PULSOTEC: REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

AÑO 2 / VOLUMEN 2 / AGOSTO 2026

ISSN:3122-4032

Portada: Alejandro Segura Malacara

Educación
Secretaría de Educación Pública

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO®

Es un verdadero orgullo darles la bienvenida a esta edición de Pulso Tec, la cual marca un parteaguas en la trayectoria del Instituto Tecnológico de La Laguna. Hoy iniciamos una nueva era editorial al presentar nuestro primer número con registro oficial ISSN.

Esta clave internacional no sólo valida el rigor y la calidad de la investigación generada en nuestra casa de estudios, sino que inserta formalmente a Pulso Tec en los circuitos de la ciencia global.

Este logro es el resultado de un esfuerzo humano extraordinario. Quiero expresar mi más profundo agradecimiento al comité editorial, investigadores y colaboradores que trabajaron incansablemente para cumplir con los estándares requeridos. De igual manera, agradezco el respaldo constante de nuestro Director General del Tecnológico Nacional de México, el Prof. Ramón Jiménez López, cuyo liderazgo impulsa la consolidación científica en nuestra gran institución.

El registro ISSN nos honra, pero también nos compromete a elevar la exigencia académica para seguir aportando soluciones tecnológicas al desarrollo de nuestro país.

Con esta registro, refrendamos nuestra vocación como un faro de innovación en la región de la Comarca Lagunera, transformando el conocimiento científico en un motor real de progreso para nuestra sociedad. Este paso al frente abre, además, una ventana de oportunidad crucial para que nuestros investigadores y docentes publiquen bajo criterios de arbitraje internacional, potenciando el desarrollo de la ciencia aplicada desde nuestras aulas y laboratorios.

Es así como refrendamos el orgullo de pertenecer al Tecnológico Nacional de México, asumiendo la alta responsabilidad de divulgar la vanguardia científica. Los invito a disfrutar de este volumen que late con la fuerza de la investigación formal.

Atentamente,

“Excelencia en Educación Tecnológica, Educación Tecnológica fuente de innovación”

José Omar Saldivar Correa
Director del Instituto Tecnológico de La Laguna
del Tecnológico Nacional de México

Secretario de Educación
Mario Martín Delgado Carrillo

Director General del Tecnológico Nacional de México
Ramón Jiménez López

Director del Instituto Tecnológico de La Laguna
José Omar Saldivar Correa

CONSEJO EDITORIAL:

Presidente del Consejo Editorial
Rubén García Barrios
Subdirector de Planeación y Vinculación

Secretario Técnico
Laura Elena Vélez Hernández
Jefa Dpto. de Comunicación y Difusión

Jesús Salvador Valadez González
Jefe del Centro de Información

Claudio César Pedroza Sifuentes
Jefe de la División de Estudios Profesionales

Ramón Humberto Sandoval Rdz
Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación

Sheila Berenice Montoya Ramírez
Jefa del Dpto. de Recursos Materiales y Servicios

COMITÉ EDITORIAL:

Ana Lilia Urbina Amador
Lina Ernestina Arias Hernández
Raquel Adriana Ulloa Hurtado

DISEÑO EDITORIAL:

Alejandro Segura Malacara

FOTOGRAFÍA:

Jacobo Hernández Favila

CINTILLO LEGAL

PULSOTEC: REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA, número 2, julio 2026 - julio 2027, es una publicación anual editada por el Tecnológico Nacional de México, Avenida Universidad 1200, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03330, teléfono 5536002511 Ext. 65092, correo: d_vinculación05@tecnm.mx, a través del Instituto Tecnológico de La Laguna, Avenida Instituto Tecnológico de La Laguna y Boulevard Revolución S/N, C.P. 27000. Torreón, Coahuila, México. Contacto: 871 705 1305, https://pulsotec.itlalaguna.edu.mx, splaneacion@lalaguna.tecnm.mx. Editora Responsable: M.C. Ana Lilia Urbina Amador. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2025072310274000-102, ISSN: 3122-4032, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Departamento de Comunicación y Difusión, Lic. Laura Elena Vélez Hernández, Avenida Instituto Tecnológico de La Laguna y Boulevard Revolución S/N. C.P. 27000. Torreón, Coahuila, México. Contacto: 871 7 05 13 20. Fecha de la última modificación: 28 de agosto de 2026.

Información técnica: Este archivo PDF pesa aproximadamente 14.2 MB, optimizado para visualización web.

El contenido de los artículos publicados en la revista PULSOTEC: REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA es de responsabilidad exclusiva de sus autores. Las opiniones vertidas no reflejan necesariamente la postura oficial de la institución. Se autoriza la reproducción total o parcial de los materiales siempre que se cite adecuadamente la fuente y se reconozca la autoría correspondiente.

