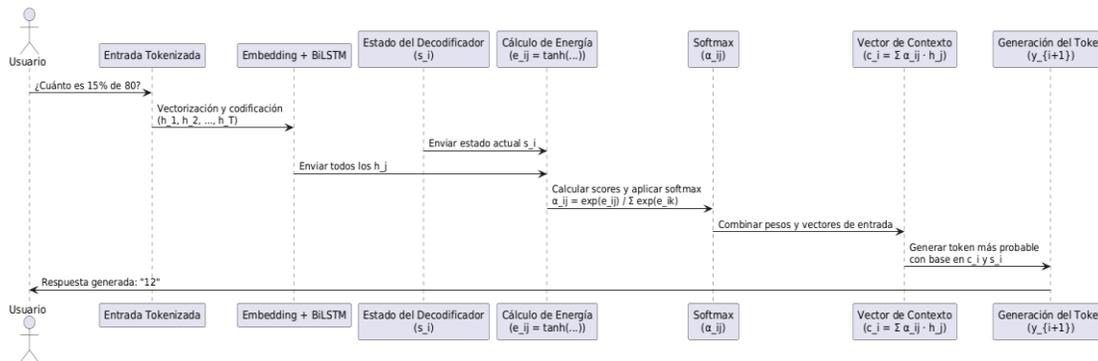


Ilustración 1: Diagrama de uso cálculo de atención

El desarrollo de backend como de frontend y base de datos de ocuparon las siguientes herramientas para una arquitectura tecnológica moderna que integra procesamiento del modelo en Python y TensorFlow, un frontend interactivo en Next.js y React, y visualización con Recharts y D3.js. El procesamiento del lenguaje natural se optimizó con spaCy y el modelo T5, mientras que la autenticación se gestionó con NextAuth.js y los datos se almacenaron en MySQL.



## **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos de la encuesta tipo Likert (escala de 1 a 5) aplicada al finalizar las pruebas beta fueron procesados según las preguntas en la tabla 4. Se calcularon medias aritméticas por pregunta para determinar el nivel de satisfacción general y la percepción de utilidad, usabilidad y funcionalidad del sistema. La puntuación promedio osciló entre 3.4 y 3.9 puntos.

## **Resultados**

El hallazgo principal del estudio fue que el uso del chatbot MathBot resultó útil y funcional como herramienta de apoyo en la enseñanza de matemáticas, especialmente para estudiantes que buscan acreditar el nivel medio superior mediante el examen Acredita-Bach, validando así los objetivos del proyecto y la hipótesis principal.

### **Resultados de la fase alfa**

Durante la fase de pruebas alfa, en la que participaron 16 usuarios (ver Tabla 3 en la sección de Métodos), se evaluó el comportamiento inicial del sistema, identificando aspectos clave para mejorar su funcionamiento. Entre los problemas detectados se incluyeron:

- Funcionamiento de aplicación en modulo “Acerca de” para usuarios nuevos.
- Ausencia de retroalimentación en respuestas correctas, ahora se coloca la justificación en las respuestas correctamente contestadas.



- Falta de opción para descargar cuestionarios en PDF: se implementó botón para descarga de respuestas correctas contestadas para estudios offline.
- Dificultad para recuperar contraseña desde la interfaz inicial, se añadió un botón de recuperación de contraseña donde se tienen un tiempo de 30 segundos para el proceso, véase instrucciones en ilustración 2

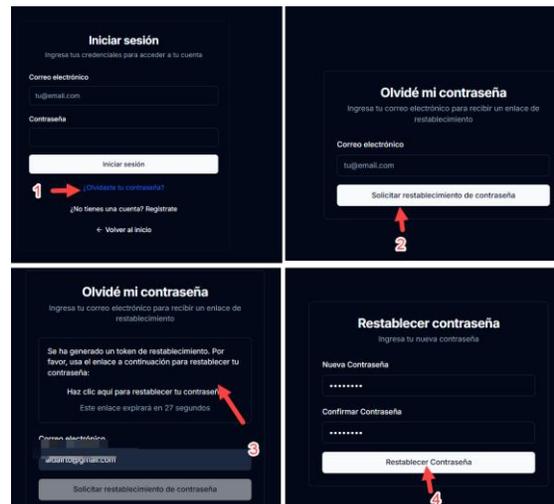


Ilustración 2: Recuperación de contraseña.

Estas observaciones fueron implementadas antes del inicio de la fase beta. A pesar de estos ajustes necesarios, los usuarios coincidieron en resaltar la facilidad de uso, la interfaz intuitiva y la coherencia de las respuestas generadas. Esta retroalimentación positiva confirmó la solidez del diseño técnico y validó el enfoque planteado de los diseños de casos de prueba diseñados según ISTQB (2018).



## Resultados de la fase beta

En la fase beta participaron 42 estudiantes de sexto semestre de la Preparatoria Oficial EPO 29. Los alumnos utilizaron el chatbot en condiciones reales de aula durante sesiones controladas. Al finalizar, completaron una encuesta de 7 ítems en escala de Likert (1 = totalmente en desacuerdo, 5 = totalmente de acuerdo), evaluando aspectos como utilidad, facilidad de uso, adaptabilidad y confianza generada por el sistema.

El promedio general de respuestas osciló entre 3.4 y 3.9 puntos, lo que refleja una valoración mayoritariamente positiva de la experiencia mostrada en Ilustración 3.



Ilustración 3: promedio general de aceptación.

Entre los resultados más destacados:

- El ítem con mayor puntuación fue “La plataforma me ayudó a entender temas que no comprendía previamente”, lo que respalda la hipótesis de impacto positivo en el aprendizaje.



- El ítem con menor puntuación fue “El sistema respondió todas mis dudas sin errores” (M = 3.4), lo que indica áreas de mejora en la generación de respuestas en casos específicos.
- Un 84% de los usuarios manifestaron que volverían a utilizar MathBot para estudiar por su cuenta.

No.	Pregunta	Promedio
1	La interfaz de MATHBOT es intuitiva y fácil de usar.	3.38
2	El chatbot de matemáticas responde con precisión a mis preguntas.	3.43
3	Los cuestionarios de práctica me ayudan a reforzar mis conocimientos matemáticos.	3.95
4	La función de descarga de PDF es útil para revisar mi historial de respuestas correctas.	3.71
5	El "Mi avance" proporciona información valiosa sobre mi progreso de aprendizaje.	3.9
6	La plataforma funciona correctamente sin errores técnicos significativos.	3.55
7	Recomendaría MATHBOT a otros estudiantes que necesiten ayuda con matemáticas.	3.95

Tabla 5, Resultados de 42 personas encuestadas en Pruebas Beta



Estos resultados no solo validaron la funcionalidad del sistema, sino que también confirmaron las hipótesis secundarias, especialmente en cuanto al impacto del chatbot en la motivación y compromiso del estudiante.

## **Discusión**

Los resultados del estudio evidencian que el uso de MathBot, un chatbot basado en inteligencia artificial, constituye una estrategia efectiva para apoyar a estudiantes en rezago académico que buscan acreditar el nivel medio superior. Las pruebas alfa y beta confirmaron la funcionalidad del sistema y su impacto positivo en la usabilidad, la comprensión conceptual y la motivación del usuario. Estas observaciones respaldan la hipótesis principal sobre la mejora en el rendimiento académico mediante el uso de tutores inteligentes, así como las hipótesis secundarias relacionadas con la personalización y la flexibilidad del sistema. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que destacan el valor de los chatbots educativos en el aprendizaje autónomo y la reducción de la carga cognitiva (Castillo & Aguilar, 2021; Moral-Sánchez et al., 2023), y con evidencias sobre la efectividad de los tutores con atención contextual para mejorar la comprensión en matemáticas (Son et al., 2024). Además, dan continuidad a lo señalado por Toribio y Mendoza (2024), respecto a la falta de herramientas tecnológicas adaptadas a estudiantes fuera del sistema escolarizado.

No obstante, algunos usuarios reportaron limitaciones en la cobertura temática y en la capacidad de respuesta ante dudas complejas, especialmente en áreas como geometría analítica y probabilidad. Esto apunta a la necesidad de mejorar los módulos de inferencia y ampliar el contenido del sistema. Asimismo, deben considerarse las limitaciones del estudio, como el tamaño



reducido de la muestra y la aplicación en un solo entorno escolar, lo cual restringe la generalización de los resultados. Pese a estas limitaciones, MathBot se perfila como un recurso complementario valioso en contextos de educación alternativa y programas de regularización. Futuras investigaciones podrían enfocarse en integrar modelos de PLN más robustos, expandir el conocimiento curricular, adaptar el sistema cultural y lingüísticamente, e incorporar métricas que evalúen el impacto a largo plazo sobre el aprendizaje. Como conclusión general podemos decir que MathBot representa una propuesta innovadora y con potencial de escalabilidad para la enseñanza personalizada de matemáticas en poblaciones vulnerables, con un impacto positivo tanto educativo como social.

Al comparar los resultados del desarrollo y evaluación de MathBot con los estudios de Almaraz et al. (2015) y Rodríguez-Cubillo et al. (2021), se observa una coincidencia general en la aceptación positiva del uso de tecnologías móviles para la enseñanza de matemáticas. En el caso de MathBot, el 84% de los usuarios afirmó que volvería a utilizar el chatbot, destacando su utilidad y facilidad de uso, mientras que en App Inventor (Almaraz et al.), el 64% de los estudiantes reportó una actitud más favorable hacia la asignatura. La mejora en la comprensión fue un punto clave en los tres estudios: MathBot ayudó a entender temas previamente difíciles, App Inventor hizo las clases más dinámicas, y la revisión sistemática de Rodríguez-Cubillo et al. identificó beneficios en el rendimiento y la motivación estudiantil. Entre las fortalezas de MathBot se encuentra su adaptabilidad, retroalimentación contextual y herramientas como descarga de ejercicios y monitoreo del progreso; estas características superan en sofisticación a las observadas en los otros enfoques, aunque también enfrenta retos como cobertura temática limitada y generación incompleta de respuestas en casos complejos. Finalmente, todos los trabajos coinciden en el valor educativo de sus propuestas, pero MathBot se distingue por enfocarse en estudiantes en rezago y



contextos de educación abierta, ofreciendo una solución escalable con fuerte impacto social y pedagógico.

## **Conclusiones**

1.-Eficacia del chatbot: El estudio demostró que MathBot, un chatbot educativo basado en inteligencia artificial, es una herramienta eficaz para apoyar el aprendizaje de matemáticas en estudiantes que buscan acreditar el nivel medio superior mediante el examen Acredita-Bach.

2.-Diseño funcional e inclusivo: Mediante un enfoque de desarrollo iterativo (RAD) y técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN), se logró construir un sistema funcional, accesible y adaptado a las necesidades de los usuarios.

3.-Valoración positiva de los usuarios: Las pruebas alfa y beta reflejaron una alta aceptación del sistema, destacando su facilidad de uso, utilidad práctica y diseño amigable. Las puntuaciones en la encuesta tipo Likert (entre 3.4 y 4.0) respaldan esta percepción.

4.-Validación de hipótesis: Se confirmaron las hipótesis planteadas, ya que el uso del chatbot mejoró la percepción del aprendizaje, incrementó la motivación y facilitó una mejor organización del tiempo de estudio.

5.-Identificación e integración de mejoras: Se detectaron áreas de mejora, como la cobertura temática y la profundidad de las respuestas en temas complejos; estas observaciones fueron incorporadas progresivamente durante el desarrollo.

6.-Proyección futura: La experiencia obtenida establece una base sólida para la expansión del sistema, con potencial de aplicación en otros niveles educativos y en contextos de educación alternativa o regularización académica.



## Referencias

- Almaraz Menéndez, F., López Esteban, C., & Maz Machado, A. (2015). Tecnología móvil y enseñanza de las matemáticas: una experiencia de aplicación de App Inventor. *Épsilon - Revista de Educación Matemática*, 32(3), 77–86. ISSN: 2340-714X.
- Ardila, J. (2024). Aplicaciones de redes neuronales para el aprendizaje matemático [Tesis de maestría, Universidad Nacional]. Repositorio Académico.
- Casar Corredera, J. R. (2023). Inteligencia artificial generativa. *Anales de la Real Academia de Doctores de España*, 8(3), 475–489.
- Castillo, M., & Aguilar, J. (2021). Uso de chatbots en educación media superior para reforzar el aprendizaje autónomo. *Revista de Innovación Educativa*, 25(2), 78–95. <https://doi.org/10.1234/rie.v25i2.543>
- Estrada-Molina, A. (2024). Estado del arte sobre chatbots educativos con enfoque en matemáticas. Manuscrito inédito.
- ISTQB (International Software Testing Qualifications Board). (2018). Standard glossary of terms used in software testing (version 3.2). <https://www.istqb.org/downloads/send/2-foundation-level-documents/3-glossary-of-testing-terms.html>
- Juárez, C. (2022). Implementación de mecanismos de atención en modelos secuenciales para tareas educativas [Tesis de maestría, Universidad Autónoma]. Repositorio Institucional.
- Mazón, D. (2021). Aplicación de modelos de atención y redes neuronales en el diseño de tutores inteligentes. *Revista Latinoamericana de Tecnologías Educativas*, 19(1), 45–61. <https://doi.org/10.5678/relate.v19i1.204>



- Moral-Sánchez, R., Soto, A., & Díaz, P. (2023). Transformando la educación matemática con inteligencia artificial: un enfoque basado en chatbots. *Journal of AI in Education*, 12(3), 223–241. <https://doi.org/10.1016/jaie.2023.03.007>
- Rodríguez-Cubillo, M. R., Del Castillo, H., & Arteaga-Martínez, B. (2021). El uso de aplicaciones móviles en el aprendizaje de las matemáticas: una revisión sistemática. *ENSAYOS. Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 36(1), 17–34.
- Son, D. H., Lee, H., & Lee, J. (). Designing AI chatbots for personalized math learning: A review of models and effectiveness. *Computers & Education*, 195, 104759. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.104759>
- Toribio Olmedo, A. R., & Mendoza Pérez, M. A. (2025). Revisión de la literatura para el desarrollo de un tutor inteligente chatbot del área de matemáticas en el nivel medio superior. *Desarrollo Sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación*, 6(62), 11–26. <https://doi.org/10.51896/rilcods.v6i62.728>
- Wehr, J., & Baluis, M. (2023). Chatbots and student engagement: A systematic review of AI-driven tools in STEM education. *Educational Technology Research and Development*, 71, 417–432. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10200-9>
- Weizenbaum, J. (1966). ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the ACM*, 9(1), 36–45.



**Modelado de usos del suelo con k-medias para la conservación territorial en Almoloya  
de Juárez**

**land use modelling with k-means for territorial conservation in Almoloya de  
Juárez**

**Raúl Salazar Godínez<sup>1</sup>**

[rsalazarg003@alumno.uaemex.mx](mailto:rsalazarg003@alumno.uaemex.mx)

ORCID: 0009-0004-5242-1197

**Carolina Herrera Mendoza**

[cherreram@uaemex.mx](mailto:cherreram@uaemex.mx)

ORCID: 0009-0005-2039-8532

**Rosa María Valdovinos Rosas**

[rvaldovinosr@uaemex.mx](mailto:rvaldovinosr@uaemex.mx)

ORCID: 0000-0001-9954-0653

---

<sup>1</sup> Autores de la Ingeniería en Computación, Ciudad Universitaria UAEM COATEPEC, Facultad de ingeniería  
Universidad Autónoma del Estado de México.



## Resumen

El presente estudio explora las aplicaciones de la Minería de Datos en el análisis del uso suelo para comprender las formas de reconfiguración y expansión urbana, para tal efecto, este artículo emplea el algoritmo de clasificación *K*-medias para la identificación de patrones de los usos del suelo de las áreas no urbanizables en el contexto del territorio mexicano, tomando como referencia el contenido previsto en la Tabla de Uso del Suelo del Plan Municipal de Desarrollo Urbano (PMDU) de Almoloya de Juárez vigente publicado en 2022 por la Secretaría de Desarrollo Urbano e Infraestructura del Estado de México. Los resultados sugieren que el modelo prioriza la clasificación de las áreas boscosas, maximizando la detección de áreas clasificadas como Natural Bosque No Protegido (N-BOS-N), incluso a costa de una posible restricción excesiva de tierras agrícolas.

**Palabras clave:** Zonificación del suelo, Planeación Urbana, Áreas no urbanizables, *k*-medias

## Abstract

This study explores the applications of Data Mining in land use analysis to understand the forms of urban reconfiguration and expansion. To this end, this article uses the *K*-means classification algorithm to identify land use patterns in non-urbanizable areas in the Mexican territory context. The study used the content provided in the Land Use Table of the current Municipal Urban Development Plan of Almoloya de Juárez published in 2022 by the Secretariat of Urban



Development and Infrastructure of the State of Mexico. The results suggest that the model prioritizes the classification of forest areas, maximizing the detection of areas classified as Natural Unprotected Forest (N-BOS-N), even at the cost of a possible excessive restriction of agricultural land.

**Keywords:** Zoning Land, Urban Planning, Non-Urban areas, *k*-means

Fecha de envío: 21/05/2025

Fecha de aprobación: 18/07/2025

Fecha de publicación: 01/09/2025

## **Introducción**

En la era digital, la generación de datos aumenta a un ritmo sin precedentes donde dada su complejidad y cantidad resulta necesaria la utilización de herramientas computacionales que permitan el procesamiento y análisis de datos estructurados y no estructurados. Ante este tenor en materia de Planeación Urbana (PLU) a consecuencia de la rápida urbanización y crecimiento poblacional en las ciudades, un elemento crucial para la optimización de recursos humanos, financieros y computacionales es el empleo de técnicas de juicio asistido como el aprendizaje automático para atender las problemáticas apremiantes de las ciudades (Peña, 2021).

La PLU y la gestión del uso del suelo son dos elementos de gran relevancia para contribuir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente en el No. 11 cuyo propósito se centra en las Ciudades y comunidades sostenibles; en este sentido, además de contribuir con la agenda internacional propuesta de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), evidencia científica



pone de manifiesto que la adecuada planificación de los usos del suelo permiten promover la cohesión social, la identidad histórica y la conservación del patrimonio natural y ambiental (Ramírez, Cárdenas y Alegría, 2024).

De manera específica, el Municipio de Almoloya de Juárez ubicado en el Estado de México, es una región de gran interés debido a su cercanía con la Capital de la Entidad (Toluca de Lerdo), que en los últimos años derivado de las políticas de vivienda (Política Estatal de Ciudades del Bicentenario) ha presentado un fenómeno de creciente urbanización lo que ha generado una fuerte influencia para el desarrollo de actividades industriales, provocando una tensión constante en la disminución de actividades agrícolas y de protección de las áreas naturales, así como también, experimentando una notable transformación del uso del suelo (SEDUI, 2022).

El Plan Municipal de Desarrollo Urbano (PMDU) de Almoloya de Juárez establece las bases para la PLU del Municipio y la gestión de los usos del suelo, en el cual también se establecen las políticas y estrategias de conservación del territorio principalmente de las áreas no urbanizables (SEDUI, 2022). Cabe señalar que el eje central de análisis del presente estudio comprende la aplicación de técnicas de aprendizaje no supervisado, siendo una de ellas el algoritmo K-medias para la identificación de patrones de uso del suelo, centrandó su atención en las áreas catalogadas como Áreas No Urbanizables para fortalecer la literatura en la preservación de estas zonas, evitar daños al ecosistema, biodiversidad y la degradación del suelo.