Contenido

Evaluación de textos científicos universitarios asistida por IA: un estudio de tres niveles de complejidad 6

Alfabetización en inteligencia artificial generativa en la formación de ingeniería..... 19

Impacto del estrés hídrico en la producción de maíz grano (Zea mays L.) en el norte de Durango: Rodeo, Nazas y Mapimí. 32

Representación Geométrica: Curvas y Superficies Mediante Spyder..... 39

Desarrollo, fabricación y modelado 3D (D&F&M3D) de un mezclador vórtex optimizado para tubos de resonancia magnética nuclear (RMN)..... 53

PULSOTEC: REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA
AÑO 2 / VOLUMEN 2 / AGOSTO 2026 ISSN:3122-4032

Evaluación de textos científicos universitarios asistida por IA: un estudio de tres niveles de complejidad

AI-assisted evaluation of university scientific texts: a study of three complexity levels

Elena Tzetzagary Aguirre Mejía[1], Luz María Ramírez Sandoval[2], Francisco Javier Ramírez Sandoval[3]

[1]TECNM-Instituto Tecnológico de la Laguna, Blvd. Revolución, Torreón, Coahuila, México, C.P. 27000;
[2,3]TECNM-Instituto Tecnológico de Torreón Carr. Torreon-San Pedro km 7.5 Ejido Ana. Torreon, Coahuila, México C.P. 27170

ORCID: [1]https://orcid.org/0000-0003-4472-6025 | [2]https://orcid.org/0000-0003-3329-7798 | [3]https://orcid.org/0009-0009-2798-7048

Autores de correspondencia: int.etaguirrem@lalaguna.tecnm.mx; posgrado.uni.05@gmail.com; fjavier.rs@gmail.com

Resumen:
La inteligencia artificial generativa (IAG) se ha convertido en una herramienta de apoyo a la escritura académica, pero su impacto en estudiantes noveles es controvertido. Objetivo: Analizar el desempeño en escritura académica de estudiantes de nivel inicial a partir de la retroalimentación generada por IA bajo una consigna estandarizada, comparando tres niveles de complejidad textual. Resultados: Se evaluaron 360 textos de 30 estudiantes. La progresión media fue ascendente (básico=74.8, metodológico=79.1, avanzado=80.2), con diferencias significativas entre el nivel básico y los otros dos ($p<.05$, $\varepsilon^2=0.308$). La precisión metodológica fue la dimensión más deficiente (medias 68.3-76.9). Más del 90% presentó falta de precisión metodológica y redundancia. Limitaciones del estudio / implicaciones: Ausencia de grupo control, muestra pequeña y de una sola institución; no se midió transferencia del aprendizaje. Se requiere mediación docente para tareas de alta complejidad. Originalidad: Se emplea un prompt estructurado que evalúa siete dimensiones, revelando problemas no percibidos por los estudiantes (lenguaje coloquial, debilidad conceptual). Hallazgos / conclusiones: La IA actúa como “espejo metacognitivo”, pero es insuficiente para mejorar tareas avanzadas. Se recomienda integrar IA con retroalimentación docente y diseñar ejercicios específicos de precisión metodológica.

Palabras Clave: inteligencia artificial, escritura académica, precisión metodológica, retroalimentación automática, estudiantes principiantes.

Abstract:
Generative artificial intelligence (GAI) has become a writing support tool, but its impact on novice students is controversial. Objective: To analyze academic writing performance of first-semester students based on standardized AI-generated feedback, comparing three levels of textual complexity. Results: 360 texts from 30 students were evaluated. Mean progression was ascending (basic=74.8, methodological=79.1, advanced=80.2), with significant differences between basic and the other two ($p<.05$, $\varepsilon^2=0.308$). Methodological precision was the weakest dimension (means 68.3-76.9). Over 90% showed lack of methodological precision and redundancy. Limitations / implications: No control group, small sample from one institution; learning transfer not measured. Teacher mediation is required for high-complexity tasks. Originality: A structured prompt assessing seven dimensions revealed problems not perceived by students (colloquial language, conceptual weakness). Findings / conclusions: AI acts as a “metacognitive mirror” but is insufficient for advanced tasks. We recommend integrating AI with teacher feedback and designing specific exercises for methodological precision.

Keywords: artificial intelligence, academic writing, methodological precision, automated feedback, novice students.

Introducción

La inteligencia artificial generativa (IAG) ha irrumpido en la educación superior con una velocidad sin precedentes. En apenas tres años, el uso de herramientas como ChatGPT se ha generalizado entre los estudiantes. Según el informe de Juventud del Parlamento Europeo de 2024, el 57% de los jóvenes europeos informaron haber utilizado aplicaciones basadas en IA para estudiar y escribir documentos (Raptopoulou, 2025). Esta adopción masiva ha generado un debate polarizado. Por un lado, algunos autores advierten sobre el riesgo de externalizar los procesos cognitivos superiores (Alasmari & Alshammari, 2024; Díaz-Cuevas & Rodríguez-Herrera, 2024). Por otro lado, otros defienden su potencial como andamiaje para la mejora de la redacción (Maturana, 2025).

Las evidencias empíricas disponibles son aún limitadas y, en ocasiones, contradictorias. Un estudio de Steiss et al. (2024) encontró que, si bien los estudiantes que utilizaron ChatGPT mostraron una mejora en la calidad de sus ensayos, persistían diferencias significativas en comparación con aquellos que recibieron retroalimentación humana, especialmente en tareas que requerían un razonamiento de orden superior. En contraste, una revisión sistemática de Silgado-Tuñón y López-Flores (2025) sobre el uso de IAG en educación superior concluyó que, aunque la IA facilita ciertos procesos formales de escritura, su eficacia depende críticamente de la integración pedagógica y del desarrollo de habilidades metacognitivas. Asimismo, una revisión sistemática de estudios sobre ChatGPT en escritura académica indicó que los estudiantes utilizan estas herramientas principalmente para la corrección gramatical, la generación de ideas y la retroalimentación formativa (Lee et al., 2025).

El presente estudio se desarrolló en el contexto de una universidad pública mexicana, perteneciente al Tecnológico Nacional de México (TECNM), con estudiantes de primer semestre de la carrera de Ingeniería en Sistemas, en la asignatura de Fundamentos de Investigación. En este escenario, los alumnos carecen de formación previa en redacción científica formal, lo que convierte a este entorno en un espacio propicio para explorar el impacto de la retroalimentación asistida por IA en niveles iniciales. Si bien en América Latina la investigación sobre IAG en educación superior ha comenzado a emerger (Díaz-Cuevas & Rodríguez-Herrera, 2024; Silgado-Tuñón & López-Flores, 2025), aún existen pocos estudios que aborden de manera sistemática el análisis de errores de escritura en textos con diferente complejidad metodológica, particularmente en carreras de ingeniería.

Frente a esta paradoja, emerge un consenso en tres direcciones. Primero, se enfatiza la necesidad de desarrollar una conciencia metacrítica sobre el uso de la IAG. Alasmari y Alshammari (2024) demostraron que el uso acrítico de la IA puede llevar a una participación superficial en las tareas de escritura. Segundo, se propone la figura del escritor aumentado o la noción de "escritura centauro". Maturana (2025) postula que la IA no debe reemplazar al autor, sino transformarlo en un ente analítico que interactúa críticamente con la tecnología. Tercero, se exploran modelos de retroalimentación híbridos. Estudios recientes sobre retroalimenta-

ción con IA han mostrado que la combinación de retroalimentación generada por IA con la retroalimentación del profesor o de pares puede generar mejores resultados que el uso aislado de la IA (Banihashem et al., 2024; Escalante et al., 2023).

No obstante, a pesar de los avances documentados, persiste un vacío de conocimiento respecto a cómo la retroalimentación automatizada impacta en tareas de creciente complejidad textual, especialmente en estudiantes novatos de ingeniería en contextos latinoamericanos. Son precisamente los modelos híbridos los que ofrecen una vía pedagógica prometedora, y el presente estudio se inscribe en esa línea. Su objetivo es analizar el desempeño de la escritura académica en estudiantes de nivel inicial a partir de la retroalimentación generada por una IA bajo una consigna estandarizada, y comparar los resultados en tres niveles de complejidad textual. Las preguntas de investigación son: (1) ¿Cuáles son las puntuaciones medias en claridad, coherencia, precisión metodológica y uso de conectores en los tres niveles de escritura? (2) ¿Qué problemas de redacción detecta la IA con mayor frecuencia? (3) ¿Existe una progresión significativa en la calidad de la escritura a medida que aumenta la complejidad del texto?

Este estudio no pretende validar la IA como evaluadora, sino describir los patrones de error y las áreas de mejora que la IA hace visibles. Se busca así aportar evidencia empírica para el diseño de intervenciones docentes que integren la IAG de manera crítica y estructurada en la educación superior.

Metodología

Se realizó un estudio de enfoque mixto con diseño secuencial, de corte transversal y alcance descriptivo, con un solo grupo. Este diseño permitió, por una parte, cuantificar las puntuaciones obtenidas en las dimensiones evaluadas, y por otra, analizar cualitativamente las reflexiones metacognitivas de los estudiantes para identificar patrones de error y áreas de mejora. El contexto fue una asignatura de Fundamentos de Investigación del primer semestre de Ingeniería en Sistemas en una universidad pública mexicana, perteneciente al Tecnológico Nacional de México (TECNM). La actividad evaluada formaba parte de sesiones prácticas sobre uso ético y crítico de IA. Dado que el objetivo era describir el desempeño y los patrones de error, y no comparar condiciones experimentales, no se utilizó grupo de control, lo cual es consistente con un diseño no experimental. El estudio se ajustó a los principios éticos de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el comité de ética de la institución.

Participaron 30 estudiantes (18 hombres, 12 mujeres) de entre 18 y 20 años (M = 18.7, DE = 0.8). Ninguno tenía experiencia previa en redacción científica formal ni en el uso de IAG para fines académicos. Todos consintieron participar de manera voluntaria y se anonimizaron sus datos.

La variable independiente fue el nivel de complejidad de escritura, definida conceptualmente como el grado de exigencia cognitiva y metodológica requerida para la redacción del texto, y operacionalizada mediante la clasificación en tres niveles: básico (redacción científica elemental), metodoló-

gico (con hipótesis y variables explícitas) y avanzado (interpretación de resultados estadísticos). Las variables dependientes fueron las puntuaciones globales y por dimensión (claridad argumentativa, coherencia y estructura, precisión metodológica y uso de conectores), definidas operacionalmente como los puntajes asignados por la IA en una escala de 0 a 100.

Ejercicios de redacción. Cada estudiante redactó 12 textos breves (300-500 palabras). Los textos se basaron en tablas que proporcionaban título, objetivo, hipótesis (cuando correspondía), variables, metodología y resultados. Los 12 textos se organizaron originalmente en cuatro niveles de complejidad ascendente (1A, 1B, 1C; 2A, 2B, 2C; 3A, 3B, 3C; 4A, 4B, 4C). Para el análisis final, se agruparon en tres niveles: (a) básico (niveles 1A, 1B, 1C): redacción científica elemental (mapas conceptuales, aprendizaje colaborativo, microvideos); (b) metodológico (niveles 2A, 2B, 2C): redacción con hipótesis explícitas y variables (IA generativa, gamificación, estrategias metacognitivas); (c) avanzado (niveles 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C): interpretación de resultados estadísticos y redacción tipo artículo científico.