### **Trabajos relacionados**

La aplicación de algoritmos de aprendizaje automático en el campo del urbanismo ha adquirido popularidad en el análisis de la ocupación del suelo utilizando métodos de clasificación, cuyo



objetivo se ha centrado en comprender bajo un enfoque sistémico y multidimensional la manera en cómo se articulan las ciudades (Peña, 2021). Adicional a lo anterior, la literatura ha permitido evidenciar la importancia de aplicar técnicas de aprendizaje no supervisado para la clasificación en la zonificación del suelo, ya que estas técnicas además de auxiliar en una adecuada toma de decisiones, permite la integración de datos de diversas fuentes de información para un análisis integral de la realidad (Zhou, Gu, Shen, Ma, Miao, Zhang y Gong, 2017). Retomando las ideas de Steurer y Bayr (2020) la expansión urbana de los asentamientos humanos se constituye como un problema multidimensional y complejo en las ciudades, cuyas implicaciones impactan significativamente en el cambio de patrones de uso del suelo. Así mismo, existe evidencia de que la expansión urbana ha puesto en peligro el sistema de sostenibilidad de las ciudades generando consecuencias negativas en el contexto ambiental, social, de salud, entre otros (Liu, Peng, Wu, Jiao, Yu y Zhao, 2018).

En el contexto mexicano se puede observar que los efectos negativos sobre el cambio del uso del suelo en las ciudades, se asocian en contextos donde, por decir algunos ejemplos, el desarrollo de actividad humanas como la ganadería han provocado que los bosques desaparezcan en una tasa de 79% con una extensión de hasta 2,672 km<sup>2</sup> cuadrados cada año (SEMARNAT, s/f), escenario que de no cambiarse o solucionarse provocará afectaciones en el medio ambiente como degradación del suelo o pérdida de la cobertura vegetal. Para minimizar los efectos negativos de una mala planeación urbana, la literatura muestra que se han utilizado diversos algoritmos de clasificación para el análisis de la zonificación del suelo, siendo uno de los más populares el algoritmo *k*-medias, cuyas aportaciones a la ciencia en el ámbito de la zonificación del suelo se han centrado en lo siguiente:



<b>Tema central de análisis</b>	<b>Datos utilizados</b>	<b>Líneas abiertas de investigación</b>
Medición de la expansión urbana utilizando información sobre usos del suelo	Baja densidad, dispersión y baja compacidad de la forma de la ciudad utilizando el conjunto de datos Corine Land Cover	Gracias a la aplicación de los índices de densidad, entropía y autocorrelación espacial se mejoran los procesos de medición tradicionales utilizando SIGs
Medición e identificación de patrones típicos de expansión urbana considerando las actividades humanas que son distintas de las físicas y/o medio ambientales aplicando métodos distintos a los de teledetección	Patrones de distribución de la densidad de población: área, área de borde, área rural, área de expansión y área ecológica interna. Se contemplan datos de uso del suelo como: edificios urbanos y rurales, áreas forestales, praderas	Los resultados sugieren que para identificar la expansión urbana a partir de la agrupación de K-medias, se realice un análisis de población cuadriculada aplicando la entropía espacial local (FCA)

Tabla 1: Estudios sobre zonificación del suelo aplicando k-medias (Steurer y Bayr, 2020) (Liu, Peng, Wu, Jiao, Yu y Zhao, 2018).

Atendiendo a las líneas abiertas de estudio identificadas en la literatura, resulta esencial la aplicación de técnicas de Aprendizaje Automático con técnicas de modelado espacial con el propósito de predecir y generar información empírica más robusta que favorezca la Planeación



---

Urbana en diversos contextos territoriales y que permitan comprender el fenómeno de la expansión urbana y los cambios de uso del suelo.

## **Materiales y métodos**

Para la elaboración del presente estudio se utilizó información del Repositorio Institucional de la Secretaría de Desarrollo Urbano e Infraestructura (SEDUIS) del Estado de México, centrandó el análisis en el contenido de la Tabla de Uso del Suelo del Plan Municipal de Desarrollo Urbano (PMDU) de Almoloya de Juárez (SEDUI, 2022). Considerando el universo de información publicado por dicha institución, para el procesamiento de los datos se utilizó como herramienta *General Refine Expression Languaje* y Visual Studio Code bajo un lenguaje de programación en Python, considerando la metodología Knowledge Discovery in Databases (KDD) pues permite contar con un enfoque estructurado para asegurar una adecuada limpieza, análisis de datos e interpretación de los resultados obtenidos de la aplicación del Algoritmo k-Medias.

Los usos del suelo en áreas no urbanizables previstos en la Tabla de Usos del Suelo vigente en Almoloya de Juárez (SEDUI, 2022), considera los siguientes destinos (Observe Tabla 2):

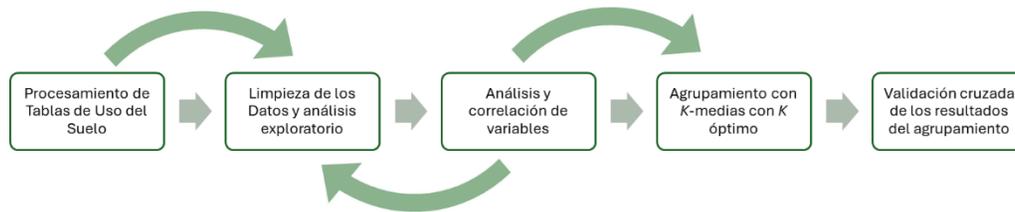


<b>Uso específico</b>	<b>Clave</b>	<b>Superficie Municipal (Ha)</b>
Residencial Campestre con uso Habitacional Densidad Tres Mil Trescientos Treinta y Tres	RC-H-333-A	535.25
Natural Bosque No Protegido	N-BOS-N	4,660.64
Natural Bosque Protegido	N-BOS-P	2,676.11
Parque Natural No Protegido	N-PAR-N	223.48
Parque Natural Protegido	N-PAR-P	2,780.95
Ecoturístico	ECO-T	905.05
Agrícola de Mediana Productividad Temporal	AG-MP-T	25,231.02
Agroindustria	AGR-I	530.79
Mina a Cielo Abierto	M-C-A	12.59
Cuerpos de Agua	C-A	1,378.67

Tabla 2: Destinos y características de los del suelo no urbanizables en Almoloya de Juárez

(elaboración propia con base en SEDUI, 2022).

Bajo otra orden de ideas, considerando la metodología planteada anteriormente, el proceso de recolección, análisis y transformación de la información realizado en este estudio puede observarse en la Ilustración 1.



*Ilustración 1. Proceso metodológico para el desarrollo de la investigación (elaboración propia, 2025)*

### **Tratamiento de los datos**

Debido a la naturaleza y formato de la información obtenida a través de la Tabla de Uso del Suelo de Almoloya de Juárez, para facilitar el análisis y manipulación de la información, en un proceso inicial fue necesaria la transformación del archivo original (PDF) a un formato CSV para la reorganización y depuración de datos inconsistentes dentro de nuestro conjunto de datos. Dado que los datos originales contaban con diversos problemas que dificultaban la ejecución del Algoritmo *K*-medias (presencia de datos categóricos y numéricos), fue necesario realizar un preprocesado de datos, en el que se incluye la conversión del formato de los datos, así como tratamiento de complejidades que se señala a continuación.

### **Conversión de archivos PDF:**

Como bien se señaló anteriormente, la naturaleza original de los datos obtenidos para la conformación de nuestro conjunto de datos se encontraba inicialmente en un formato PDF, por lo que, para el análisis y procesamiento de estos, Open Refine no era una herramienta viable, por lo



tanto, se emplearon diversas bibliotecas de Python para hacer posible la lectura de la Tabla de Usos del Suelo (Camelot, PDF Plumber). Gracias a eso, se logró el proceso de transformación, generando así, archivos en formato CSV para su posterior lectura en la herramienta Open Refine. La generación de los archivos CSV se elaboró de manera separada, es decir, para mantener la integridad absoluta de los datos se hizo un archivo por tabla, de modo que se obtuvieron 7 tablas diferentes con extensión de renglones variada. Dado que no era óptimo evaluar y analizar la información por separado, se creó un script en Python que permitió la fusión de cada tabla, por supuesto sin la pérdida de información, paso esencial para trasladar la siguiente fase del proyecto a Open Refine.

### **Limpieza de los datos y análisis exploratorio**

En virtud de que los datos estaban conformados por atributos tanto categóricos como numéricos, se emplearon técnicas de codificación de etiquetas y normalización; así mismo, se identificaron patrones atípicos como atributos duplicados o instancias mal etiquetadas, que generaban inconsistencias en la lectura de cada dato correspondiente a la Tabla de Usos.

Para los valores nulos y/o faltantes, se reemplazaron los valores vacíos por el término “ZX” por criterio de selectividad, es decir, la simbología mostrada en los archivos PDF, las formas de datos original del conjunto de datos, indicaba un uso de instancias diversas en formato textual, de modo que resultó adecuado ese nombramiento para evitar confusiones en la lectura de datos. Esto se llevó a cabo en las mismas funciones que ofrece Open Refine, a través de la selección de una columna deseada, se transformó la forma de las instancias de cada renglón por medio del uso de



expresiones GREL usando una lógica de programación similar a Python para su correcta aplicación.

Para los patrones atípicos, aquellos elementos vacíos o nulos, se desarrolló el mismo procedimiento de reetiquetado en instancias específicas, para eso, se utilizaron pequeños scripts en GREL para identificar adecuadamente aquellas instancias a renombrar. El procedimiento fue similar con el inconveniente de la duplicidad, pues con base a scripts específicos de selección se eliminaron y renombraron instancias determinadas. Todo este proceso con la utilización de Open Refine, su análisis selectivo a través de la línea de comandos de la aplicación abarcó la sección del estudio y solución de la complejidad de los datos por medio de expresiones GREL.

### ***K*-medias:**

La literatura señala que en Aprendizaje No Supervisado, existen diversos algoritmos de clasificación dentro, en el cual *k*-medias es uno de los más populares para el análisis, transformación y procesamiento de los datos. A lo largo de los años este algoritmo ha evolucionado y se ha adaptado a diversas aplicaciones, desde la segmentación de clientes hasta ámbitos más especializados como el análisis de imágenes pues su eficacia ha convertido al algoritmo en una herramienta esencial para aplicarse en diversos campos multidisciplinarios. El funcionamiento del algoritmo *K*-medias opera de la siguiente manera:



**Algoritmo 1** *K*-Medias

---

```

1: Inputs: Conjunto de datos  $X = \{x_1 \dots x_n\}$ , No. de clústeres  $k$ , No. máximo de iteraciones
2: Outputs: Los  $k$  centros de clústeres
3: Inicializar aleatoriamente los centros de los clústeres  $\{c_1 \dots c_k\}$ 
4: for iteración = 1 hasta max_iter do
5:   for cada punto  $x_i \in X$  do
6:     Asignar  $x_i$  al clúster más cercano a su centro  $c_j$ , donde  $j = \arg \min_{1 \leq j \leq k} \|x_i - c_j\|$ 
7:   end for
8:   for cada clúster  $j = 1 \dots k$  do
9:     Recalcular el centro de  $c_j = \frac{1}{|S_j|} \sum_{x_i \in S_j} x_i$ , donde  $S_j$  es el conjunto de puntos asignados al clúster  $j$ 
10:  end for
11:  if los centros de los clústeres no cambian then
12:    Salir
13:  end if
14: end for
15: Retornar los centros  $C$  y las asignaciones de clústeres

```

---

**Validación de resultados**

Para el análisis de resultados se partió de una matriz de confusión, como la mostrada a continuación:

	<b>Clase +</b>	<b>Clase -</b>
<b>Clase +</b>	VP	FN
<b>Clase -</b>	FP	VN

Donde:

VP (Verdadero Positivo), y VN (Verdadero Negativo) son las instancias bien reconocidas por el modelo, en tanto que los errores se representan por FN (Falso Negativo) y FP (Falso Positivo).

De esta matriz se obtuvieron varias de las métricas ampliamente utilizadas en aprendizaje automático y minería de datos para análisis de resultados.



<b>Exactitud:</b>		
1	Cantidad de predicciones que fueron correctas	$Exactitud = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN}$
<b>Precisión:</b>		
2	Proporción de VP identificados por el modelo.	$Precisión = \frac{VP}{VP + FP}$
<b>Sensibilidad o Recall:</b>		
3	Proporción de VP correctamente identificados por el modelo	$Sensibilidad = \frac{VP}{VP + FN}$
<b>Especificidad:</b>		
4	Proporción de VN correctamente identificados por el modelo	$Especificidad = \frac{VN}{VN + FP}$
<b>F1 Score:</b>		
5	Medida armónica entre precisión y sensibilidad	$F1\ Score = 2 \left( \frac{(Precisión)(Sensibilidad)}{Precisión + Sensibilidad} \right)$

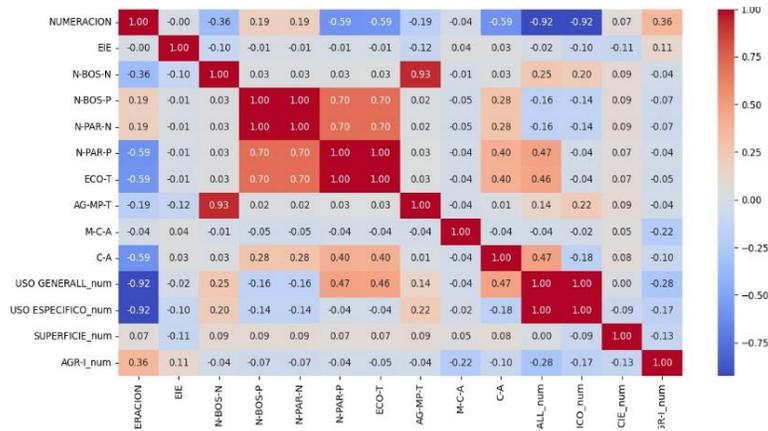
## Resultados

Una vez solucionadas las complejidades de datos, el proceso siguiente consistió en identificar la correlación existente entre una variable y otra a través del ploteo de los datos, procedimiento que consistió en la obtención de medidas estadísticas como el total de elementos por columna, media, mediana, desviación estándar, métricas necesarias para la evaluación de los pasos posteriores.



## Matriz de correlación

El objetivo de esta sección fue determinar la distribución de los datos, la visualización de su comportamiento con demás variables, y en general, la correlación entre variables para deducir la matriz de correlación por cada columna del conjunto de la data set. Debido a que se contaba con datos numéricos y tipo cadena, estos últimos se etiquetaron con números negativos, ya que de no hacerlo producían errores en las operaciones de tipo NaN (Not a Number). La Ilustración 2 muestra la matriz resultante posterior al emplear un análisis de correlación por medio del “*coeficiente de correlación de Pearson*”.



**Ilustración 2.** Matriz de correlación de los datos numéricos (elaboración propia, 2025)

Los resultados de la Matriz de correlación (Ilustración 2) muestra la relación entre cada variable numérica, donde aquellos más cercanos a 1 indican una fuerte correlación positiva. Por su contra parte, los valores cercanos a -1 muestran una fuerte correlación negativa. Igualmente existieron casos cercanos a cero entre variables. Se tomaron dos elementos numéricos con una correlación muy fuerte y significativa respecto a una variable de la otra, evitando



multicolinealidad, evitando una alta correlación entre variables para evitar redundancia, distorsión de resultados y la dificultad de interpretación.

Al observar la matriz de correlación, se identificaron 14 variables con una correlación igual o superior al 70%, más específicamente, se crearon grupos para relacionar las variables, de modo que, se categorizaron de la siguiente manera:

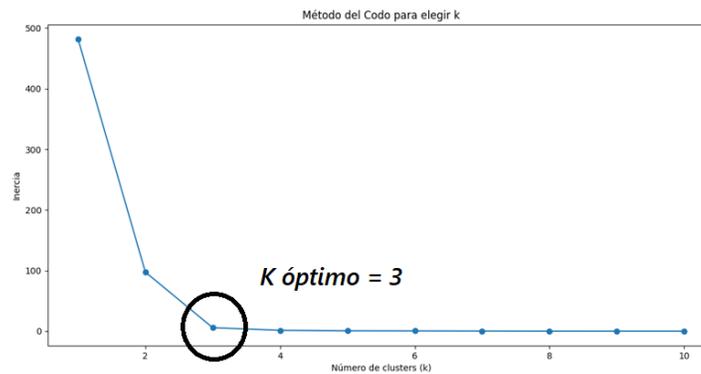
Grupo	Variable 1	Variable 2	Nivel de correlación
1	N-BOS-N	AG-MP-T	0.93
2	N-BOS-P	N-PAR-N	1.00
3	N-PAR-P	ECO-T	1.00
4	N-BOS-P	N-PAR-P	0.70
5	N-PAR-P	N-PAR-N	0.70
6	N-BOS-P	ECO-T	0.70
7	N-PAR-N	ECO-T	0.70

Tabla 2: Tabla de clasificación de las variables candidatas

Considerando lo anterior, tras analizar el nivel de correlación de cada grupo se determinó que el Grupo 1, contaba con las variables más idóneas, pues los demás grupos, pese que en algunos casos mostraban niveles de correlación con una aparente relación prometedora (Grupo 2 y Grupo 3), sus variables presentaban valores numéricos negativos, por tal motivo, su uso no fue posible a pesar de haber sido transformadas pues su verdadera naturaleza impidió trabajarse con ellas.

### **Agrupamiento de datos**

Una vez comprendida la naturaleza de los datos, y determinadas las instancias candidatas “N-BOS-N” y “AG-MP-T” se entrenó el algoritmo  $k$ -medias. Para determinar el valor de  $k$ , se utilizó el “Método del Codo” o “Elbow Method”, variando el valor de  $k$  de 2-10 grupos (Ilustración 3).

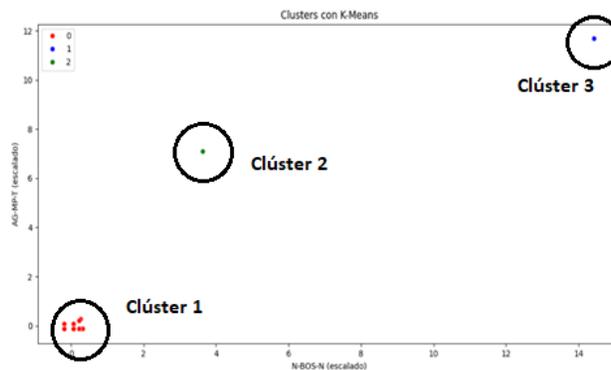


**Ilustración 3. Diagrama del Método del Codo (Elbow Method) en  $k=3$  (elaboración propia, 2025).**

El objetivo fue determinar el valor de  $k$  donde la disminución de la inercia fuera más lenta y cercana al eje X, formando un "codo" en la gráfica. En la ilustración 3 se observa una disminución muy rápida de la inercia desde  $k=1$  hasta  $k=3$ . A partir de  $k=3$ , la disminución de la inercia se vuelve mucho más gradual, casi plana, de modo que el valor óptimo de  $k$  hallado fue 3. Con  $k=3$ , los datos se agruparon en clústeres bien definidos, concluyendo que, aumentar el número de clústeres no aporta una mejora significativa en la reducción de la inercia.