Los ejercicios de redacción fueron diseñados por un equipo de tres investigadores con experiencia en metodología de la investigación y escritura académica. La validez de contenido se estableció mediante juicio de expertos, con la participación de dos académicos externos especializados en didáctica de la escritura, quienes evaluaron la pertinencia y claridad de las tablas de datos proporcionadas a los estudiantes. El prompt de evaluación fue sometido a un proceso de pilotaje con cinco textos de muestra, ajustando su redacción hasta lograr consistencia en las respuestas de la IA.

Prompt de evaluación. Se diseñó un prompt estandarizado que instruía a la IA (ChatGPT-4, versión 15 de enero de 2026, temperatura = 0) para que actuara como "revisor académico experto en redacción científica universitaria y metodología de investigación". El prompt solicitaba evaluar siete dimensiones en una escala de 0 a 100: claridad argumentativa, coherencia y estructura, precisión metodológica, uso de conectores, redundancia, debilidad conceptual y posible similitud textual. Además, pedía un análisis crítico de máximo 120 palabras y tres propuestas de mejora prioritaria.

Cada estudiante redactó un texto de 200 palabras respondiendo a cuatro preguntas: principal problema detectado, errores repetidos, nivel con mejores resultados y estrategias de mejora.

El procedimiento constó de cinco pasos secuenciales:

1. Redacción inicial. Los estudiantes redactaron los 12 textos en sesiones previas, con base en las tablas proporcionadas y sin ayuda de IA.

2. Evaluación con IA. Cada estudiante ingresó sus textos al chatbot junto con el prompt. La IA generó una tabla de calificaciones y un análisis crítico.

3.Sistematización. Los estudiantes completaron una tabla resumiendo las calificaciones promedio por texto y por nivel.

4.Reflexión metacognitiva. Cada estudiante redactó su reflexión de 200 palabras.

5.Recolección de datos. Se recopilaron todas las tablas y reflexiones. Se extrajeron las puntuaciones medias y se codificaron las categorías de problemas.

Variables y análisis estadístico

● Variable independiente (categórica): nivel de complejidad de escritura.

● Variables dependientes (cuantitativas): puntuación global promedio y puntuaciones por dimensión.

Se calcularon medidas de tendencia central y dispersión. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad. Dado que los puntajes no siguieron una distribución normal ($p < .05$), se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar los tres niveles. Las comparaciones post hoc se realizaron con corrección de Bonferroni. Para estimar la magnitud de las diferencias, se calculó el tamaño del efecto mediante epsilon cuadrado ($\varepsilon^2 = H / (n - 1)$). Para comparar las dimensiones dentro de cada nivel se empleó la prueba de Friedman, con comparaciones post hoc de Wilcoxon ajustadas por Bonferroni. Todos los análisis cuantitativos se realizaron utilizando el software estadístico JASP (versión 0.18.3).

Se realizó un análisis de contenido de las 30 reflexiones metacognitivas, siguiendo un proceso inductivo de codificación abierta. Dos codificadores independientes, ambos investigadores con experiencia en análisis cualitativo y desconocedores de la identidad de los participantes, clasificaron las menciones a problemas de redacción en categorías emergentes. El proceso incluyó una primera fase de lectura flotante, seguida de codificación línea por línea y agrupación en categorías temáticas. El acuerdo intercodificador fue del 89%, medido mediante el coeficiente kappa de Cohen ($\kappa = 0.85$). No se utilizó software especializado para el análisis cualitativo, sino un proceso manual de categorización con matrices de doble entrada.

Selección de la submuestra para el análisis por dimensiones. Para el análisis detallado por dimensiones se seleccionó una submuestra de 15 estudiantes (50% del total) mediante un muestreo intencional. Los criterios de inclusión fueron: disponibilidad de textos completos en los tres niveles de complejidad y ausencia de errores de formato que pudieran afectar la evaluación por IA. Esta submuestra garantiza la representatividad de la muestra total y permite un análisis más fino de las dimensiones evaluadas.

Limitaciones metodológicas

Este estudio presenta varias limitaciones. Primera, las calificaciones provienen de la misma IA que evalúa, lo que introduce un posible sesgo de consistencia interna que se discute en el apartado correspondiente. Segunda, la muestra es pequeña y de una sola institución, lo que limita la generalización de los hallazgos. Tercera, el orden secuencial de los textos pudo confundir el efecto de la complejidad con el efecto de la práctica, aunque los

niveles se alternaron para minimizar este riesgo. Cuarta, no se midió la transferencia del aprendizaje a otras tareas de escritura. Estas limitaciones se consideran al interpretar los resultados y se sugieren líneas futuras para superarlas.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis cuantitativo y cualitativo, siguiendo el orden de las preguntas de investigación. Se incluyen estadísticos descriptivos, pruebas de comparación entre niveles y frecuencias de los problemas de redacción detectados.

Estadísticos descriptivos por nivel

La Tabla 1 presenta las medidas de tendencia central y dispersión de las puntuaciones globales para cada nivel de complejidad. Se observa una progresión ascendente de las medias, desde el nivel básico (M = 74.83) hasta el avanzado (M = 80.23). La desviación estándar es mayor en el nivel básico (DE = 11.21), lo que indica una alta heterogeneidad inicial en el desempeño de los estudiantes. En los niveles metodológico (DE = 9.42) y avanzado (DE = 9.82), la dispersión disminuye, lo que sugiere una mayor homogeneidad en el rendimiento a medida que aumenta la complejidad de la tarea.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de las puntuaciones globales por nivel de complejidad (N = 30)

Nivel	Media	Mediana	DE	Mínimo	Máximo
Básico	74.83	76.00	11.21	43.0	89.7
Metodológico	79.13	81.00	9.42	50.0	91.3
Avanzado	80.23	83.50	9.82	56.0	93.6

Fuente: Elaboración propia.

Para complementar el análisis descriptivo y visualizar el comportamiento de la variable nivel de complejidad en escritura, la Figura 1 presenta la distribución de las puntuaciones globales mediante un diagrama de cajas (boxplot) para cada nivel. En este gráfico se aprecia claramente que la mediana del nivel básico (76.00) es inferior a la de los otros dos niveles, y que el rango intercuartílico es más amplio en el nivel básico, confirmando la mayor variabilidad inicial.

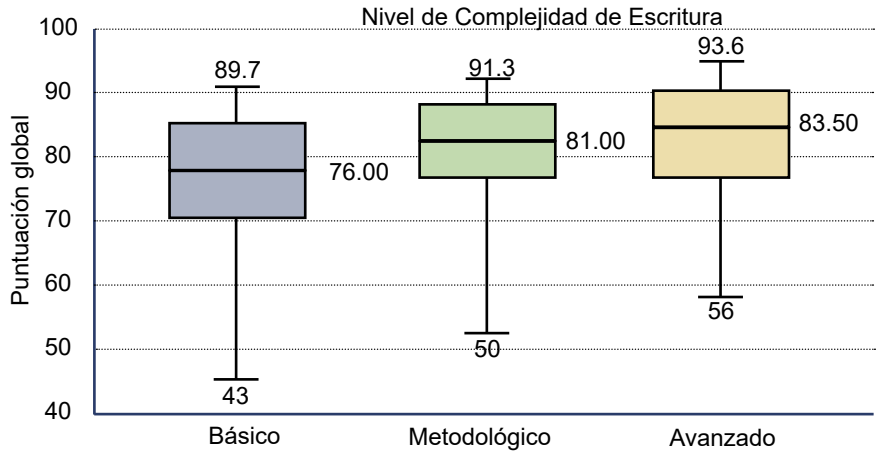


Figura 1. Distribución de frecuencias de las puntuaciones globales por nivel de complejidad.

Nota: La línea central representa la mediana, la caja muestra el rango intercuartílico (Q1-Q3) y los bigotes indican los valores mínimo y máximo.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de estudio.

Para determinar si las diferencias observadas en las medias son estadísticamente significativas, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, dada la ausencia de normalidad en los puntajes (Shapiro-Wilk, $p < .05$). Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tres niveles de complejidad, $H(2) = 8.94$, $p = .011$. El tamaño del efecto fue grande, $\varepsilon^2 = 0.308$, lo que respalda la relevancia práctica de esta diferencia en el contexto educativo.

Las comparaciones post hoc con corrección de Bonferroni revelaron que el nivel básico (Mdn = 76.00) fue significativamente inferior al nivel metodológico (Mdn = 81.00), $p = .008$, y al nivel avanzado (Mdn = 83.50), $p = .004$. En contraste, no se encontró diferencia significativa entre el nivel metodológico y el avanzado, $p = .312$. Estos hallazgos indican que el salto cualitativo más importante en la calidad de la escritura ocurre al incorporar hipótesis y variables explícitas, mientras que la transición hacia tareas de interpretación estadística no representa un avance significativo adicional en la puntuación global.

Desempeño por dimensiones

Para el análisis detallado de las dimensiones evaluadas (claridad argumentativa, coherencia y estructura, precisión metodológica y uso de conectores), se seleccionó una submuestra de 15 estudiantes (50% del total), cuyos criterios de inclusión se describen en el apartado de metodología. La Tabla 2 muestra las puntuaciones medias obtenidas en cada dimensión para los tres niveles.

Tabla 2. Puntuaciones medias por dimensión y nivel de complejidad (n = 15)

Dimensión	Básico	Metodológico	Avanzado
Claridad argumentativa	78.2	82.5	84.1
Coherencia y estructura	76.5	81.0	83.7
Precisión metodológica	68.3	74.8	76.9
Uso de conectores	72.1	76.5	79.2

Fuente: Elaboración propia.

De manera consistente en los tres niveles, la precisión metodológica resultó ser la dimensión peor valorada, con medias que oscilan entre 68.3 (básico) y 76.9 (avanzado). Para evaluar la significación de estas diferencias entre dimensiones dentro de cada nivel, se aplicó la prueba de Friedman. En los tres niveles se encontraron diferencias significativas (básico: $p < .001$; metodológico: $p < .001$; avanzado: $p < .001$). Las comparaciones post hoc con corrección de Bonferroni indicaron que la precisión metodológica fue significativamente inferior a las otras tres dimensiones en todos los niveles ($p < .01$ en todos los casos). Este patrón sugiere que la dificultad para describir instrumentos, procedimientos y análisis estadísticos constituye una debilidad estructural en la escritura de los estudiantes principiantes, independientemente de la complejidad del texto.

Problemas de redacción detectados

La Tabla 3 presenta la frecuencia de ocho categorías de problemas, identificadas a partir de las reflexiones metacognitivas de los estudiantes y los análisis críticos generados por la IA. Más del 90% de los estudiantes presentó falta de precisión metodológica (93%) y redundancia o repetición de ideas (87%). El uso limitado o inadecuado de conectores afectó al 80% de los participantes, mientras que el lenguaje coloquial o informal persistió en tres cuartas partes de los textos (73%). La debilidad conceptual, evidenciada en la ausencia de definiciones o referencias teóricas, se presentó en el 67% de los casos.