Con este valor óptimo  $k=3$ , el algoritmo K-Medias generó el algoritmo buscó similitudes entre los datos, generando tres agrupamientos bien definidos con las instancias candidatas "N-BOS-N" y "AG-MP-T". Bajo esta orden de ideas, la función del algoritmo consistió en medir la

distancia entre los puntos, agrupando aquellos que se parecen en las dos instancias candidatas. Caso contrario si hay una diferencia muy alta, los puntos se van a distintos grupos



*Ilustración 4. Distribución de los Clústeres (elaboración propia, 2025).*

La información representada en la Ilustración 4 muestra que el Clúster 1 agrupa puntos en el cual prevalecen zonas Naturales Boscosas No Protegidas, el Clúster 2 reúne áreas destinadas para actividades Agrícolas de Mediana Productividad Temporal y finalmente el Clúster 3 contiene valores con baja densidad de zonas agrícolas y predominio de áreas naturales. Esta representación revela patrones en los datos que no son visibles a simple vista, permitiendo entender cómo se distribuyen los tipos de suelo o zonas según sus características compartidas. Además, la similitud de cada grupo, así como la separación entre ellos refuerzan la validez del agrupamiento.

Aunque el método del codo identificó que el valor óptimo de  $k=3$  agrupa correctamente la diversidad estructural de los datos, surge una situación importante: en este caso solo existen 2 clases reales, las instancias candidatas, pero se generaron 3 clústeres predichos. Este desfase es aceptable para un análisis descriptivo no supervisado, sin embargo, impide el uso directo de métricas supervisadas como "Exactitud", "Precisión", "Sensibilidad" etc. ya que dichas métricas



exigen que el número de clases reales coincida con el número de clases predichas (es decir, una matriz cuadrada  $N \times N$ ).

Bajo esta coyuntura, el estándar ISO/IEC 25024 citado en Bishop (2006), la precisión se calcula sobre casos correctamente clasificados, lo cual también supone igualdad entre clases reales y predichas; sin embargo, es totalmente válido utilizar un valor menor de  $k$  cuando se desea aplicar métricas supervisadas. El valor óptimo de  $k$  que sugiere el método del codo no es una regla rígida, sino una guía que puede ajustarse según el objetivo del análisis (Jain, 2010; Müller & Guido, 2016).

Para dar cumplimiento a los fines del presente estudio, se utilizó el valor de  $k=2$ ; esto permitió construir una matriz de confusión válida y aplicar métricas supervisadas sin ambigüedad. Los resultados obtenidos de la aplicación del algoritmo k-means arrojó los siguientes resultados:

- Clúster 0 y 2 = se agruparon como Clase 1, correspondiente a "N-BOS-N"
- Clúster 1 = se asignó como Clase 0, correspondiente a "AG-MP-T"

Aunque el algoritmo agrupó los datos inicialmente en 3 clústeres ( $k=3$ ), se observó que la mayoría de los registros pertenecientes a "N-BOS-N" se concentraban en los clústeres 0 y 2, mientras que los registros de "AG-MP-T" estaban principalmente en el clúster 1.

Por tanto, se realizó una reasignación supervisada de clústeres, fusionando los clústeres con comportamiento similar, reduciendo así a 2 grupos, permitiendo generar una matriz de confusión de  $2 \times 2$ :



Real \ Predicho	Clase A (Clústeres 0 y 1)	Clase B (Clúster 2)	Total
N-BOS-N (Clase 1)	9+1 = 10 (VP)	2 (FN)	12
AG-MP-T (Clase 2)	4+1 = 5 (FP)	2 (VN)	7
Total	15	4	19

Con base a la matriz de confusión elaborada, se calcularon las métricas supervisadas siguientes

**Exactitud:** el modelo clasifica bien el 63% de los casos (sean “N-BOS-N” o “AG-MP-T”).

$$Exactitud = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} = \frac{10 + 2}{10 + 2 + 5 + 2} = \frac{12}{19} \approx 0.6316$$

**Precisión:** cuando el modelo predice “N-BOS-N”, acierta el 66% de las veces.

$$Precisión = \frac{VP}{VP + FP} = \frac{10}{10 + 5} = \frac{10}{15} = 0.6667$$

**Sensibilidad (Recall a+):** de todos los verdaderos “N-BOS-N”, el modelo identifica el 83%.

$$Sensibilidad = \frac{VP}{VP + FN} = \frac{10}{10 + 2} = \frac{10}{12} \approx 0.8333$$

**Especificidad (Tasa negativa verdadera a-):**

$$\frac{VN}{VN + FP} = \frac{2}{2 + 5} = \frac{2}{7} \approx 0.2857$$

**Media Geométrica:**

$$Media\ geométrica = \sqrt{Sensibilidad \cdot Especificidad} = \sqrt{0.8333 \cdot 0.2857} \approx 0.4879$$

**F1**

**Score:**

$$F1\ Score = 2 \left( \frac{(Precisión)(Sensibilidad)}{Precisión + Sensibilidad} \right) = 2 \cdot \frac{0.6667 \cdot 0.8333}{0.6667 + 0.8333} = 2 \cdot \frac{0.5555}{1.5} \approx 0.7407$$



De este modo se tiene:

Métrica	Valor	Interpretación
Exactitud	0.6316	Acertó en 63.16%
Precisión	0.6667	De los positivos predichos, 66.67% eran correctos
Sensibilidad	0.8333	Detectó 83.33% de los reales positivos
Especificidad	0.2857	Solo 28.57% de negativos fueron bien clasificados
F1 Score	0.7407	Buen balance general
Media Geométrica	0.4879	Afectada por baja especificidad

*Ilustración 5. Resultados de las métricas empleadas para las variables “N-BOS-N” y “AG-MP-T” (elaboración propia, 2025).*

### Calidad del agrupamiento

Con la utilización de la validación cruzada con 5 particiones se evaluó el rendimiento del modelo con el objetivo principal de garantizar que no esté sobre ajustado, es decir, que no aprenda patrones específicos del conjunto de datos en lugar de generalizar bien a datos nuevos.

La forma en que se utilizó la validación cruzada fue aplicando “K-Fold Cross Validation”, dividiendo los datos en N subconjuntos o particiones, ejecutando K-medias en cada uno.




---

**Algoritmo 3** Validación Cruzada K-Fold para K-medias

---

- 1: **Inputs:** Datos normalizados  $X = \{x_1 \dots x_n\}$ , No. de clústeres  $k$ , No. máximo de iteraciones, No. particiones  $K$  (K-Fold)
  - 2: **Outputs:** Promedio del índice de silueta
  - 3: Dividir los datos  $X$  en  $K$  subconjuntos (folds)
  - 4: **Para cada fold  $i=1$  hasta  $K$ :**
  - 5: Usar  $K-1$  folds como entrenamiento  $X_{train}$ , 1 como prueba  $X_{test}$
  - 6: Aplicar K-Means sobre  $X_{train}$  con  $k$  clústeres;
  - 7: Predecir etiquetas de clúster en  $X_{test}$ ;
  - 8: Si hay más de un clúster en  $X_{test}$ ;
  - 9:     Calcular índice de silueta y guardarlo
  - 10: Calcular el promedio de todos los índices de silueta válidos
  - 11: Retornar el promedio como métrica de calidad de agrupamiento
- 

Para medir la calidad del agrupamiento se calculó el coeficiente de silueta, el cual está dado por:

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}}$$

Donde:

a (i): Distancia promedio entre el punto  $i$  y todos los demás puntos del mismo clúster

b (i): Distancia promedio entre el punto  $i$  y todos los puntos del clúster más cercano (al que no pertenece)

Los valores del coeficiente silueta pueden variar de -1 a 1, si el valor es cercano a 1, los clústeres están bien definidos y separados, sin embargo, un valor cercano a 0 indica que están muy mezclados. Por el contrario, un valor negativo indica que hay datos asignados al clúster incorrecto.

Si  $s(i) \approx 1$ , el punto está bien agrupado y lejos de otros clústeres

Si  $s(i) \approx 0$ , el punto está entre dos clústeres

Si  $s(i) < 0$ , el punto puede estar mal asignado al clúster



En el agrupamiento obtenido se obtuvo un coeficiente de silueta promedio de 0.913, esto indica que los datos están bien agrupados, sólidos y definidos de manera consistente, refiriendo a una calidad excelente en la separación de los clústeres. Este valor refleja que los terrenos agrupados comparten similitudes claras entre sí, así como su correcta clasificación en diferentes grupos.

En el contexto actual donde se busca distinguir bosques naturales no protegidos de zonas agrícolas, este resultado implica que el modelo tiene una alta capacidad de identificar patrones ambientales reales, reduciendo así la posibilidad de clasificaciones erróneas. Por tanto, el agrupamiento es válido, útil y confiable para buscar la conservación de bosques y gestión de zonas de conservación.

## **Discusión**

Al revisar los resultados previstos en la sección anterior, se observó que los clústeres 0 y 2 estaban conformados mayoritariamente por instancias de la clase "N-BOS-N", por lo que se reagruparon como Clase 1. El clúster 1, en cambio, se asoció con instancias de la clase "AG-MP-T", asignándolo como Clase 0, ante este escenario el Algoritmo k-medias ha evidenciado su utilidad para identificar patrones y agrupar instancias de los usos del suelo de áreas no urbanizables en estos dos grupos; no obstante, los resultados de las métricas aplicadas exigen una interpretación meticulosa especialmente cuando se trata de diferenciar entre las diversas clases existentes en escenarios donde existe desbalance.

Particularmente, la Sensibilidad ha evidenciado que el modelo implementado ha tenido un alto porcentaje de efectividad al identificar casos verdaderos en la Clase N-BOS-N, lo cual es un



elemento crucial para para emplear políticas de preservación y/o conservación de áreas naturales no protegidas.

Por su parte, el resultado obtenido de la especificidad refleja que el modelo tiene mayor tendencia a clasificar usos del suelo N-BOS-N, escenario que bajo el contexto urbano puede representar un gran desafío para identificar adecuadamente las áreas agrícolas en el territorio, ya que, considerando la información prevista en el PMDU de Almoloya de Juárez, existen zonas cuyo destino agrícola se encuentran altamente sometidas a la presión de la expansión urbana al ser categorizadas espacialmente a largo plazo como Áreas Urbanizables (SEDUI, 2022), dicha situación pone de manifiesto la necesidad de analizar el uso del suelo bajo un enfoque complementario al normativo que permita distinguir los diversos usos destinados a las áreas no urbanizables en el territorio.

A partir de ello, se observan las siguientes fortalezas y debilidades en la aplicación del algoritmo k-medias:

*Fortalezas:*

- El modelo muestra una alta sensibilidad (83%) detectando correctamente la mayoría de los terrenos de tipo "N-BOS-N".
- Buen F1 Score (74%) indicado un equilibrio razonable entre "Precisión" y "Exactitud" motivo que muestra un modelo funcional.

*Debilidades:*



- La especificidad es baja (28%), por lo que el modelo presenta dificultades para detectar correctamente los terrenos agrícolas, confundiéndolos como si fueran bosques no protegidos.
- La media geométrica (48%), confirma que el rendimiento no es parejo entre ambas clases.

Para comprobar la consistencia del modelo, se aplicó Validación Cruzada K-Fold, dividiendo el conjunto de datos en cinco grupos. En cada iteración, se entrenó el modelo con cuatro grupos y se validó con el restante. La métrica de calidad utilizada fue el “Coeficiente de Silueta”, obteniendo un valor de 0.91, lo que confirma que los clústeres están bien definidos y separados.

El modelo ofrece un desempeño aceptable, en especial para detectar correctamente los terrenos N-BOS-N, lo cual es crítico para la protección de áreas naturales no protegidas, mostrando desequilibrio entre sensibilidad y especificidad, este análisis adquiere mayor sentido al interpretar los errores de la naturaleza de los datos. Considerando lo anterior, los resultados permiten proporcionar información clave sobre los problemas que requieren mayor atención.

## **Conclusiones**

El presente estudio ha logrado demostrar efectividad en la implementación del algoritmo k-medias, logrando clasificar los diversos usos del suelo previstos en la Tabla de Usos del Suelo de Almoloya de Juárez, permitiendo la comprensión en la distribución de los usos del suelo a nivel normativo. Así mismo, los resultados arrojan que la sensibilidad y especificidad presentan limitaciones importantes dada la falta de equilibrio entre sus valores, reflejando un posible desbalance de clases.



El análisis realizando, logró identificar patrones en los diversos usos del suelo de las áreas no urbanizables de Almoloya de Juárez, estos usos del suelo consideran una amplia variedad de categorías; no obstante, tras realizar las tareas de clasificación, los clústeres generados arrojaron resultados más relevantes en los usos AG-MP-T y N-BOS-N; la exclusión de los otros usos del suelo como Mina a Cielo Abierto, Cuerpos de Agua, Ecoturístico, entre otros, reflejan patrones de distribución que no son suficientemente representativos por el algoritmo, cuyas características normativas están inmersas dentro de las dos clases señaladas anteriormente (AG-MP-T y N-BOS-N).

De los resultados obtenidos se puede afirmar que, el modelo presenta un rendimiento razonable, sin embargo, existen limitaciones para clasificar normativamente las zonas destinadas para uso Agrícola, sin embargo, en términos de extensión territorial, pese la gran extensión que presenta el uso del suelo AG-MP-T, el modelo subestima la importancia de dicha clase.

Considerando lo anterior, para mejorar la eficacia en la aplicación del modelo, particularmente en la capacidad para discriminar entre los dos usos del suelo identificados, se sugiere emplear algunas otras técnicas adicionales bajo un enfoque de análisis multidimensional, como por ejemplo, a través del procesamiento de imágenes de percepción remota, ya que como se observó a inicios del presente documento, la literatura manifiesta que el uso de los SIG's y las técnicas de Teledetección, otorgan una visión precisa sobre la distribución de los usos del suelo, permitiendo enriquecer los resultados obtenidos del análisis normativo de los instrumentos de PLU a partir de la clasificación de técnicas de aprendizaje no supervisado como k-medias.

Prashant Banerjee (2021), en su trabajo "*K-Means Clustering with Python*", implementó el algoritmo k-medias para detectar grupos en datos sin etiquetas, un enfoque que guarda similitud con el procedimiento realizado en este estudio. Ambos casos destacan la importancia de



seleccionar el número óptimo de clústeres y evaluar la calidad de las agrupaciones para obtener resultados confiables. La validación cruzada aplicada en este trabajo respaldó la estabilidad del modelo, mostrando que los clústeres definidos reflejan patrones coherentes en los datos analizados.

Finalmente, es importante señalar las líneas abiertas de investigación del presente documento, las cuales considerando el estado del arte se centran en complementar el presente estudio clasificando los usos del suelo utilizando imágenes satelitales bajo un análisis multiescalar y temporal para contar con una perspectiva detallada sobre los patrones de ocupación y reconfiguración de los usos del suelo en áreas no urbanizables para la conservación del territorio con potencialidades ambientales y agrícolas. Por otro lado, resulta fundamental abordar el análisis de los usos del suelo y su clasificación utilizando Algoritmos de Inteligencia Artificial Explicable (conocido por sus siglas en inglés como XAI) esto con el objeto de poder comprender con precisión la complejidad del mundo urbano mejorando la confianza en la aplicación de los modelos de Aprendizaje Automático.

### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti) bajo la beca [821307].



## Referencias

- Arthur, David & Vassilvitskii, Sergei. (2007). K-Means++: The Advantages of Careful Seeding. *Proc. of the Annu. ACM-SIAM Symp. on Discrete Algorithms*, 8, 1027-1035. <https://dx.doi.org/10.1145/1283383.1283494>.
- Banerjee, P. (2021). K-Means Clustering with Python. *Kaggle*, 2021. <https://www.kaggle.com/code/prashant111/k-means-clustering-with-python>.
- Bishop, Christopher. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. <https://dx.doi.org/10.1117/1.2819119>.
- Camelot. (s/f). Python library to extract tables from PDFs. <https://camelot-py.readthedocs.io/>.
- Jain, Anil. (2010). Data Clustering: 50 Years Beyond K-Means. *Pattern Recognition Letters*, 31, 651-666. <https://dx.doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.011>.
- Liu, Lingbo & Zhenghong, Peng & Wu, Hao & Hongzan, Jiao & Yu, Yang & Zhao, Jie. (2018). Fast Identification of Urban Sprawl Based on K-Means Clustering with Population Density and Local Spatial Entropy. *Sustainability*, 10, 2683. <https://dx.doi.org/10.3390/su10082683>.
- Peña Zamalloa, Gonzalo Rodolfo. (2021). CLASIFICACIÓN ESPACIAL DEL SUELO URBANO POR EL VALOR ESPECULATIVO DEL SUELO E IMÁGENES MSI SATELITALES USANDO K-MEANS, HUANCAYO, PERÚ. *Urbano (Concepción)*, 24(44), 70-83. <https://dx.doi.org/10.22320/07183607.2021.24.44.06>.
- Ramirez Martell, C. A., Cárdenas Chujandama, M. P., & Alegría Lazo, K. M. (2024). Uso de Suelo Urbano y la Conservación del Inmueble en el Barrio San Pedro En Chazuta. *Ciencia Latina*



Revista Científica Multidisciplinar, 8(5), 3421–3444.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i5.13829](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13829)

Müller, A. y Guido, S. (2016). *Introduction to Machine Learning with Python*. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media.

Secretaría de Desarrollo Urbano e Infraestructura [SEDUI]. (2022). Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Almoloya de Juárez 2022: Tabla de Usos del Suelo. <https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2022/sep082.pdf>.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (s/f). Cambios en el uso del suelo. *SEMARNAT*. [https://paot.org.mx/centro/informacion/semarnat/informe02/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/02\\_Vegetacion/2.2\\_Cambios/index.htm](https://paot.org.mx/centro/informacion/semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/02_Vegetacion/2.2_Cambios/index.htm).

Scikit-learn. (s/f). *Sklearn.metrics.confusion\_matrix*. [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.confusion\\_matrix.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.confusion_matrix.html).

Steurer, Miriam & Bayr, Caroline. (2020). Measuring urban sprawl using land use data. *Land Use Policy*, 97, 104799. <https://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104799>.

Zhou, Xiangbing & Gu, Jianggang & Shen, Shaopeng & Ma, Hongjiang & Miao, Fang & Zhang, Hua & Gong, Huaming. (2017). An Automatic K-Means Clustering Algorithm of GPS Data Combining a Novel Niche Genetic Algorithm with Noise and Density. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6, 392. <https://dx.doi.org/10.3390/ijgi6120392>.



**Evaluación de comportamiento de algoritmos de Clustering para la identificación de patrones de delincuencia**

**Behavioral evaluation of Clustering algorithms for identifying crime patterns**

**José Román Castro San Agustín<sup>1</sup>**

[jcastros248@alumno.uaemex.mx](mailto:jcastros248@alumno.uaemex.mx)

ORCID: 0000-0001-6383-6700

**Marco Alberto Mendoza Pérez**

[mamendozap@uaemex.mx](mailto:mamendozap@uaemex.mx)

ORCID: 0000-0003-4911-4757

**Doricela Gutiérrez Cruz**

[dgutierrezcr@uaemex.mx](mailto:dgutierrezcr@uaemex.mx)

ORCID: 0000-0003-2843-3273

**Cristina Juárez Landín**

[cjuarezl@uaemex.mx](mailto:cjuarezl@uaemex.mx)

ORCID: 0000-0002-0988-3060

---

<sup>1</sup> Autores del Doctorado en Ciencias de la Computación, Centro Universitario UAEM Valle de Chalco y Centro Universitario UAEM Nezahualcóyotl, Universidad Autónoma del Estado de México.



## Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar las zonas de alto riesgo en la Ciudad de México mediante la aplicación de técnicas de aprendizaje no supervisado, específicamente utilizando algoritmos de clustering. La investigación se centró en la categorización y agrupación de datos espaciales relacionados con incidentes delictivos, con el fin de identificar patrones útiles para mejorar la toma de decisiones en materia de seguridad pública. Para procesar y analizar los datos, se implementaron los algoritmos de clustering DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), K-means, clustering jerárquico y Mean Shift, seleccionados por su capacidad de manejar datos espaciales y revelar agrupamientos con características distintas. Los datos utilizados provinieron de fuentes oficiales del Gobierno de la Ciudad de México e incluyeron coordenadas geográficas de delitos registrados. Cada algoritmo fue evaluado con base en su desempeño para identificar zonas de concentración delictiva, considerando la cohesión de los grupos formados, su capacidad para manejar ruido y su utilidad en la visualización de patrones. Como resultado, se generaron mapas que agruparon las áreas de acuerdo a la densidad de los datos, permitiendo identificar zonas prioritarias que no eran evidentes en un análisis superficial. La aplicación de estos algoritmos permitió detectar patrones espaciales de delincuencia con mayor precisión y eficiencia, facilitando la segmentación del territorio en áreas de atención estratégica. Estos hallazgos pueden contribuir significativamente a la planeación y asignación de recursos para la prevención del delito en contextos urbanos.



**Palabras clave:** Aprendizaje no supervisado, Clustering, Datos espaciales, Seguridad pública, Zonas de alto riesgo.

### **Abstract**

This research aimed to evaluate high-risk areas in Mexico City through the application of unsupervised learning techniques, specifically using clustering algorithms. The study focused on the categorization and grouping of spatial data related to criminal incidents, with the objective of identifying patterns that could support decision-making in public security. To process and analyze the data, four clustering algorithms were implemented: DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), K-means, hierarchical clustering, and Mean Shift. These algorithms were selected based on their ability to handle spatial data and uncover groupings with distinct characteristics. The data used in this study were obtained from official sources provided by the Government of Mexico City and included geographic coordinates of recorded crimes. Each algorithm was evaluated based on its performance in identifying crime concentration zones, taking into account cluster cohesion, noise handling capacity, and effectiveness in pattern visualization. As a result, thematic maps were generated to classify areas according to their level of risk, enabling the identification of priority zones that were not evident through superficial analysis. The application of these algorithms enabled the detection of spatial crime patterns with greater accuracy and efficiency, facilitating the segmentation of urban territory into areas for strategic intervention. These findings can significantly contribute to planning and resource allocation for crime prevention in urban contexts.



**Keywords:** Unsupervised learning, Clustering, Spatial data, Public security, High-risk areas.

Fecha de envío: 20/05/2025

Fecha de aprobación: 18/07/2025

Fecha de publicación: 01/09/2025

## **Introducción**

La gestión del orden en las actividades urbanas plantea desafíos constantes tanto para las autoridades como para la sociedad. En este contexto, comprender los patrones delictivos e identificar áreas de alto riesgo se ha convertido en un aspecto clave para planificar estrategias preventivas orientadas a la seguridad pública.

En la Ciudad de México, la problemática de la criminalidad es importante a considerar. El boletín estadístico de la incidencia delictiva correspondiente a marzo de 2025 reportó un total de 18,552 carpetas de investigación por delitos del fuero común, destacando 1,134 casos de homicidios dolosos y culposos, 116 delitos contra la libertad personal y 3,151 delitos contra la familia, lo que incluye casos de violencia familiar. Las alcaldías de Cuauhtémoc, Iztapalapa y Gustavo A. Madero registraron la mayor concentración delictiva con 2,817, 2,445 y 1,764 delitos respectivamente, evidenciando zonas críticas que requieren atención prioritaria (Unidad de Estadística y Transparencia de la Ciudad de México, 2025).



Frente a esta situación, el análisis de datos espaciales se presenta como una herramienta para examinar la distribución y dinámica de los delitos en entornos urbanos. Particularmente, las técnicas de aprendizaje automático, y en especial el aprendizaje no supervisado, permiten explorar grandes volúmenes de datos sin necesidad de etiquetas predefinidas, identificando estructuras y patrones ocultos.

Entre estas técnicas, el clustering se ha consolidado como una estrategia eficaz para agrupar datos con características similares en conglomerados o clusters. Esta metodología ha demostrado su utilidad en áreas como la ciberseguridad, la biología molecular y la detección de fraudes, y tiene un enorme potencial en el análisis de seguridad urbana. Los algoritmos de clustering pueden clasificarse en varios tipos por partición, por densidad, jerárquicos, entre otros, cada uno con ventajas específicas según la naturaleza de los datos (Barreno, Bregón, y Martínez, 2021; Mohammad, 2023).

En este trabajo se aplicaron y evaluaron distintos algoritmos de clustering sobre datos georreferenciados de delitos ocurridos en la Ciudad de México, con el objetivo de identificar zonas de alto riesgo y detectar patrones espaciales de criminalidad que puedan orientar la toma de decisiones en materia de seguridad pública. Los algoritmos utilizados fueron K-means, DBSCAN, clustering jerárquico y Mean Shift, seleccionados por su capacidad de adaptación a diferentes estructuras espaciales.

A través de la implementación de estas técnicas, se buscó generar patrones geoespaciales que permitieran visualizar las zonas con mayor concentración delictiva, aportando una base analítica para la intervención estratégica y la asignación eficiente de recursos en políticas de prevención del delito.



## **Trabajos relacionados**

En la actualidad, el desarrollo de tecnologías basadas en algoritmos de clustering han tomado relevancia en distintos enfoques. En 2021, Vera desarrolló un algoritmo evolutivo para la perfilación geográfica criminal, combinando técnicas genéticas y evolutivas para predecir eventos delictivos basándose en patrones temporales y espaciales. En 2022, Carrasco y Moyotl usaron el método OPTICS para detectar "hot spots delictivos" en la Ciudad de México, identificando áreas de alta incidencia que no corresponden con divisiones territoriales comunes. En 2023, Fontalvo, Vega y Mejía aplicaron una red neuronal para clasificar y predecir delitos violentos en Colombia con un 97.7% de precisión, diferenciando regiones según su nivel de impacto delictivo.

Este artículo pretende evaluar y mostrar los patrones generados en las zonas donde se tienen registrados los delitos en la Ciudad de México mediante la aplicación de algoritmos de clustering. Este enfoque tecnológico propone una evolución significativa en los sistemas actuales de seguridad urbana, integrando soluciones avanzadas que potencian la gestión de datos y el análisis espacial para enfrentar los desafíos contemporáneos en materia de seguridad.

## **Método**

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y no experimental, con un diseño exploratorio-comparativo. El objetivo principal fue evaluar el comportamiento de



distintos algoritmos de clustering aplicados a datos geospaciales de incidentes delictivos, con el fin de identificar zonas de alto riesgo en la Ciudad de México.

Se obtuvieron bases de datos oficiales del Gobierno de la Ciudad de México que registran incidentes delictivos georreferenciados. Estos datos fueron estructurados para su correcto procesamiento, asegurando la calidad y consistencia de la información espacial. Este conjunto de datos contiene información detallada sobre cada incidente, incluyendo la ubicación geográfica (coordenadas de latitud y longitud), el tipo de delito (como robo, asalto o vandalismo), así como la fecha y hora en que ocurrió. Esta base contenía originalmente 239,685 registros georreferenciados, que abarcaban una amplia gama de tipos de delitos y distintos periodos temporales.

Con el objetivo de realizar un análisis más focalizado y reducir el sesgo generado por la heterogeneidad del conjunto de datos, se aplicaron una serie de filtros de depuración y selección. En primer lugar, se eliminó todo registro que no contara con coordenadas geográficas válidas (latitud y longitud), así como aquellos con información incompleta en campos clave como el tipo de delito o la fecha del incidente.

Posteriormente, se aplicó un filtro temático y temporal, restringiendo el análisis exclusivamente a los casos de “robo a transeúntes en vía pública” ocurridos en el mes de diciembre de 2022. La elección de este tipo específico de delito responde a su alta frecuencia y relevancia social, ya que impacta directamente en la percepción de inseguridad de la ciudadanía. Asimismo, el periodo de análisis fue acotado intencionalmente a un solo mes para facilitar la comparación entre algoritmos de clustering bajo condiciones homogéneas y para evitar distorsiones provocadas por la variabilidad temporal.



Luego de aplicar estos filtros, el conjunto final quedó compuesto por 862 registros, todos ellos con ubicación geográfica precisa, lo cual permitió realizar un análisis espacial robusto y enfocado. Esta reducción en el volumen de datos fue necesaria para garantizar una mayor consistencia en el análisis y una evaluación controlada de los algoritmos, sin perder representatividad del fenómeno delictivo elegido.

Se aplicaron cuatro algoritmos de agrupamiento no supervisado: K-means, DBSCAN, Mean Shift y clustering jerárquico. Cada uno fue ejecutado utilizando el mismo conjunto de datos georreferenciados con el fin de comparar su rendimiento y efectividad en la detección de patrones espaciales de criminalidad.

## **DBSCAN**

DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) es un algoritmo de clustering no paramétrico basado en densidades. Su objetivo principal es agrupar puntos de datos en regiones de alta densidad y marcar como *outliers* aquellos puntos que no se ajustan a ninguna de estas regiones densas (Sancho, 2023).

El algoritmo funciona utilizando dos parámetros clave que determinan la densidad mínima necesaria para formar un cluster:

- $\epsilon$  (épsilon): Define el radio de la vecindad que se examina alrededor de cada punto.
- MinPts: Establece el número mínimo de puntos que deben encontrarse dentro del radio  $\epsilon$  para considerar que se ha alcanzado una densidad suficiente para formar un cluster.



El algoritmo DBSCAN sigue estos pasos:

1. Para cada punto  $P$  en el conjunto de datos  $D$  que no ha sido visitado:
  - Se marca como visitado y se calcula su vecindad  $N$  dentro de un radio  $\epsilon$ .
  - Si el tamaño de  $N$  es menor que  $MinPts$ , el punto se clasifica como *outlier*.
  - Si el tamaño de  $N$  es mayor o igual a  $MinPts$ , se crea un cluster que incluye a  $P$  y los puntos dentro de  $N$ .
2. El proceso de expansión de clusters comienza desde el punto  $P$  y se repite para cada punto en la vecindad  $N$ . Si un punto dentro de esta vecindad tiene suficientes puntos vecinos (es decir, supera el umbral de densidad), su vecindad también se incorpora al cluster.
3. El proceso se repite hasta que todos los puntos hayan sido visitados y agrupados, o identificados como *outliers*.

El clustering ha sido utilizado ampliamente en la identificación de patrones de criminalidad debido a su capacidad para procesar grandes cantidades de datos y descubrir agrupaciones que no son inmediatamente visibles. Una de sus aplicaciones más comunes es la identificación de “hotspots” o puntos calientes, que son áreas con alta concentración de delitos. Estas detecciones permiten a las fuerzas de seguridad focalizar recursos y estrategias en áreas que realmente lo necesitan, mejorando la eficacia de la vigilancia y la prevención.

En este algoritmo los parámetros principales que afectan el resultado son  $eps$  y  $min\_samples$ . Se eligió un valor de  $eps = 0.01$  (aproximadamente 1.1 km en distancia



geográfica), considerando que este radio permitía captar agrupamientos con una proximidad espacial realista en un entorno urbano como la Ciudad de México. Este valor fue definido tras visualizar diferentes pruebas de densidad y observar que radios mayores unificaban zonas distintas, perdiendo precisión, mientras que radios menores generaban demasiados puntos considerados ruido. El valor de  $\text{min\_samples} = 10$  se estableció con base en una estimación práctica: se consideró que un mínimo de diez incidentes dentro de un mismo radio era un umbral suficientemente significativo para identificar una concentración delictiva relevante, sin fragmentar excesivamente los datos.

Esta configuración de parámetros permite que *DBSCAN* detecte clusters de formas arbitrarias y excluya puntos dispersos o ruido, lo que es útil para datos espaciales. Sin embargo, una elección inadecuada de  $\text{eps}$  puede llevar a resultados ineficaces, como detectar demasiados o muy pocos clusters dependiendo de la distribución y densidad de los datos.

## **K-Means**

K-means es un algoritmo de agrupamiento ampliamente utilizado que organiza los datos en un número predeterminado de grupos, representado por  $K$ . El objetivo principal es minimizar la variación dentro de los clusters, lo que se logra reduciendo la suma de los cuadrados de las distancias entre cada punto de datos y el centroide de su cluster correspondiente.

El algoritmo funciona iterativamente:

1. Se inicializan  $K$  centroides, ya sea de manera aleatoria o mediante alguna estrategia.



2. Cada punto de datos se asigna al cluster cuyo centroide está más cerca, según la distancia euclidiana.
3. Los centroides de los clusters se recalculan en función de los puntos asignados.
4. Este proceso se repite hasta que los centroides no cambien significativamente o se alcance un criterio de convergencia.

El valor óptimo de K, que permite una separación más clara de los datos, no está definido de antemano y depende de las características de los datos. Matemáticamente, el objetivo es minimizar la función de costo definida como (Sancho, 2023):

$$\sum_i \sum_j d(x_{ij}, c_i)^2 \quad \text{Ec. (1)}$$

En el algoritmo *K-means*, los parámetros clave son el número de clusters a generar, y los centroides que representan los puntos centrales de cada cluster. En este caso, se fijó el número de clusters en  $n\_clusters = 8$ , lo cual se basó en pruebas exploratorias apoyadas en el método del codo (elbow method), donde se observó una reducción marginal en la inercia a partir de ese punto. Este valor también permitió una comparación directa con los otros algoritmos evaluados, asegurando consistencia analítica. Aunque K-means requiere definir el número de grupos desde el inicio, este valor fue validado con visualización de los resultados y su correspondencia con zonas urbanas claramente diferenciadas.

Este algoritmo es sensible a la elección de los centroides iniciales, lo que puede llevar a resultados subóptimos si no se seleccionan adecuadamente. Sin embargo, su simplicidad y



eficiencia lo hacen ampliamente utilizado para tareas de clasificación y agrupación de datos geoespaciales.

### **Mean shift**

Mean Shift es un algoritmo iterativo de agrupamiento que tiene como objetivo identificar áreas densas de puntos de datos en un espacio multidimensional. A diferencia de otros algoritmos como K-Means, Mean Shift no requiere definir el número de clusters de antemano. Su enfoque principal es localizar los puntos centrales de cada cluster mediante el cálculo de centroides.

Este algoritmo se basa en el concepto de Kernel Density Estimation (KDE), que asume que los datos provienen de una distribución de probabilidad desconocida. Para estimar esta distribución, KDE utiliza funciones llamadas *kernels* que se colocan en cada punto para representar una ponderación en su vecindad. Mean Shift itera desplazando los centroides hacia las áreas de mayor densidad de puntos hasta que convergen, definiendo así los clusters en función de estas zonas densas (Sancho, 2023).

Este algoritmo es útil en aplicaciones donde los clusters tienen formas arbitrarias o no se conoce su número exacto. Los pasos que describen el algoritmo son los siguientes:

1. Inicialización: El proceso comienza con una ventana deslizante de forma circular, centrada en un punto aleatorio  $C$ , con un radio  $r$  que actúa como núcleo.



2. Desplazamiento iterativo: En cada iteración, la ventana se mueve hacia zonas de mayor densidad. Esto se logra ajustando el centro  $C$  hacia la media de los puntos contenidos dentro de la ventana, ya que la densidad es proporcional al número de puntos presentes en ella.
3. Actualización del centroide: Al actualizar el centro  $C$ , la ventana se desplaza gradualmente hacia regiones más densas, acercándose al punto de mayor concentración.
4. Convergencia: El movimiento continúa hasta que no sea posible encontrar una dirección que permita incluir más puntos en el núcleo. En este momento, la ventana se considera convergida.
5. Repetición para múltiples ventanas: Este procedimiento se repite para diferentes ventanas iniciales hasta que todos los puntos queden cubiertos. Si varias ventanas se solapan, se retiene aquella que incluye el mayor número de puntos.
6. Agrupamiento final: Una vez que todas las ventanas han alcanzado su convergencia, los puntos se asignan a un cluster según la ventana a la que pertenecen.

En el algoritmo Mean Shift, los parámetros clave son el *bandwidth* (ancho de banda) y la función de estimación de densidad que agrupa los puntos en torno a los modos de la distribución de los datos. El ancho de banda se estima automáticamente en base al parámetro *quantile*, el cual determina qué tan estrecha o amplia será la ventana de búsqueda de los clusters. Se utilizó un  $\text{quantile} = 0.02$  como parámetro de entrada para estimar el ancho de banda de la ventana de densidad. Este valor fue elegido tras observar que valores mayores agrupaban demasiado los datos y ocultaban zonas de riesgo localizadas, mientras que valores



menores producían una segmentación excesiva e interpretable solo a microescala. El valor 0.02 ofreció un equilibrio adecuado entre sensibilidad a concentraciones delictivas pequeñas y coherencia visual de los resultados sobre el mapa.

La variable quantile puede ajustarse para controlar la sensibilidad del algoritmo en la detección de clusters. A diferencia de otras técnicas de clustering que requieren especificar el número de grupos, Mean Shift encuentra el número óptimo de clusters en función de la densidad de los datos, agrupando puntos cercanos y detectando los centros automáticamente. Esto permite una mayor flexibilidad, especialmente cuando no se tiene un conocimiento previo sobre la cantidad de clusters presentes en el conjunto de datos.

### **Clustering Jerárquico**

El clustering jerárquico (hierarchical clustering) es un algoritmo de agrupamiento que organiza los datos en una estructura jerárquica basada en la distancia o similitud entre ellos. Su objetivo es maximizar la homogeneidad dentro de cada cluster. Este algoritmo presenta dos enfoques principales:

1. Aglomerativo (Bottom-Up): Cada dato comienza como un cluster independiente, y estos se van fusionando progresivamente en clusters más grandes según su similitud.
2. Divisivo (Top-Down): Se inicia con un único cluster que contiene todos los datos, y este se divide gradualmente en clusters más pequeños.



Ambos enfoques resultan útiles para identificar patrones y relaciones jerárquicas en los datos, facilitando su interpretación y análisis (Castillo, 2023).

Este tipo de agrupamiento es especialmente útil para explorar relaciones jerárquicas y estructurales en los datos, representadas frecuentemente mediante diagramas llamados dendrogramas (Vichi, Cavicchia y Groenen, 2022).