Tabla 3. Frecuencia de problemas de redacción detectados por la IA (N = 30)

Problema	n	%
Falta de precisión metodológica	28	93
Redundancia / repetición de ideas	26	87
Uso limitado o inadecuado de conectores	24	80
Lenguaje coloquial o informal	22	73
Debilidad conceptual (sin definiciones ni referencias)	20	67
Omisión de detalles metodológicos	18	60
Riesgo de similitud textual por frases genéricas	15	50
Errores gramaticales / puntuación	14	47

Fuente: Elaboración propia.

Las siguientes citas textuales de los estudiantes ilustran de manera representativa estos problemas:

E05: "El principal problema fue la falta de precisión metodológica. En varios ejercicios, la descripción de los instrumentos de evaluación era insuficiente." E08: "Se repitieron bastantes problemas de cohesión entre ideas, uso limitado de conectores y repetición de ideas."

E16: "Expresiones como 'o sea' o afirmaciones en primera persona del plural interrumpieron la coherencia del discurso académico."

E12: "El término 'autonomía académica' no se fundamenta con autores. Lo usé sin saber bien qué significaba."

Estos testimonios refuerzan los hallazgos cuantitativos y evidencian que la retroalimentación generada por IA permite a los estudiantes tomar conciencia de aspectos de su escritura que previamente pasaban desapercibidos, sentando las bases para la discusión de los hallazgos y sus implicaciones pedagógicas.

Conclusiones

Este estudio evaluó la calidad de 360 textos científicos producidos por 30 estudiantes de nivel inicial,

utilizando un prompt estandarizado de IA. A partir de los resultados obtenidos, se derivan cinco hallazgos principales.

Primero, se confirma una progresión significativa en la calidad de escritura únicamente entre el nivel básico (M = 74.8, Mdn = 76.0) y el metodológico (M = 79.1, Mdn = 81.0), con diferencias estadísticamente significativas (*p* = .008). En contraste, la diferencia entre el nivel metodológico y el avanzado (M = 80.2, Mdn = 83.5) no resultó significativa (*p* = .312), lo que indica que el salto cualitativo más relevante ocurre al incorporar hipótesis y variables explícitas. El tamaño del efecto obtenido ($\varepsilon^2 = 0.308$) respalda la relevancia práctica de esta diferencia en el contexto de la formación inicial en investigación.

Segundo, la precisión metodológica se confirma como la dimensión más deficiente en todos los niveles evaluados, con medias que oscilan entre 68.3 y 76.9. Más del 90% de los estudiantes presentó problemas para describir instrumentos, procedimientos y análisis estadísticos. Este hallazgo supera en magnitud lo reportado en estudiantes de semestres superiores (Montolío, 2014) y refleja el nivel inicial de los participantes, lo que subraya la urgencia de intervenciones tempranas en esta área.
Tercero, la redundancia (87%) y el uso limitado o inadecuado de conectores (80%) constituyen problemas transversales que afectan la cohesión textual. El lenguaje coloquial o informal persiste en tres cuartas partes de los estudiantes, lo que coincide con estudios previos sobre escritura de principiantes (Wilson & Czik, 2024) y sugiere la necesidad de talleres específicos de alfabetización académica desde el primer semestre.

Cuarto, la evaluación asistida por IA, mediante un prompt estructurado y con parámetros fijos, demostró ser útil para detectar problemas que los estudiantes no perciben por sí mismos. Los participantes valoraron la retroalimentación como un "espejo" que les mostró sus lagunas metodológicas y su estilo coloquial. Este resultado concuerda con investigaciones que muestran que la retroalimentación generada por IA puede aumentar la conciencia metacognitiva (Banihashem et al., 2024; Escalante et al., 2023), siempre que se acompañe de una reflexión guiada.

Quinto, la ausencia de mejora significativa en el nivel avanzado sugiere que la IA, utilizada de manera aislada, es insuficiente para promover saltos cualitativos en tareas de alta complejidad interpretativa. Este hallazgo respalda la necesidad de mediación docente y de modelos híbridos de retroalimentación, en línea con estudios que abogan por la combinación de IA con la revisión por pares o la tutoría humana (Chan et al., 2024; Steiss et al., 2024).

Discusiones

Los hallazgos de este estudio confirman que la evaluación asistida por IA, mediante un prompt estructurado, puede funcionar como una herramienta de retroalimentación formativa que revela problemas de escritura no percibidos por los estudiantes principiantes. La progresión significativa observada entre el nivel básico y el metodológico (p = .008) sugiere que la IA es particularmente efectiva para detectar deficiencias en textos que requieren una estructura metodológica explícita, como la inclusión

de hipótesis y variables. No obstante, la ausencia de mejora significativa entre el nivel metodológico y el avanzado (p = .312) indica que la retroalimentación automatizada, utilizada de manera aislada, es insuficiente para promover saltos cualitativos en tareas de alta complejidad interpretativa. Este resultado coincide con lo reportado por Steiss et al. (2024), quienes encontraron que, si bien los estudiantes que utilizaron ChatGPT mostraron mejoras en la calidad de sus ensayos, persistían diferencias significativas en comparación con aquellos que recibieron retroalimentación humana, especialmente en tareas que requerían razonamiento de orden superior.