El algoritmo de Clustering Jerárquico, utiliza varios parámetros clave para agrupar datos en función de su similitud. En este estudio, se empleó el método aglomerativo (*Agglomerative Clustering*) con el criterio de enlace de *Ward*, que minimiza la varianza total dentro de los grupos al combinar clusters. En este caso, se utilizó el enfoque aglomerativo con el método de enlace de Ward (`linkage='ward'`) y se fijó `n_clusters = 8` para mantener la comparación directa con K-means y DBSCAN. El método de Ward fue seleccionado por su capacidad para formar clusters compactos y balanceados, lo cual se ajustaba a la distribución de los datos observados. Además, el análisis en el dendrograma permitió validar que ocho agrupaciones generaban una segmentación razonable sin pérdida importante de estructura jerárquica.

Se evaluó el comportamiento de cada algoritmo considerando criterios como la cohesión de los clusters, la capacidad de detección de zonas de alta densidad delictiva y la facilidad de interpretación de los resultados. También se consideró la sensibilidad de cada algoritmo a los parámetros y su eficiencia computacional.

Se generaron mapas temáticos que muestran la distribución de los clusters obtenidos por cada algoritmo. Estas visualizaciones permitieron identificar zonas de alto riesgo y patrones delictivos que no eran evidentes en una revisión superficial.



Se compararon los resultados obtenidos por los distintos algoritmos, discutiendo sus ventajas y limitaciones en el contexto de datos espaciales de seguridad pública. Se propusieron interpretaciones de los patrones identificados y su posible utilidad para la toma de decisiones en seguridad ciudadana.

Se integraron todos los hallazgos, gráficas, mapas y análisis en un documento formal de investigación, redactando el artículo académico con base en las actividades descritas y los resultados obtenidos.

Para observar el agrupamiento de los datos, se utilizó un equipo con procesador AMD Ryzen 7 5700U y 16 GB de RAM con el entorno de desarrollo Spyder (anaconda3) con el lenguaje de programación Python en su versión 3.9 junto con las librerías numpy, matplotlib y Scikit-learn para el clustering. Para la representación de los resultados, se utilizaron herramientas de visualización en Python, particularmente la biblioteca Folium, que permitió construir mapas interactivos. Se superpusieron los clusters generados sobre un mapa de la Ciudad de México, incorporando además una capa de división política por alcaldías, obtenida mediante un archivo GeoJSON oficial.

Con el fin de mejorar la legibilidad del mapa, se incorporaron:

- Una escala de coordenadas latitud y longitud con ticks y etiquetas, colocada en la esquina inferior izquierda.
- Líneas guía en forma de escuadra para facilitar la orientación espacial del usuario.
- Colores diferenciados para cada cluster y para los puntos de ruido (no agrupados).
- Etiquetas emergentes con información del cluster asignado.



Se incorporó una evaluación cuantitativa con el fin de comparar objetivamente el rendimiento de cada algoritmo. Para ello, se calcularon dos métricas estándar de validación interna:

- Coeficiente de Silhouette, el cual mide la cohesión y separación de los grupos generados. Esta métrica se basa en la comparación de la distancia media entre cada punto y los puntos de su mismo cluster con la distancia media entre dicho punto y los puntos del cluster más cercano. Su valor oscila entre -1 y 1, donde valores cercanos a 1 indican una mejor estructuración del agrupamiento (Liu, 2024).
- Índice de Davies-Bouldin (DBI), el cual evalúa la relación entre la dispersión intra cluster y la separación entre clusters. Un valor menor indica una mejor definición de los grupos, es decir, clusters más compactos y bien diferenciados entre sí (Fermín, 2024).

Estas métricas fueron aplicadas a los resultados obtenidos por cada algoritmo utilizando las etiquetas generadas en el proceso de agrupamiento. En el caso de DBSCAN, se identificaron múltiples puntos clasificados como ruido (etiquetados como -1). Para evaluar cuantitativamente la calidad de los clusters, se excluyeron estos puntos y se calcularon las métricas de validación interna solo con los datos asignados a clusters válidos. Este enfoque es adecuado, dado que las métricas como el coeficiente de Silhouette y el índice de Davies-Bouldin requieren al menos dos grupos bien definidos para proporcionar resultados significativos. La implementación se realizó con la biblioteca scikit-learn, específicamente mediante las funciones `silhouette_score` y `davies_bouldin_score`.



## Resultados

Se aplicaron los cuatro algoritmos de clustering a los 862 registros de delitos tipo “robo a transeúnte en vía pública” ocurridos en diciembre de 2022 en la Ciudad de México. A continuación, se presentan los resultados obtenidos por cada algoritmo.

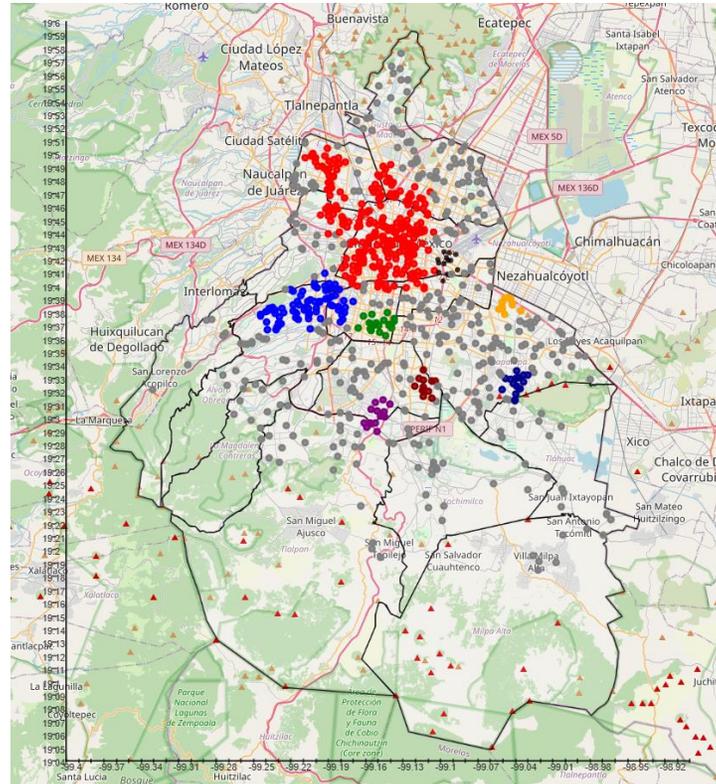
### DBSCAN

DBSCAN identificó un total de 8 clusters, excluyendo varios puntos clasificados como ruido por su baja densidad local. En la Figura 1 se observa la capacidad de este algoritmo para generar agrupamientos de forma arbitraria, lo que permitió detectar zonas de alta concentración delictiva sin forzar una geometría regular. Los clusters se concentraron especialmente en las alcaldías de Cuauhtémoc, Iztapalapa y Venustiano Carranza, coincidiendo con zonas urbanas de alta densidad y movilidad. Alcaldías donde hay mayor presencia de puntos.

- Cluster 1 (rojo): Azcapotzalco, Gustavo A madero, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza.
- Cluster 2 (azul): Álvaro Obregón y Benito Juárez.
- Cluster 3 (verde): Benito Juárez.
- Cluster 4 (negro): Venustiano Carranza.



- Cluster 5 (amarillo): Iztapalapa.
- Cluster 6 (azul oscuro): Iztapalapa.
- Cluster 7 (marrón): Coyoacán.
- Cluster 8 (violeta): Coyoacán.



*Figura 1. Aplicación del algoritmo DBSCAN para delitos registrados en Ciudad de México.*

## **K-means**

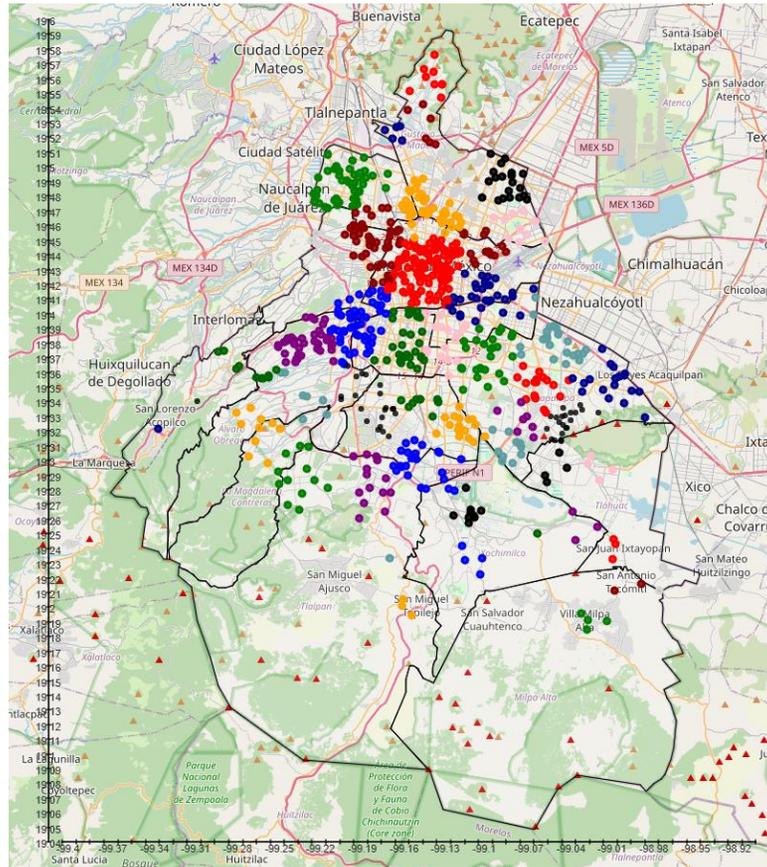
El algoritmo agrupó los datos en 8 clusters predefinidos, con formas más homogéneas, pero menos precisas en los bordes. Las zonas resultantes fueron más simétricas, pero menos sensibles a variaciones de densidad. Se observó concentración de delitos en áreas similares a



DBSCAN, aunque con mayor dispersión. El resultado del agrupamiento se observa en la Figura 2. Las alcaldías de donde hay mayor presencia de puntos se encuentran en los siguientes agrupamientos:

- Cluster 1 (amarillo): Gustavo A Madero.
- Cluster 2 (azul oscuro): Azcapotzalco y Miguel Hidalgo.
- Cluster 3 (azul): Cuauhtémoc, Iztacalco, Venustiano Carranza.
- Cluster 4 (violeta): Álvaro Obregón, Cuauhtémoc, Benito Juárez.
- Cluster 5 (marrón): Iztapalapa.
- Cluster 6 (verde): Coyoacán, Tlalpan, Xochimilco.
- Cluster 7 (negro): Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón, Magdalena de contreras y Tlalpan.
- Cluster 8 (rojo): Con pocos puntos distribuidos entre Tláhuac, Xochimilco, Milpa Alta.





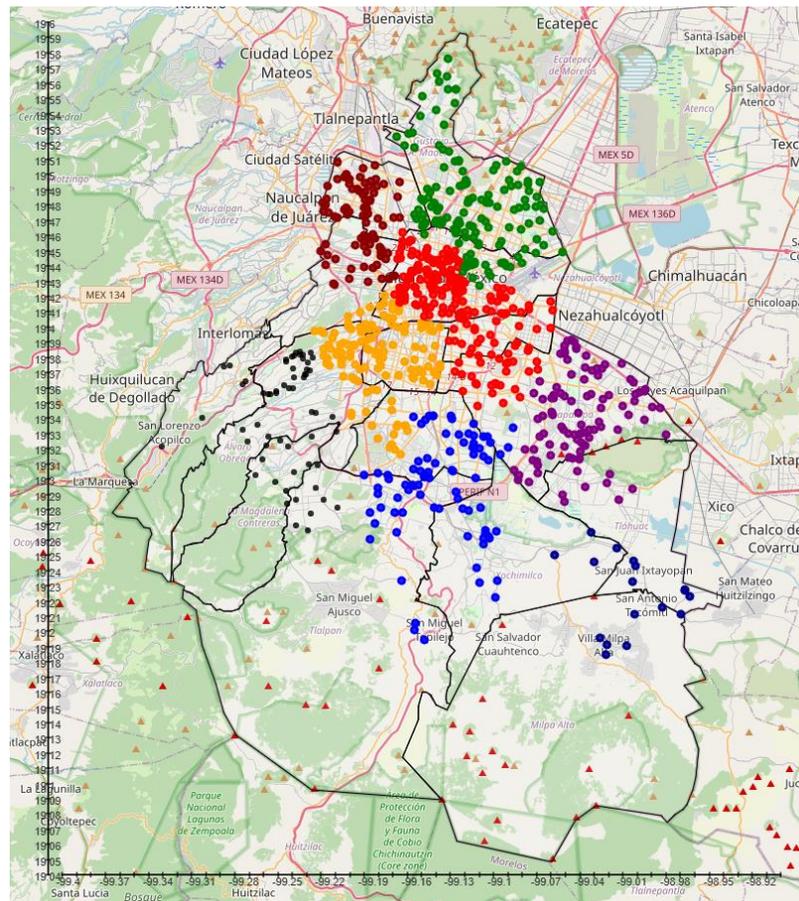
*Figura 3. Aplicación del algoritmo Mean shift para delitos registrados en Ciudad de México.*

### Clustering jerárquico

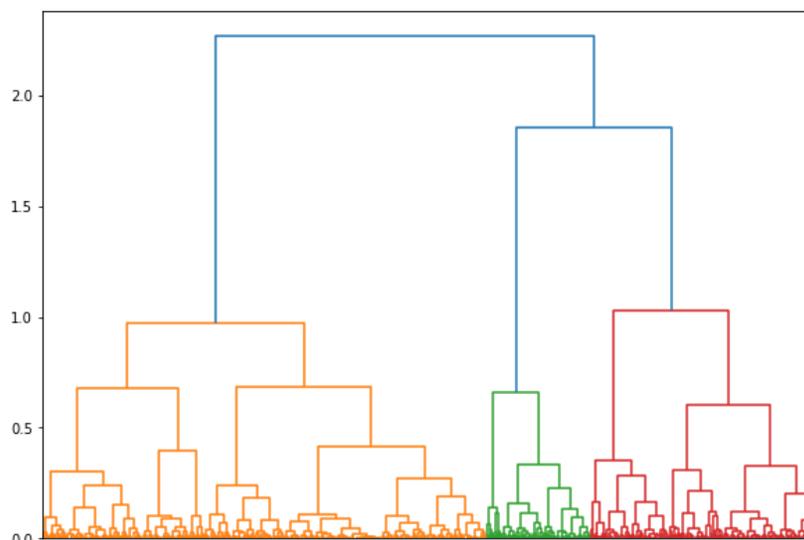
Se generaron 8 clusters utilizando el método de Ward, con resultados similares en forma a K-means, pero con mayor separación entre grupos (ver Figura 4). En la Figura 5 se puede observar el dendrograma con la relación jerárquica entre grupos, mostrando que algunos clusters estaban más estrechamente relacionados. La distribución de los cluster en las diferentes alcaldías es la siguiente:



- Cluster 1 (verde): Gustavo A Madero y Venustiano Carranza.
- Cluster 2 (marrón): Azcapotzalco y Miguel Hidalgo.
- Cluster 3 (rojo): Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Iztacalco e Iztapalapa.
- Cluster 4 (amarillo): Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Álvaro Obregón, Benito Juárez y Coyoacán.
- Cluster 5 (violeta): Iztapalapa y Tláhuac.
- Cluster 6 (azul): Coyoacán, Tlalpan y Xochimilco.
- Cluster 7 (negro): Álvaro Obregón, y con pocos puntos distribuidos entre Cuajimalpa de Morelos, La Magdalena Contreras y Tlalpan.
- Cluster 8 (azul oscuro): Con pocos puntos distribuidos entre Xochimilco Tláhuac y Milpa Alta.



*Figura 4. Aplicación del algoritmo clustering jerárquico aglomerativo para delitos registrados en Ciudad de México.*





*Figura 5. Dendrograma del algoritmo clustering jerárquico aglomerativo para delitos registrados en Ciudad de México.*

## **Discusión**

La aplicación de algoritmos de clustering en datos espaciales, como DBSCAN, K-means, Mean Shift y el Clustering Jerárquico, revela diferencias significativas en su comportamiento y resultados. Mientras que DBSCAN no agrupa todos los elementos debido a la dispersión de los datos y los parámetros establecidos, generando automáticamente un menor número de grupos y detectando valores atípicos con mayor facilidad (Wororomi, Allo y Paranoan, 2023), K-means requiere especificar el número de clusters y tiende a incluir todos los elementos en el proceso de agrupación, lo que puede resultar en agrupaciones más compactas y coherentes según ciertos índices de validación interna como el coeficiente de Silhouette (Tomašev y Radovanović, 2015; Wororomi et al., 2023). Por su parte, el Clustering Jerárquico permite visualizar la estructura jerárquica de los datos, proporcionando una representación más detallada de las relaciones entre clusters, aunque también requiere definir el número de grupos (Palacio-Niño y Berzal, 2019). En contraste, Mean Shift detecta automáticamente el número de clusters basándose en la densidad de los datos, lo que lo hace flexible para identificar agrupaciones sin requerir parámetros como el número de clusters. Estas diferencias indican cómo la selección del algoritmo y la interpretación de sus resultados pueden depender en gran medida de la naturaleza de los datos y de las métricas de evaluación utilizadas, especialmente en contextos geospaciales donde la densidad y la distribución de los puntos pueden influir notablemente en los agrupamientos obtenidos (Tomašev y Radovanović, 2015; Palacio-Niño y Berzal, 2019).



Para facilitar la comparación entre los algoritmos de clustering evaluados, se presenta en la Tabla 1 un resumen que incluye el número de clusters detectados, la capacidad de manejo de ruido, la forma característica de los clusters generados, así como el coste computacional aproximado observado durante la ejecución de los algoritmos.

Algoritmo	Nº de Clusters	Detección de Ruido	Forma de los Clusters	Comentarios principales	Tiempo de ejecución
DBSCAN	8	Sí	Irregulares	Alta precisión en zonas densas; sensible a eps	0.3 segundos
K-means	8 (predefinido)	No	Simétricas	Rápido y eficiente; requiere definir número de clusters	0.1 segundos
Mean Shift	12	No	Ajustadas por densidad	No requiere número de clusters; detecta zonas pequeñas, alto coste	1.2 segundos
Jerárquico	8	No	Compactas	Analiza relaciones entre grupos; útil visualmente (dendrograma)	0.7 segundos

*Tabla 1. Comparación entre algoritmos de clustering aplicados.*



En cuanto a la evaluación cuantitativa como se observa en la Tabla 2, el algoritmo K-means obtuvo el mayor coeficiente de Silhouette (0.399), lo cual sugiere que los puntos dentro de cada cluster están bien cohesionados y suficientemente separados de otros clusters. Sin embargo, también presentó un índice de Davies-Bouldin relativamente alto (0.781), indicando que algunos clusters podrían estar más próximos entre sí. DBSCAN registró un coeficiente de Silhouette de 0.338, menor que K-means, pero alcanzó el mejor índice Davies-Bouldin (0.466), lo que refleja una menor superposición entre los grupos y una mayor compacidad relativa. Mean Shift y el clustering jerárquico (Ward) presentaron resultados intermedios en ambas métricas, con coeficientes de Silhouette de 0.362 y 0.359 respectivamente, y valores de Davies-Bouldin de 0.691 y 0.819, lo que indica un desempeño moderado en cuanto a separación y coherencia interna. En general, los resultados muestran que DBSCAN destaca por la separación entre clusters (aunque hay que considerar que los cluster son mas pequeños y existen demasiados puntos con ruido), mientras que K-means ofrece la mejor cohesión interna, aunque a costa de cierta cercanía entre grupos.

Algoritmo	Coeficiente Silhouette	Índice Davies-Bouldin
DBSCAN	0.3377055406238473	0.46589080358552376
K-means	0.3991982835695953	0.780557053747801
Mean Shift	0.3622010360867173	0.69182274174502
Jerárquico	0.3594366915785989	0.8195417025032317

*Tabla 2. Métricas de evaluación cuantitativa para cada algoritmo de clustering.*



## Conclusiones

Los hallazgos de este estudio abren la posibilidad de desarrollos que mejoren la identificación de patrones de delincuencia mediante algoritmos de clustering, adaptando los procesos que utilizan a las características específicas de los datos. Es importante mencionar las limitaciones, como la sensibilidad de los resultados a los parámetros seleccionados y la calidad de los datos. El uso de algoritmos de clustering para la clasificación de información espacial representa un avance significativo en el análisis de datos relacionados con la delincuencia.

Como propuesta final, se plantea el desarrollo de un algoritmo híbrido de clustering, concebido como un meta-algoritmo adaptativo capaz de integrar las fortalezas de los enfoques analizados (ver Figura 6). La idea central es que este sistema evalúe las características estadísticas y espaciales del conjunto de datos (como densidad, dispersión o ruido), y con base en estos criterios, seleccione el algoritmo de clustering más adecuado (por ejemplo, DBSCAN para datos densos y con ruido, o K-means para estructuras más uniformes). Es posible combinar resultados parciales de varios algoritmos, generando una clasificación final más robusta. Este algoritmo se conceptualiza para su integración en sistemas de información geográfica (SIG), facilitando la segmentación de territorios urbanos de acuerdo con el nivel de riesgo detectado, con aplicaciones directas en la planificación de estrategias de seguridad pública.

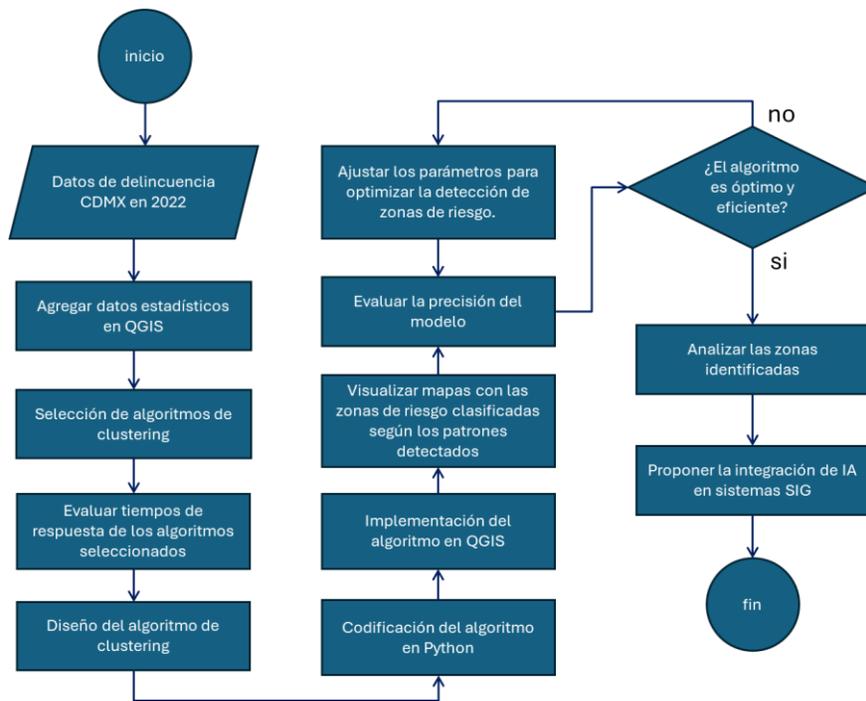


Figura 6. Diseño la elaboración de algoritmo propuesto.

En función de las métricas de validación interna aplicadas (coeficiente de Silhouette e índice de Davies-Bouldin), el algoritmo K-means obtuvo los mejores resultados comparativos, en el coeficiente de Silhouette y en el índice de Davies-Bouldin, lo que sugiere una buena separación entre clusters y una aceptable compacidad interna. Aunque DBSCAN mostró una mejor puntuación en el índice de Davies-Bouldin, su bajo valor de Silhouette refleja menor cohesión, posiblemente influido por la presencia de puntos clasificados como ruido. Mean Shift y Clustering Jerárquico presentaron resultados intermedios. Esta evaluación permite concluir que, aunque cada algoritmo tiene fortalezas particulares (como la capacidad de DBSCAN para excluir ruido o la adaptabilidad de Mean Shift), K-means ofrece el mejor rendimiento general bajo los criterios de validación empleados. Esta evidencia justifica su inclusión como componente clave dentro del diseño propuesto del



algoritmo híbrido, en combinación con otros métodos que complementen sus limitaciones estructurales.



## Referencias

- Amat, J. (2017). Clustering y heatmaps: aprendizaje no supervisado. Recuperado el 15 de octubre de 2023 de <https://goo.su/RvZGkMS>
- Carrasco, I., J. y Moyotl, H., E. (2022). Agrupamiento basado en densidad para la detección automática de hot spots delictivos en la CDMX. *Research in Computing Science*, 151(8). <https://doi.org/10.47741/17943108.123>
- Castillo, G. (2023). Aprendizaje no supervisado: ¿Qué es y cómo funciona?. Recuperado el 21 de septiembre de 2023 de <https://goo.su/BQzS>
- Barreno R., P., Bregón B., A., y Martínez P., M. (2021). *Estudio de técnicas de clustering y detección de anomalías aplicado a fresadoras CNC* [Trabajo de grado, Universidad de Valladolid]. Escuela de Ingeniería Informática de Segovia.
- Fermín G., R. F. (2024). *Revisión de métodos de clustering para datos funcionales* [Trabajo de fin de máster, Universidad de A Coruña]. Máster en Técnicas Estadísticas. [http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinMaster/Proyecto\\_2176.pdf](http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinMaster/Proyecto_2176.pdf)
- Fontalvo, H., T. J., Vega, H., M. A., y Mejía, Z., F. (2023). Método de clustering e inteligencia artificial para clasificar y proyectar delitos violentos en Colombia. *Revista Científica General José María Córdova*, 21(42), 551–572. <https://doi.org/10.21830/19006586.1117>
- González, L. (2020). Algoritmos de Agrupamiento. AprendeIA. Recuperado el 14 de mayo de 2024 de <https://aprendeia.com/algoritmos-de-clustering-agrupamiento-aprendizaje-no-supervisado/>



- Liu, G. (2024). *A new index for clustering evaluation based on density estimation*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2207.01294>
- Mohammad, N. (2023). A Computational Theory and Semi-Supervised Algorithm for Clustering. *arXiv, cs.LG*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.06974>
- Palacio-Niño, J.-O., y Berzal, F. (2019). *Evaluation metrics for unsupervised learning algorithms*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/1905.05667>
- Pedrero, V., Reynaldos-Grandón, K., Ureta-Achurra, J., y Cortez-Pinto, E. (2021). Generalidades del Machine Learning y su aplicación en la gestión sanitaria en Servicios de Urgencia. *Revista Médica de Chile*, 149(2), 248-254. <http://dx.doi.org/10.4067/s0034-98872021000200248>
- Ramírez, L. (2023). Algoritmo k-means: ¿Qué es y cómo funciona? IEBS. Recuperado el 13 de mayo de 2024 de <https://www.iebschool.com/blog/algoritmo-k-means-que-es-y-como-funciona-big-data/>
- Tomašev, N., & Radovanović, M. (2016). Clustering evaluation in high-dimensional data. In J. A. Lee & M. Verleysen (Eds.), *High-dimensional data analysis with low-dimensional models* (pp. 71–107). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24211-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24211-8_4)
- Unidad de Estadística y Transparencia de la Ciudad de México. (2025). *Boletín estadístico de la incidencia delictiva en la Ciudad de México del mes de marzo 2025*. Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México. Recuperado el 23 de abril de 2025 de <https://www.fgjcdmx.gob.mx/storage/app/media/Estadisticas%20Delictivas/2025/03-boletin-marzo-2025.pdf>



Vera, G. (2021). *Desarrollo de un algoritmo evolutivo para la perfilación geográfica criminal*. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma del Estado de México

Vichi, M., Cavicchia, C., y Groenen, P. J. F. (2022). Hierarchical Means Clustering. *Journal of Classification*, 39, 553–577. <https://doi.org/10.1007/s00357-022-09419-7>

Wororomi, J., Allo, C., y Paranoan, N. (2023). Performance of K-Means and DBSCAN algorithm in clustering gross regional domestic product. *Journal of International Conference Proceedings*, 6(5), 179–193. <https://doi.org/10.32535/jicp.v6i5.2710>



## Aplicación de realidad virtual para reforzar temas de programación y lógica virtual

### Reality application to reinforce programming and logic topics

**Cristhian Ivan Garcia Maldonado<sup>1</sup>**

[cgarciam021@alumno.uaemex.mx](mailto:cgarciam021@alumno.uaemex.mx)

ORCID: 0009-0000-8371-855X

**Yaroslaf Aarón Albarrán Fernández**

[yaalbarranf@uaemex.mx](mailto:yaalbarranf@uaemex.mx)

ORCID: 0000-0002-2615-4740

### Resumen

La realidad virtual se basa en una tecnología inmersiva la cual emula entornos apegados a la realidad por medio de una visión digital, esta interacción se da por una serie de dispositivos como lentes VR, guantes hápticos y una serie de transductores de movimiento. En la actualidad las aplicaciones de RV están en áreas como la educación, entretenimiento, trabajo, salud, exploración y en el metaverso, han generado experiencias como gráficas en 4k/8k, aplicaciones con integración de IA generativa y alta eficiencia en la conectividad. Es por eso que este trabajo tiene la finalidad

---

<sup>1</sup> Autores de la Ingeniería en Sistemas Inteligentes, Centro Universitario UAEM Nezahualcóyotl, Universidad Autónoma del Estado de México.



de integrar esta tecnología, pero una de las problemáticas encontradas es que todavía hay áreas inhóspitas que no han implementado este tipo de experiencias, esto nos lleva a diseñar un proyecto, donde usaremos una plataforma que nos permita combinar una experiencia inmersiva como Google Cardboard fácil y rápida de implementar, en donde se propone realizar una aplicación con realidad virtual acerca de un juego de preguntas generales de programación, conceptos y ejercicios de lógica para poner a prueba sus conocimientos de una manera divertida. El propósito de esta práctica es simular un examen o test en un entorno intuitivo donde por medio de un escenario relajante con objetos que sean extremadamente atractivos esto para mejorar la concentración a la hora de contestarlo y demostrar una diferencia entre los resultados sobre lo tradicional a lo innovador. Se utilizaron softwares como Blender que sirve para el modelado en 3D o 2D, iluminaciones y renderizado. De igual manera el uso de Unity que es un motor de desarrollo de videojuegos y de aplicaciones móviles el cual es más utilizado hoy en día y finalmente el manejo del lenguaje de programación C# para agregar líneas de código ofreciendo funcionalidades a la aplicación.

**Palabras claves:** Realidad virtual, C#, Cardboard, Unity, Programación, Lógica, Gaze.

### **Abstract**

Virtual reality is based on immersive technology that emulates realistic environments through digital vision. This interaction is achieved through a series of devices such as VR headsets, haptic gloves, and a series of motion transducers. Currently, VR applications are found in areas such as education, entertainment, work, healthcare, exploration, and the metaverse. They have generated



experiences such as 4k/8k graphics, applications with generative AI integration, and highly efficient connectivity. That is why this work aims to integrate this technology. However, one of the problems encountered is that there are still inhospitable areas that have not implemented this type of experience. This led us to design a project where we will use a platform that allows us to combine an immersive experience like Google Cardboard, which is easy and quick to implement. The project proposes creating a virtual reality application based on a game of general programming questions, concepts, and logic exercises to test your knowledge in a fun way. The purpose of this practice is to simulate an exam or test in an intuitive environment, using a relaxing setting with highly engaging objects to improve concentration while answering the test and demonstrate the difference between traditional and innovative results. Software such as Blender, which is used for 3D or 2D modeling, lighting, and rendering, was used. Unity, the most widely used development engine for video games and mobile applications, was also used today. Finally, the C# programming language was used to add lines of code that offer functionality to the application.

**Keywords:** Virtual Reality, C#, Cardboard, Unity, Programming, Logic, Gaze

Fecha de envío: 20/05/2025

Fecha de aprobación: 18/07/2025

Fecha de publicación: 01/09/2025



## Introducción

La realidad virtual ha impactado de manera favorable en el ámbito tecnológico, ya que era algo que solo se veía en las novelas de ciencia ficción como Isaac Asimov (yo, Robot) o Arthur C. Clark (2001, Una odisea espacial), esto nos hace ver que la realidad avanza hacia la ciencia ficción.

Al ofrecer experiencias sensoriales en entornos tridimensionales llamando la atención al público por su innovación, sin embargo, esta resulta ser una buena alternativa para fines educativos ya que nos ayuda a tener una mejor retención de la información.

Como señala Hu-Au y Lee (2018), esta herramienta nos ofrece una exploración e interacción para desplazarnos dentro de escenarios simulados, generando emociones que enriquecen la experiencia de usuario, “proporciona una forma novedosa de aprendizaje para los estudiantes que puede ser más atractiva e impactante que los métodos tradicionales” (p.112). Esto resulta ser más efectivo que los típicos métodos que conocemos hoy en día. Gracias a su fácil capacidad de inmersión, se ha convertido en una solución innovadora que mejora la formación y la creatividad en diversos campos para los desarrolladores principiantes. Donde se buscó una herramienta, de bajo costo y fácil de utilizar para cualquier persona sin necesidad de tomar alguna capacitación, Wang y Chan (2024) destaca que “Google Cardboard ofrece una experiencia VR accesible y motivador para los estudiantes, aunque presenta retos técnicos como la calidad de la pantalla o el mareo”.

Este mismo necesita de su particular configuración que nos brinda su página oficial y un visor de esta marca construido de cartón junto con un teléfono inteligente de gama media necesarios para la visualización, además, permite un despliegue rápido y un rendimiento



equilibrado por ende lo convierte en una alternativa ideal para proyectos escolares o para desafíos dependiendo de los requerimientos.

El presente artículo tiene como propósito desarrollar una prueba intuitiva utilizando Unity para que programadores de nivel intermedio de la carrera de ingeniería en sistemas inteligentes puedan reforzar sus conocimientos acerca de conceptos básicos y avanzados vistos durante toda su carrera. Se busca realizar una aplicación eficiente con compatibilidad para dispositivos convencionales preferiblemente Android para brindar una sensación diferente a la hora de realizar un examen teórico. Se presentará visualmente un espacio agradable con texturas, colores, objetos en 3D, luces, textos grandes, luces y además de elementos significativos de la prueba dentro de un escenario sin llamar la atención del jugador.

Con el objetivo de elevar la concentración y evaluación de los usuarios dentro de un entorno simulado de forma divertida y dinámica para que puedan participar en múltiples intentos para mejorar la retención de información, según estudios por parte de Roediger, H. L III, & Karpicke, J. D. (2006). Test-enhanced learning: Taking memory tests improves long-term retention. *Psychological Science*, 17(3), 249-255. Para su desarrollo, se realizó una investigación sobre los requerimientos básicos para la instalación de los programas a usar. Por lo tanto, se utilizó el lenguaje de C# por defecto para la implementación de funciones interactivas, eventos que aporten realismo y funcionalidad a la aplicación.

Asimismo, se usó conceptos vistos en clase, como librerías, variables, algoritmos, estructuras de control, clases, objetos y funciones, brindando una base sólida en programación orientada a objetos. Durante la construcción, el lector será capaz de ver lo fácil que es implementar una aplicación en menos de 2 horas, aplicando conocimientos prácticos en un entorno accesible de código abierto, utilizando recursos gratuitos de assets gracias a su gran comunidad. Finalmente,



esto permitirá reforzar temas esenciales acerca de la programación y sus ramas hasta poder dominar los conceptos por completo así mismo creando confianza a los participantes para desenvolverse en entrevistas de trabajo o pruebas técnicas para aplicar en los siguientes roles de Programadores como Junnior y un Mid-Level. Esto impulsara una idea más clara sobre el perfil que requiere un programador en el ámbito de la realidad virtual.

### **Antecedentes**

En 1980, la valoración de habilidades de programación era de pruebas escritas en lenguajes como Fortran o COBOL, posteriormente surgieron nuevas plataformas de tipo estáticas para mejorar las habilidades por medio de retos o desafíos ayudando a desarrolladores y programadores en la actualidad.

La realidad virtual es una herramienta realmente útil en nuestras vidas. Ya que nos brinda sumergirnos en mundos virtuales interactivos con visores comerciales. Actualmente desarrollar una app con RV te garantiza nuevas oportunidades laborales partiendo de resolver tareas básicas a lo más complejo, sin embargo, la proyección o el alcance para proyectos con realidad virtual ha sido orientada en el área de salud. El mercado de RV educativa está dominado por medicina (35%) y ciencias naturales (30%), con solo un 7% en programación". Informe de Marlet Research Future (2023). Esto inicia una oportunidad para desarrollar entornos inmersivos que fortalezcan habilidades en informática o ciencias de la computación.