La deficiencia sistemática en precisión metodológica, con medias que oscilan entre 68.3 y 76.9 en los tres niveles, constituye el hallazgo más relevante del estudio. Más del 90% de los estudiantes presentó problemas para describir instrumentos, procedimientos y análisis estadísticos, lo que supera en magnitud lo reportado en estudiantes de semestres superiores (Montolío, 2014) y refleja el nivel inicial de los participantes. Esta debilidad estructural, independiente de la complejidad del texto, sugiere que la escritura metodológica requiere un desarrollo cognitivo y práctico que no se resuelve únicamente con retroalimentación automatizada. En este sentido, los resultados respaldan la postura de Silgado-Tuñón y López-Flores (2025), quienes concluyeron que la eficacia de la IA depende críticamente de la integración pedagógica y del desarrollo de habilidades metacognitivas.

Un aspecto que merece atención es la alta frecuencia de redundancia (87%) y uso limitado de conectores (80%), así como la persistencia del lenguaje coloquial en tres cuartas partes de los estudiantes. Estos patrones coinciden con estudios previos sobre escritura de principiantes (Wilson & Czik, 2024) y sugieren que los estudiantes transfieren a la escritura académica las convenciones del lenguaje oral y coloquial, sin conciencia plena de las exigencias del registro formal. La retroalimentación generada por IA logró hacer visibles estos problemas, como lo evidencian las reflexiones metacognitivas de los participantes, quienes valoraron la evaluación como un "espejo" que les mostró lagunas que previamente desconocían. Este hallazgo concuerda con investigaciones que muestran que la retroalimentación generada por IA puede aumentar la conciencia metacognitiva (Banihashem et al., 2024; Escalante et al., 2023), siempre que se acompañe de una reflexión guiada y de un andamiaje docente que permita a los estudiantes procesar y aplicar las sugerencias recibidas.

Sin embargo, es necesario reconocer que la dependencia de una única fuente de evaluación —la misma IA que genera las puntuaciones— constituye una limitación metodológica relevante. Si bien el prompt estandarizado y los parámetros fijos (temperatura = 0) buscaban garantizar la consistencia de las respuestas, no se realizó una triangulación con evaluadores humanos que permitiera validar externamente las calificaciones asignadas por la IA. Esta decisión metodológica, aunque coherente con el objetivo descriptivo del estudio, introduce un posible sesgo de consistencia interna que debe ser considerado al interpretar los resultados. Futuras investigaciones deberían incorporar la comparación con juicios de expertos humanos para determinar el

grado de concordancia y la validez de la evaluación automatizada en diferentes dimensiones de la escritura académica.

La ausencia de mejora en el nivel avanzado sugiere que la IA, en su estado actual, es insuficiente para abordar tareas que requieren interpretación de resultados estadísticos y redacción tipo artículo científico. Este hallazgo respalda la necesidad de modelos híbridos de retroalimentación, en línea con lo propuesto por Chan et al. (2024) y Steiss et al. (2024), que combinan la retroalimentación generada por IA con la revisión por pares o la tutoría humana. En este sentido, la IA podría funcionar como una primera capa de retroalimentación que identifica problemas formales y estructurales, mientras que el docente o los pares podrían enfocarse en aspectos de orden superior como la argumentación, la profundidad conceptual y la coherencia global del texto.

En el contexto latinoamericano, donde la investigación sobre IAG en educación superior es aún incipiente (Díaz-Cuevas & Rodríguez-Herrera, 2024; Silgado-Tuñón & López-Flores, 2025), este estudio aporta evidencia empírica sobre los patrones de error y las áreas de mejora que la IA hace visibles en estudiantes de ingeniería de primer ingreso. Los hallazgos subrayan la necesidad de intervenciones tempranas y específicas en precisión metodológica, así como la importancia de diseñar ejercicios que aborden de manera explícita las dimensiones más deficientes detectadas. La integración de la IA en la enseñanza de la escritura académica no debe ser vista como un sustituto de la mediación docente, sino como un andamiaje que, utilizado críticamente, puede potenciar el desarrollo de habilidades metacognitivas y la conciencia sobre los propios procesos de escritura.

Por lo tanto, los resultados de este estudio sugieren que la evaluación asistida por IA puede ser una herramienta valiosa para la retroalimentación formativa en estudiantes principiantes, siempre que se utilice de manera complementaria a la intervención docente y se acompañe de procesos de reflexión guiada. La precisión metodológica emerge como la dimensión más crítica y demanda una atención pedagógica prioritaria desde los primeros semestres. Las futuras investigaciones deberían explorar modelos híbridos de retroalimentación y evaluar la sostenibilidad de las mejoras en el tiempo mediante diseños longitudinales.

Recomendaciones para la práctica docente

● Diseñar ejercicios específicos de precisión metodológica que incluyan la obligación de nombrar instrumentos, reportar validez y confiabilidad, especificar duración de intervenciones y detallar pruebas estadísticas.

● Implementar talleres de eliminación de redundancias usando ejemplos anonimizados de los propios estudiantes para que reescriban textos en la mitad de palabras.

● Crear ejercicios de conectores académicos con listas categorizadas (adición, contraste, causa-efecto, conclusión) y exigir variedad en su uso.

● Promover el uso combinado de IA y revisión por

pares: después de la retroalimentación de la IA, los estudiantes discuten en parejas cómo incorporar las sugerencias.

● Enseñar a referenciar incluyendo al menos una cita obligatoria por párrafo en textos de nivel avanzado, con verificación de normas APA.