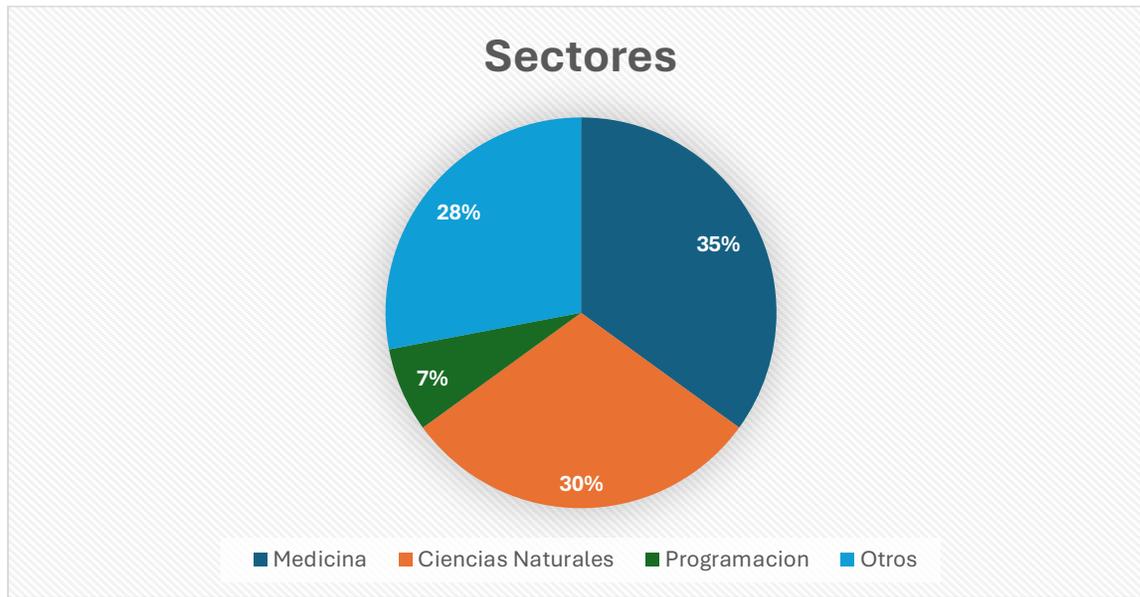


Figura 1. Grafica pastel del uso de la VR

## Materiales y métodos

Se desarrollaron múltiples prototipos utilizando los siguientes elementos de software: Unity 2021.3.45 LTS, un motor de desarrollo de juegos en 3D, y C# para codificar funciones interactivas. Se utilizaron pasos oficiales sobre el uso del SDK, y se empleó Blender para generar modelos tridimensionales. En cuanto al hardware, simplemente se utilizó un conjunto de VR genéricos y una computadora de marca HP con las siguientes especificaciones que son un procesador Intel i3-1005G y 16G de RAM. Tenía gráficos integrados, pero se recomienda una tarjeta gráfica y considerar 8+ GB de RAM para una ejecución fluida del programa. Se realizó una sesión de práctica con una clase de ingeniería de sistemas inteligentes de semestres intermedios de entre estudiantes de 21 y 24 años. Luego se pidió a los participantes que completaran un cuestionario para evaluar su familiaridad con la herramienta antes de avanzar al primer ensayo en su intento de

mejorar sus habilidades básicas de programación y aspectos esenciales de Unity. El objetivo era utilizar un entorno virtual para enseñar conceptos, algoritmos y lógica de programación en un juego entretenido. Se descargó un entorno de desarrollo de la tienda oficial, gratuito y listo para ser importado al proyecto, con objetos, texturas, colores, sonidos dentro de una escena principal; sería la escena más usada a través del código. Los participantes utilizaron el manual de Unity para poder implementar la tarea. El visor Google Cardboard permite emular la realidad con un dispositivo inteligente para experimentar de un mundo virtual intuitivo, estos cascos generalmente son fáciles de usar para cualquier persona y accesibles para cada uno de nuestros bolsillos sin arriesgar nuestro presupuesto.



Figura 2. Visor de Google Cardboard.



Figura 3. Uso de la aplicación.

Se sugiere usar la versión más actual, junto con los siguientes módulos listados para descargar:

- Microsoft Visual Studio Community 2022



- Soporte de compilación para Android
- OpenJDK
- Herramientas de Android SDK y NDK
- Soporte de compilación WebGL
- Text Mesh Pro

Se empezó de cero al crear un nuevo proyecto generado a partir de una carpeta vacía con un nombre de aplicación en mi caso, test vr (con un renderizado construido). En la ventana del administrador de paquetes se abrió dentro de la interfaz de Unity y fue posible descargar el repositorio Hello Cardboard. Esto es muy versátil a lo hora de importar ya que tiene múltiples opciones, la más conocida es por GitHub. Los archivos principales que son la jerarquía del proyecto y las carpetas están separados por secciones como: Plugin (donde están los archivos de configuración), Samples (son compuesto por materiales y objetos), Scripts (donde se encuentran los códigos en C#) y XR Scenes (que es, por el momento, la escena principal predeterminada). El proyecto será para Android al configurar la plataforma de destino en configuración de construcción lo que puede tardar uno o dos minutos mientras se vuelven a importar todos los archivos que necesita para ejecutar.

He modificado la configuración de realidad virtual en el apartado del jugador, todas las demás configuraciones son predeterminadas. La orientación predeterminada se estableció en horizontal izquierda como es usual en VR y la tasa de fotogramas se aumentó para una mejor capacidad de respuesta. Las otras configuraciones fueron OpenGL ES3 para la API Gráfica, el nivel de API de Android se estableció en 34, IL2CPP fue el backend de scripting esto proporciona un mejor rendimiento, se activó una arquitectura que soportaba tanto ARM32 como ARM64. Los

archivos en Plugin son utilizados por Cardboard, y en la configuración del player, se habilito la plantilla gradle principal personalizada y la plantilla de propiedades gradle personalizada para agregar dependencias de SDK en la configuración, en la cuales unicamente se tenía que agregar unas líneas de código manualmente y guardar los cambios en cada uno.



Figura 4. Secuencia para desarrollar el proyecto

Se analizaron varios puntos antes de empezar a la construcción las cuales son cruciales para el desarrollo, por lo que se tuvo que plantear objetos que serán representados, como datos de entradas, salidas y funciones a ocupar. Teniendo una idea clara se empezó a realizar mockups en el diseño para una mejorar la experiencia de usuario a la hora de visualizarlo. Finalmente tocaba agregar funcionalidades a cada objeto para indicarle que acción hará y el objetivo de esa tarea. Se programo la siguiente lógica, tener una lista de preguntas y que tengan unicamente un texto string y una respuesta con valores de verdadero o falso, una función aleatoria para que, dependiendo del número de preguntas, elija las que yo quisiera por ejemplo 15. También una tarea que a la hora de contestar con la mirada donde tendrá un gaze este guarde el resultado y que tenga un contador asignado con un valor de cero para que sume uno cada vez que se cumpla correctamente, para el final se colocó un panel que dentro del muestre cuantas tuvimos bien en la prueba.

Se uso el script de “inicio” que inicia desde cero y se configuro el sistema predeterminado una vista de cámara en tercera persona para ayudar a navegar por el sistema como si estuvieras en



la realidad. Después de agregar todo, el dispositivo Android se conectaría al visor para emular VR. Una vez construido, el proyecto se guardó como un archivo APK y se colocó en un directorio con el nombre de la aplicación. Se verificó que la aplicación cumpliera con los requisitos deseados y que los scripts funcionaran al realizar la “test vr”. Al probar, la aplicación se instaló en un dispositivo compatible con Android para disfrutar de manera satisfactoria y sin errores de compilación esta experiencia de inmersión.

## **Resultados**

Se observó que, al ejecutar la aplicación test de programación, la mayoría de los estudiantes logró contestar correctamente 20 preguntas aleatorias en un tiempo promedio de 10 a 12 minutos. Esto sugiere un nivel aceptable de conocimiento general para estudiantes de semestres intermedios que han trabajado en distintos momentos a lo largo de su carrera, por lo cual se buscó abarcar un poco de todo para cubrir mayor parte de conocimientos de diferentes materias.

Las preguntas abordaban temas importantes como conceptos básicos, paradigmas de programación, estructuras de datos, bases de datos, comandos de Linux, sentencias y ejercicios de lógica. La estructura de las preguntas fue de tipo verdadero o falso, ya que este formato es más sencillo de implementar dentro de listas o arreglos en el código, mediante variables tipo string y un valor booleano que indica la respuesta correcta. Durante el proceso de despliegue, que fue largo debido a la necesidad de verificar y compilar línea por línea, internamente se verifica detenidamente las librerías, elementos 3D y módulos esenciales. Al final, se generó un archivo APK que fue guardado en el equipo de cómputo para su posterior prueba de renderizado y



rendimiento. Se realizaron ajustes en la ventana de Player Settings para desactivar procesos innecesarios que afectaban negativamente el rendimiento del prototipo.

En cuanto a la compatibilidad, no se presentaron fallos graves, aunque se recomienda el uso en dispositivos Android de gama media como mínimo, ya que en dispositivos de baja gama la aplicación puede tardar en iniciarse o tener mayor latencia. La interfaz resultó ser atractiva para los usuarios al estar en un entorno de realidad virtual, ofreciendo un 100% de experiencia de inmersión.

Los visores utilizados se adquirieron por internet y funcionaron correctamente en las pruebas físicas. Aunque están fabricados en cartón duro, ofrecieron una buena experiencia y demostraron ser resistentes por su calidad-precio. Su tamaño compacto también facilita su transporte por lo ligero que son. Algunos participantes que no obtuvieron inicialmente los resultados esperados mostraron una mejor retención de conceptos después de jugar la aplicación varias veces (hasta 10 intentos).

Este tipo de repetición fue beneficiosa, ya que permitió reforzar contenidos previamente vistos, lo cual era uno de los objetivos del artículo. Finalmente, no se presentó ninguna irregularidad con la configuración de realidad virtual, ya que se siguió correctamente la documentación oficial de Google Cardboard.

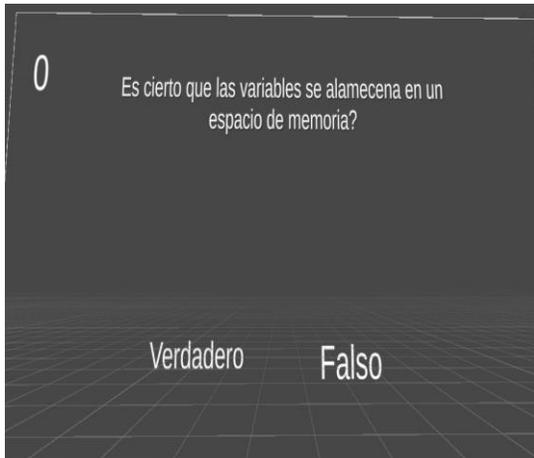


Figura 5. Panel de preguntas T-Mesh



Figura 6. Vista del Playmode en Unity

## Discusión

La información nos indica que la realidad virtual es conocida, sin embargo, no la plataforma de Google Cardboard que podrían ser por razones de falta de información o construcción de materiales reciclados y con poca interacción comparando a sus competidores que son más sofisticados y por ende más costosos para su adquisición. Esto nos da una idea de donde partir para que las personas descubran y se desenvuelvan en esta herramienta aplicando sus conocimientos vistos en la escuela relacionados a la programación, especialmente en algoritmos y estructuras de datos. Se considera que la inmersión es gratamente positiva para el aprendizaje porque mejora la retención del conocimiento mucho más que leer o repasar incluso en un mundo inmersivo por que produce sensaciones sensoriales logrando mejorar el razonamiento del participante.

Una limitación crucial fue a la hora de elegir OPENGL y VULKAN ya que en unos casos puede causar problemas más adelante ya que no comparten mismos requisitos, aunque los dos son funcionales. También el equipo de cómputo que vayas a utilizar es importante ver los requisitos



mínimos para ejecutar los programas ya que unos ocupan distintos recursos o demasiado espacio en tu disco duro de tu equipo de cómputo. Por último, debes asegurarte de que hayas descargado los módulos necesarios ya que es muy común que los principiantes tengan problemas en la compilación a la hora de configurar el SDK por tenerlo desactualizado.

Existen alternativas como Unreal Engine, una plataforma enfocada en el desarrollo de proyectos con alta calidad gráfica y un nivel de realismo alto. Sin embargo, esta potencia visual requiere mayores recursos de hardware, siendo más adecuada para consolas y computadoras de alta gama. Es por eso por lo que, Unity se caracteriza por contar con una interfaz más amigable para el usuario, lo que facilita el desarrollo rápido, especialmente para quienes están iniciando recientemente en esta rama. Además, de que ofrece un buen rendimiento y es ampliamente utilizado hoy en día para la creación de videojuegos para dispositivos móviles y para experiencias de realidad virtual (RV)

## **Conclusiones**

En este trabajo, utilizamos la realidad virtual para crear una prueba simple y rápida sobre conceptos de programación abarcando diferentes ramas importantes dirigida a la carrera de sistemas, que se pueden aplicarse de ayuda de una aplicación intuitiva y construida desde cero en menos de dos horas con mecánicas de juego como por ejemplo la mirada conocida por el nombre de Gaze. En comparación con otras tecnologías como Godot o Unreal, se sugiere usar Unity para desarrolladores principiantes que quieren imitar la realidad o crear videojuegos ya fáciles de aprender, para proponer funciones que se pueden resolver tareas en diversas áreas. Hay muchas herramientas que explorar e investigar en este gran camino para sobresalir en este mercado. Para



su despliegue era importante la simplicidad a la hora de asignar fácilmente funciones a objetos 3D como capsulas, esferas, cubos y vacíos a lo largo del código, así como entrelazar esto componentes de enseñanza sobre el lenguaje de programación C#. También se incluyó la instalación de algunos programas para llevar los proyectos al siguiente nivel gráficamente como: Blender que es uno de los más usados en la actualidad u optar por descargar elementos ya creados de su tienda oficial en la puedes encontrar lo que necesites de manera gratuita, esto ahorra tiempo de desarrollo para darle más prioridad a otras cosas.

La intención del artículo es cambiar ligeramente la forma tradicional de ver la típica interfaz de usuario cuadrada, por una de interacción a través de actividades físicas y sensoriales en recorridos virtuales o 3D. El objetivo es ofrecer una respuesta atractiva al usuario final con la experiencia de estar en un modo de inmersión. Esta aplicación ayuda a las generaciones más jóvenes a tomar autoconfianza en aspectos de desarrollo como escenarios, herramientas auxiliares, elementos e interacciones sin abusar, sino empleando realmente lo necesario.

Con esto podemos aplicar en una amplia gama de industrias como la como la medicina, como ayuda de terapias y rehabilitaciones; en la educación, donde nos permite aprender de manera más dinámica y finalmente en el entretenimiento, donde nos sumerge en videojuegos emocionantes. La configuración adecuada del SDK demostró ser efectiva al reducir errores de compilación al crear tu primera apk segura para tu propio ordenador para descargarlo de manera exitosa y ponerlo a prueba con un celular inteligente para al final disfrutar de la experiencia.

En resumen, se obtuvo un resultado favorable y amigable con la interfaz a la hora del uso por el usuario con la aplicación. Las pruebas internamente del proyecto fueron buenas obteniendo un bajo consumo de recursos y un peso ligero a la hora de descargar en un dispositivo Android de gama media. Se busco la aprobación y valoración de los usuarios reales para recaudar información



y contar con precedentes para tomar en cuenta las posibles mejoras del proyecto con el propósito de generar interés a todo tipo de personas que quisieran reforzar temas de una manera diferente en la que estamos acostumbrados a practicar inclinándonos por una experiencia atractiva y memorable con la realidad virtual. Se cumplió el objetivo planteado a la hora de trabajar con personas reales por un método de varias repeticiones para fomentar una mayor retención de información que es excepcional a largo plazo.



## Referencias

Mosca, G., & Tipler, P. A. (2005). Física 2C: Para la ciencia y la tecnología. Física moderna. Reverté.

Gutiérrez Sánchez, M. de J. (2019). La Gamificación en Los Ambientes De Realidad Virtual Móvil. Pistas Educativas, (133).

Serrano, B. (2012). Realidad Virtual y Virtualidad Aumentada. Eae Editorial Academia española.

Google Developers. (s.f). Guía de inicio rápido para Unity. <https://developers.google.com/cardboard/develop/unity/quickstart?hl=es-419>

Martos, J. (2022). Crea tu primera App de Realidad Virtual (VR) para Cardboard [Curso en línea]. Udemy. <https://www.udemy.com/course/crea-tu-primera-app-de-realidad-virtual-vr-para-cardboard/>

Google. (2024, octubre 9). *Quickstart for Google VR SDK for Android*. <https://developers.google.com/vr/develop/android/get-started>

Microsoft. (s. f.). Documentación de C#. <https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet/csharp/>

Hu-Au, E., & Lee, J. J. (2018). Virtual reality in education: A tool for learning in the experience age. *International Journal of Innovation in Education*, 5(2), 111–126. <https://doi.org/10.1504/IJIE.2018.10013664>

Wang, Z., & Chan, M.-T. (2024). A systematic review of Google Cardboard used in education. *Computers & Education: X Reality*, 4, 100046. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100046>



Roediger, H. L., III, & Karpicke, J. D. (2006). *Test-enhanced learning: Taking memory tests improves long-term retention*. *Psychological Science*, *17*(3), 249–255.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01693.x>



**Poscapitalismo y teoría decolonial en diálogo desde la complejidad**

**Post-capitalism and decolonial theory in dialogue from complexity**

**Fluvio Ugo Guerra Lemus<sup>1</sup>**

[fluvioguerra23@rcastellanos.cdmx.gob.mx](mailto:fluvioguerra23@rcastellanos.cdmx.gob.mx)

ORCID: 0009-0004-1234-7113

**Resumen**

El objetivo del presente artículo aborda el diálogo entre el poscapitalismo y la teoría decolonial desde un enfoque de complejidad, donde se contextualiza histórica y filosóficamente la crisis del capitalismo y el surgimiento de alternativas, analizando el poscapitalismo como propuesta superadora del modelo económico hegemónico. Posteriormente, examina la teoría decolonial, cuestionando los legados coloniales en el conocimiento y el poder, integrando ambas perspectivas, destacando su interacción compleja para imaginar futuros emancipadores. Citando fuentes teóricas clave que sustentan el análisis, en donde el estudio sugiere que este diálogo es crucial para repensar sistemas más justos y plurales.

---

<sup>1</sup> Licenciado en Economía y Licenciado en Derecho por la Universidad del Valle de México; Maestro en Derecho Laboral por el Centro de Estudios Superiores en Ciencias Jurídicas y Criminológicas; Doctor en Administración y Políticas Públicas por el Centro de Estudios Superiores en Ciencias Jurídicas y Criminológicas; y estudiante en el Doctorado en Investigación Social desde la Complejidad en la Universidad Nacional Rosario Castellanos.



**Palabras clave:** Poscapitalismo, teoría decolonial, complejidad, emancipación, diálogo crítico.

### **Abstract**

The present article addresses the dialogue between postcapitalism and decolonial theory from a complex perspective, historically and philosophically contextualizing the crisis of capitalism and the emergence of alternatives, analyzing postcapitalism as a proposal to overcome the hegemonic economic model. It then examines decolonial theory, questioning colonial legacies in knowledge and power, integrating both perspectives, highlighting their complex interaction to imagine emancipatory futures. Citing key theoretical sources that support the analysis, the study suggests that this dialogue is crucial for rethinking more just and plural systems.

**Keywords:** Postcapitalism, Decolonial Theory, Complexity, Emancipation, Critical Dialogue

Fecha de envío: 20/05/2025

Fecha de aprobación: 23/08/2025

Fecha de publicación: 01/09/2025



## **Introducción**

El capitalismo, como sistema económico, político, cultural y social hegemónico, ha evolucionado a lo largo de los siglos, generando diversas corrientes filosóficas y políticas que buscan reformarlo, criticarlo o radicalizarlo. Entre estas posturas destacan el neoliberalismo, como una reconfiguración del capitalismo en el siglo XX, y el aceleracionismo, una corriente contemporánea que propone intensificar las contradicciones del sistema para superarlo.

Por ejemplo, el neoliberalismo, según Harvey (2007), se consolidó como una reconfiguración del capitalismo en el siglo XX, promoviendo la desregulación y la expansión del mercado global. Por otro lado, el aceleracionismo, como señalan Srnicek y Williams (2015), plantea que la única forma de trascender el capitalismo es acelerar sus contradicciones internas hasta alcanzar un colapso sistémico que permita su reemplazo. Estas posturas reflejan la complejidad de las respuestas teóricas y políticas ante las crisis del capitalismo, evidenciando la necesidad de un análisis crítico continuo para imaginar alternativas poscapitalistas.

Este ensayo explora el desarrollo histórico y filosófico de las diversas vertientes, en la búsqueda de una reconfiguración sistémica después del capitalismo en el marco de la complejidad desde la visión decolonial de los grupos periféricos.

### **Capitalismo: Origen y desarrollo histórico**

El capitalismo surge con la transición del feudalismo a la modernidad, consolidándose entre los siglos XVI y XVIII con la expansión del comercio, la acumulación primitiva de capital (Marx,



1867) y la Revolución Industrial. Adam Smith, en *La riqueza de las naciones* (1776), sentó las bases teóricas al defender el libre mercado y la “mano invisible”. Sin embargo, Karl Marx (*El capital*, 1867) criticó su estructura explotadora, señalando que se sustenta en la extracción de plusvalía y la alienación del trabajador.

En el siglo XX, el capitalismo enfrentó graves crisis como la Gran Depresión (1929), lo que llevó a la adopción de políticas keynesianas de intervención estatal derivando en el Estado de Bienestar. No obstante, hacia la década de 1970, el modelo keynesiano entró en crisis, como cíclicamente pasa en las entrañas del capitalismo abriendo paso al neoliberalismo.

El capitalismo, desde su génesis en la transición del feudalismo a la modernidad, ha demostrado una capacidad de reinención frente a sus crisis estructurales. Según Polanyi (1944), el sistema capitalista se ha caracterizado por ciclos de desregulación y posterior intervención estatal, como se evidenció con el colapso del *laissez-faire* en la Gran Depresión y el posterior auge keynesiano. Sin embargo, como señala Harvey (2007), la crisis del Estado de Bienestar en los años setenta no fue un fracaso del capitalismo, sino una reconfiguración hacia el neoliberalismo, donde el capital financiero y la globalización redefinieron las relaciones de poder.

Esta constante adaptación, lejos de resolver sus contradicciones —como la desigualdad y la precarización laboral (Piketty, 2013)—, las ha intensificado, demostrando que el capitalismo no desaparece, sino que muta, generando nuevas formas de explotación y resistencia.

### **Neoliberalismo: La reconfiguración del capitalismo**

El neoliberalismo emergió como respuesta al keynesianismo, promoviendo la desregulación, la privatización y el libre mercado. Autores como Friedrich Hayek (*Camino de servidumbre*, 1944)



y Milton Friedman (*Capitalismo y libertad*, 1962) argumentaron que el Estado debía limitarse a garantizar las condiciones para el mercado. La implementación práctica del neoliberalismo se dio con Reagan y Thatcher en los años 80 del siglo pasado, bajo políticas de ajuste estructural y globalización financiera (Harvey, *Breve historia del neoliberalismo*, 2007), consolidándose con el Consenso de Washington con la receta estructural de este modelo.

Filosóficamente, el neoliberalismo extendió la lógica mercantil a todas las esferas de la vida (Foucault, *Nacimiento de la biopolítica*, 1979), criticándose por aumentar la desigualdad (Piketty, *El capital en el siglo XXI*, 2013). Su hegemonía persistió hasta la crisis de 2008, que reactivó debates sobre sus límites y sus propias contradicciones.

### **Aceleracionismo: ¿Superar o radicalizar el capitalismo?**

El aceleracionismo es una corriente filosófica que propone que, en lugar de resistir al capitalismo, debe acelerarse su desarrollo tecnológico y económico para generar una crisis que permita su superación. Sus raíces se remontan a Marx (“El progreso tecnológico bajo el capitalismo contiene las semillas de su propia destrucción”) y a teóricos como Deleuze y Guattari (*Mil mesetas*, 1980), quienes analizaron las fuerzas desterritorializantes del capital.

En el siglo XXI, pensadores como Nick Srnicek y Alex Williams (*Inventar el futuro*, 2015) retomaron estas ideas, argumentando que la izquierda política debe apropiarse de la tecnología para construir un postcapitalismo. Sin embargo, críticos como Fisher (*Realismo capitalista*, 2009) advierten que el aceleracionismo puede caer en un fetichismo tecnocrático sin cuestionar las estructuras de poder.



El capitalismo ha demostrado una capacidad de adaptación que el neoliberalismo exacerbó, mientras que el aceleracionismo plantea una salida paradójica: usar las herramientas del sistema para trascenderlo. Estas corrientes reflejan tensiones filosóficas entre reforma, crítica y revolución, en un contexto de crisis ecológica y digitalización global. Su estudio sigue siendo crucial para entender las alternativas económicas del siglo XXI.

### **Análisis del poscapitalismo.**

El poscapitalismo emerge como una propuesta teórica y práctica que busca superar las contradicciones del capitalismo, especialmente en el contexto de la transformación digital. A partir de las críticas al neoliberalismo y las reflexiones del aceleracionismo, esta corriente plantea que las nuevas tecnologías y modelos económicos podrían sentar las bases para un sistema postrabajo y postmercado.

Este análisis examina las posibilidades del poscapitalismo en la era digital, considerando sus fundamentos filosóficos, sus propuestas económicas alternativas y los desafíos que enfrenta desde una visión de la complejidad.

### **Fundamentos teóricos del poscapitalismo**

El poscapitalismo no es un concepto unificado, sino un conjunto de ideas que buscan trascender el capitalismo mediante cambios estructurales. Sus bases pueden rastrearse en los siguientes postulados:



- Marx y la automatización, ya preveía que el avance tecnológico bajo el capitalismo generaría crisis de sobreproducción y desempleo estructural, pero también podría liberar al ser humano del trabajo alienante (Grundrisse, 1858).
- Keynes y la sociedad del ocio, en las (“Posibilidades económicas para nuestros nietos”, 1930) imaginó un futuro donde la tecnología reduciría la jornada laboral, permitiendo una vida centrada en el desarrollo personal.
- Los teóricos del decrecimiento, autores como Serge Latouche (“La apuesta por el decrecimiento”, 2006) argumentan que el capitalismo es insostenible ecológicamente y proponen economías basadas en el bienestar, no en el crecimiento infinito.

En la era digital, estas ideas se han revitalizado con la automatización, la inteligencia artificial y la economía colaborativa, generando debates sobre la obsolescencia del trabajo asalariado, pero también han surgido la revitalización de movimientos comunitarios encabezados por pueblos originarios e indígenas en todas partes del mundo que han hecho frente al sistema por medio de la solidaridad y la autodeterminación.

### **La era digital y sus implicaciones poscapitalistas**

La revolución tecnológica ha creado condiciones que desafían el capitalismo tradicional como se ve en los siguientes argumentos:



a) Automatización y fin del trabajo

Estudios como los de Frey y Osborne (“The Future of Employment”, 2013) predicen que entre el 40% y 60% de los empleos podrían automatizarse. Esto lleva a propuestas como el Ingreso Básico Universal (IBU), defendido por Van Parijs (“Real Freedom for All”, 1995), como mecanismo para redistribuir la riqueza generada por máquinas.

b) Economía colaborativa y procomún digital

Benkler (“La riqueza de las redes”, 2006) analiza cómo Internet permite modelos basados en bienes comunes (como Wikipedia o el software libre), reduciendo la dependencia del mercado. Mason (“Postcapitalismo”, 2015) argumenta que la información, al ser un recurso no rival, socava la lógica de la propiedad privada.

c) Criptomonedas y descentralización

Blockchain y las finanzas descentralizadas (DeFi) cuestionan el monopolio bancario, aunque también generan nuevas formas de especulación (Zuboff, “La era del capitalismo de vigilancia”, 2019).



## Críticas y desafíos del poscapitalismo

A pesar de sus promesas y aseveraciones, el poscapitalismo enfrenta obstáculos que se mencionan a continuación.

- Resistencia del capital: Las élites económicas tienen interés en mantener el statu quo (Piketty, "Capital e ideología", 2019).
- Tecnoutopías vs. realidades políticas: El aceleracionismo asume que la tecnología por sí misma generará cambio, pero ignora las luchas de poder (Fisher, "Realismo capitalista", 2009).
- Riesgo de distopías digitales: La concentración de poder en Big Tech (Google, Amazon) muestra que la tecnología puede reforzar el capitalismo en lugar de superarlo (Smniecek, "Capitalismo de plataformas", 2017).

El poscapitalismo en la era digital presenta alternativas viables pero contradictorias, mientras la automatización y la economía colaborativa podrían reducir la necesidad de trabajo asalariado, la concentración de poder tecnológico y la falta de voluntad política impiden su realización. Para que el poscapitalismo sea viable, debe combinarse con un proyecto político que democratice la tecnología y redistribuya la riqueza. Como señala Mason, "el poscapitalismo no es un destino inevitable, sino una posibilidad que debe construirse".

Ahora, el tecnofeudalismo emerge como una teoría crítica que describe un nuevo sistema económico en el que las grandes corporaciones tecnológicas ejercen un control análogo al de los



señores feudales medievales, mientras los usuarios asumen el papel de siervos al intercambiar sus datos por acceso a plataformas digitales. Varoufakis (2023) argumenta que este modelo ha reemplazado progresivamente al capitalismo tradicional, ya que empresas como Google, Amazon y Meta actúan como “señores digitales” que monopolizan infraestructuras clave (como la nube) y extraen valor mediante la vigilancia masiva.

Esta dinámica, según Srnicek (2017), genera una relación de dependencia estructural donde los usuarios carecen de autonomía real, pues su participación en la economía digital está mediada por plataformas que controlan tanto los medios de producción como los flujos de información. Así, el tecnofeudalismo no solo reproduce jerarquías premodernas, sino que las intensifica mediante mecanismos de extracción de datos y gobernanza algorítmica, cuestionando la narrativa de progreso asociada al capitalismo digital.

### **Observación de la Teoría decolonial**

El poscapitalismo, como proyecto teórico y político que busca trascender las estructuras económicas del capitalismo, ha sido discutido principalmente desde perspectivas eurocéntricas, como el marxismo clásico, el aceleracionismo y las teorías de la economía digital. Sin embargo, una mirada desde la teoría decolonial permite cuestionar los límites de estas propuestas al evidenciar cómo reproducen lógicas coloniales de explotación, extractivismo y epistemicidio.

Este análisis explora las posibilidades y contradicciones del poscapitalismo desde autores como Quijano, Lugones, Escobar y Santos, argumentando que cualquier transición poscapitalista debe partir de una descolonización radical del conocimiento, la economía y la organización social.



## **Capitalismo y colonialidad: fundamentos de la crítica decolonial**

La teoría decolonial, desarrollada por pensadores latinoamericanos como Aníbal Quijano y Enrique Dussel, sostiene que el capitalismo no puede entenderse sin su dimensión colonial. Según Quijano (“Colonialidad del poder, eurocentrismo y América Latina”, 2000), la modernidad capitalista se construyó sobre:

- La colonialidad del poder: La racialización de las relaciones sociales para justificar la explotación de pueblos no europeos.
- El extractivismo como lógica dominante: La acumulación capitalista depende de la expropiación de recursos naturales y saberes indígenas (Gudynas, “Extractivismos”, 2015).
- El epistemicidio: La destrucción de conocimientos no occidentales en favor de una racionalidad económica eurocéntrica (Santos, “Epistemologías del Sur”, 2014).

Desde esta perspectiva, el neoliberalismo y el aceleracionismo no rompen con la colonialidad, sino que la intensifican al convertir la tecnología y la financiarización en nuevas formas de dominación global.



## Los límites del poscapitalismo eurocéntrico

Las propuestas poscapitalistas dominantes (como las de Mason, Srnicek o los teóricos del IBU) suelen ignorar que:

a) La automatización reproduce jerarquías coloniales

Mientras el Norte Global debate el “fin del trabajo”, el Sur sigue siendo la fábrica del mundo, con condiciones laborales precarias (Davis, “Planeta de ciudades miseria”, 2006). La minería de litio y cobalto para tecnologías “verdes” o digitales sigue patrones extractivistas (Svampa, “El Antropoceno como escenario de crisis”, 2019).

b) La economía colaborativa no es neutral

Plataformas como Uber o Airbnb operan mediante la explotación de trabajadores racializados en el Sur (Srnicek, “Capitalismo de plataformas”, 2017). El procomún digital (ej. Wikipedia) sigue dominado por lenguas y saberes occidentales (Mignolo, “Historias locales / diseños globales”, 2003).

c) Las alternativas deben ser pluriversales

El poscapitalismo no puede ser un único modelo (como el comunismo o el eco-socialismo), sino que debe integrar economías diversas:



- Buen Vivir (Escobar, "Autonomía y diseño", 2016): Propuesta andina que prioriza la armonía con la naturaleza.
- Economías feministas (Federici, "Calibán y la bruja", 2004): Critican la división sexual del trabajo impuesta por el capitalismo colonial.
- Autogestión comunitaria (Zibechi, "Autonomías y emancipaciones", 2007): Experiencias como los zapatistas o las cooperativas afrodescendientes.

### **Hacia un poscapitalismo decolonial: Propuestas y desafíos**

Para que el poscapitalismo no reproduzca la colonialidad, debe: Descolonizar la tecnología fomentando tecnologías apropiadas (no extractivistas), como las energías comunitarias en Oaxaca (Sousa Santos, "El milenio huérfano", 2005), recuperando saberes indígenas en la agroecología y la medicina (Shiva, "Ciencia, tecnología y violencia colonial", 2016).

Además de redistribuir el poder económico global, impulsando tribunales anticoloniales para exigir reparaciones por el saqueo histórico (Quijano, 2000), desmantelando la deuda externa como mecanismo de control neocolonial (Lander, "La colonialidad del saber", 2000).

Así como debe construir democracias plurinacionales, reconociendo los Estados plurinacionales (como Bolivia o Ecuador) que integren autonomías indígenas, promoviendo cosmopolíticas (Escobar, 2016): Decisiones colectivas más allá del Estado-nación occidental.



El poscapitalismo, si quiere ser emancipador, debe romper con el mito de que la salida al capitalismo puede diseñarse solo desde el Norte Global. Como señala Boaventura de Sousa Santos, "no hay justicia global sin justicia cognitiva". Esto implica, rechazar soluciones tecnocráticas que ignoran las desigualdades coloniales, aprender de las luchas anticoloniales y feministas del Sur, construir economías poscrecimiento, pospatriarcales y poscoloniales, porque solo así el poscapitalismo será un horizonte verdaderamente universal.

### **Conclusiones: Diálogo desde la complejidad**

El diálogo entre poscapitalismo y teoría decolonial, analizado a través del lente de la teoría de la complejidad (Morin, 1990; Santos, 2009), revela que la transición hacia modelos económicos poscapitalistas no puede comprenderse como un proceso lineal ni universal, sino como un sistema adaptativo complejo donde emergen tensiones, contradicciones y posibilidades inéditas. Este análisis final integra dimensiones clave:

- La colonialidad como sistema complejo (Quijano, 2000), este concepto de "colonialidad del poder" es fundamental para analizar cómo la dominación colonial instaurada a partir del siglo XV no solo fue un sistema político-económico, sino una estructura global de poder que se reconfiguró y perpetuó más allá de la independencia formal de las colonias. La colonialidad, en su perspectiva, es un sistema complejo que articula múltiples dimensiones (económicas, raciales, epistémicas, de género y espaciales) para sostener jerarquías sociales basadas en la idea de raza y en la subalternización de saberes no europeos.



- La teoría de la complejidad nos permite entender que el capitalismo no es simplemente un modo de producción, sino un sistema-mundo (Wallerstein, 2004) donde lo económico se entrelaza con patrones de dominación racial, de género y epistemológica de manera no lineal.

La propuesta decolonial muestra cómo estas relaciones forman una red de retroalimentaciones que el poscapitalismo eurocéntrico suele ignorar, llevando a “soluciones” que reproducen los problemas (Morin, 1990).

### **Emergencia de alternativas complejas**

Las economías otras (Escobar, 2016) no son meras respuestas locales, sino patrones emergentes de un sistema en crisis. La teoría de la complejidad explica por qué El Buen Vivir andino y las economías feministas (Federici, 2004) representan atractores extraños que desafían la lógica capitalista. Su éxito depende de condiciones iniciales específicas (historia, territorio, cultura) que impiden su estandarización. Su interconexión crea un paisaje poscapitalista pluriversal (Santos, 2014).

### **Transición como proceso adaptativo complejo**

La teoría de la complejidad sugiere que el cambio sistémico ocurre mediante bifurcaciones donde pequeños cambios pueden tener efectos desproporcionados (Prigogine, 1996), que además



requiere experimentación constante (el “método de ensayo y error” de Morin), dependiendo de la diversidad cognitiva (Santos, 2009) que las epistemologías del Sur proveen.

Un poscapitalismo decolonial debe:

- Abrazar la incertidumbre y la no-linealidad (Morin, 1990).
- Fomentar la diversidad de alternativas como garantía de resiliencia.
- Entender la tecnología como sistema complejo embebido en relaciones de poder.

El poscapitalismo decolonial emerge, así como un fractal en constante evolución, donde lo global y lo local, lo moderno y lo ancestral, se recombinan en formas impredecibles pero esperanzadoras, no es un destino, sino una brújula ética y política. Su fractalidad evita recetas universales, pero comparte principios: comunalidad, interdependencia, justicia cognitiva y regeneración ecológica.

Sin embargo, enfrenta retos diversos como la cooptación de corporaciones y gobiernos que pueden apropiarse de su lenguaje (ej.: “capitalismo verde”) vaciándolo de contenido crítico, otro reto sería la escala de articular redes globales sin reproducir jerarquías, teniendo como respuestas las prácticas como el *municipalismo zapatista* o las *alianzas sur-sur*, esto requiere narrativas audaces que superen el derrotismo. El arte, los mitos y las pedagogías insurgentes (como las escuelas autónomas) son vitales aquí.

En este marco, la esperanza no es ingenua, sino una estrategia de resistencia, cada grieta en el sistema —una fábrica recuperada, un territorio autogobernado— es un nodo de ese fractal en expansión. El futuro, si es decolonial, será pluriversal o no será.



## Referencias

- Benkler, Y. (2006). *La riqueza de las redes*. Yale University Press
- Escobar, A. (2016). *Autonomía y diseño*. Universidad del Cauca.
- Federici, S. (2004). *Calibán y la bruja*. Traficantes de sueños.
- Foucault, M. (1979). *Nacimiento de la biopolítica*. Fondo de Cultura Económica
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2013). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? Oxford Martin School.
- Harvey, D. (2007). *Breve historia del neoliberalismo*. Akal.
- Marx, K. (1867/2010). *El capital* (Vol. 1). Siglo XXI.
- Mason, P. (2015). *Postcapitalismo: Hacia un nuevo futuro*. Okulto.
- Morin, E. (1990). *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa.
- Piketty, T. (2013). *El capital en el siglo XXI*. Fondo de Cultura Económica.
- Polanyi, K. (1944). *The great transformation: The political and economic origins of our time*. Beacon Press.
- Prigogine, I. (1996). *El fin de las certidumbres*. Taurus.
- Quijano, A. (2000). Colonialidad del poder, eurocentrismo y América Latina. *En La colonialidad del saber: Eurocentrismo y ciencias sociales* (pp. 201-246). CLACSO.
- Santos, B. de S. (2005). *El milenio huérfano: Ensayos para una nueva cultura política*. Trotta.
- Santos, B. de S. (2009). *Una epistemología del Sur*. CLACSO.
- Santos, B. de S. (2014). *Epistemologías del Sur*. Akal.
- Srnicek, N. (2017). *Platform capitalism*. Polity Press.



Srnicek, N., & Williams, A. (2015). *Inventing the future: Postcapitalism and a world without work*. Verso.

Varoufakis, Y. (2023). *Tecnofeudalismo: El sigiloso sucesor del capitalismo*. Deusto.