Futuras líneas de investigación

Se necesitan estudios longitudinales con mediciones repetidas para evaluar si la práctica continua con retroalimentación de IA produce mejoras sostenidas en el tiempo. También sería valioso comparar grupos con y sin mediación docente para aislar el efecto de la IA sola y determinar el valor agregado de la intervención humana. Además, se podría explorar la calidad de la retroalimentación generada por diferentes modelos (ChatGPT-4, Gemini, Copilot) y su aceptación por parte de los estudiantes, así como incorporar medidas de esfuerzo cognitivo para contrastar hipótesis de externalización de procesos cognitivos. Finalmente, se sugiere ampliar la muestra a otras instituciones y carreras para evaluar la generalización de los hallazgos.

Referencias

Alasmari, T. M., & Alshammari, A. S. (2024). Assessing the role of ChatGPT in improving Saudi EFL students' academic writing performance. *Journal of Educational Computing Research*, 62(5), 1289-1312.

Banihashem, S. K., Taghizadeh Kerman, N., Noroozi, O., Moon, J., & Drachsler, H. (2024). Feedback sources in essay writing: Peer-generated or AI-generated feedback? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, Article 23. https://doi.org/10.1186/s41239-024-00455-4

Cassany, D. (2006). Taller de textos: Leer, escribir y comentar en el aula. *Paidós*.

Chan, S., Lo, N., & Wong, A. (2024). Generative AI and essay writing: Impacts of automated feedback on revision performance and engagement. *rEFLections*, 31(3), 1249-1284.

Díaz-Cuevas, A. P., & Rodríguez-Herrera, J. D. (2024). Usos de la Inteligencia Artificial en la escritura académica: experiencias de estudiantes universitarios en 2023. *Cuaderno de Pedagogía Universitaria*, 21(42), 25-44. https://doi.org/10.29197/cpu.v21i42.595

Escalante, J., Pack, A., & Barrett, A. (2023). AI-generated feedback on writing: Insights into efficacy and ENL student preference. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, Article 57. https://doi.org/10.1186/s41239-023-00425-2

Frome, J. (2024, June 15-18). Content analysis of student AI use in a first-year writing course [Paper presentation]. *Higher Education Conference in Singapore* (HECS) 2024, National University of Singapore.

Lee, H.-Y., Huang, Y.-M., & Wu, T.-T. (2025). ChatGPT in education: A systematic review of current landscape, limitations and future directions through general system theory lens. *European Journal of Education*, 60(4). https://doi.org/10.1111/ejed.70262

Le, T. T. P., Quach, T. T. N., Pham, T. X. T., & Nguyen, D. L. (2025). A systematic review of how ChatGPT is perceived and utilized in EFL writing classes: Implications for Vietnam. *AsiaCALL Online Journal*, 16(1), 295-311.

Maturana, A. J. (2025). Inteligencias Artificiales Generativas y prácticas de escritura académica en la Educación Superior: Un estado del arte desde aportes publicados en América Latina en 2022-2023. *Revista RAES*, 17(30), 98-113.

Montolío, E. (2014). Manual práctico de escritura académica (3ª ed.). *Ariel*.

Raptopoulou, A. (2025). Generative AI in European higher education: Youth perspectives and usage patterns. *European Journal of Education*, 60(3). https://doi.org/10.1111/ejed.70131

Silgado-Tuñón, D. A., & López-Flores, J. I. (2025). Inteligencia Artificial Generativa en la Educación Superior: una Revisión Sistemática. UNION: *Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, 36(1), 45-68.

Steiss, J., Tate, T., Graham, S., Cruz, J., Hebert, M., Wang, J., Moon, Y., Tseng, W., Warschauer, M., & Olson, C. B. (2024). Comparing the quality of human and ChatGPT feedback on students' writing. *Learning and Instruction,* 91, 101894.

Wilson, J., & Czik, A. (2024). Automated writing evaluation and feedback: A systematic review of effectiveness. *Computers and Education*, 193, 104671.

Yang, H., Gao, C., & Shen, H. (2024). Learner interaction with, and response to, AI-programmed automated writing evaluation feedback in EFL writing: An exploratory study. *Education and Information Technologie*s, 29, 3837-3858.

Yan, D. (2023). Impact of ChatGPT on EFL students' academic writing skills: A mixed-methods intervention study. *Smart Learning Environments*, 10, Article 8. https://doi.org/10.1186/s40561-023-00295-5

Zhai, X. (2024). Transforming education with AI: A systematic review of ChatGPT's role in learning, academic practices, and institutional adoption. *Heliyon,* 10(4), e26055. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26055

Zhang, L. (2024). Human-AI collaboration patterns in AI-assisted academic writing. *Studies in Higher Education*, 49(5), 889-905.

PULSOTEC: REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA
AÑO 2 / VOLUMEN 2 / AGOSTO 2026 ISSN:3122-4032

Alfabetización en inteligencia artificial generativa en la formación de ingeniería

Generative Artificial Intelligence Literacy in Engineering Education

José Dolores Ruiz-Ayala[1], Ruth de la Peña-Martínez[2], Armando Enríquez-Flores[3], Karla Lucía Rodríguez de la Torre[4]

[1,2,3,4] Tecnológico Nacional de México / La Laguna

Blvd. Revolución y Av. Tecnológico de La Laguna

ORCID: [1]https://orcid.org/0000-0002-7269-2881 | [2]https://orcid.org/0000-0002-7774-867X | [3]https://orcid.org/0009-0007-1982-0411 | [4]https://orcid.org/0009-0001-8930-0178

Autores de correspondencia: jdruiza@lalaguna.tecnm.mx; rdelapenam@lalaguna.tecnm.mx (autor correspondencia); aenriquezf@correo.itlalaguna.edu.mx klrodriguezdelat@correo.itlalaguna.edu.mx

Resumen:
En el presente artículo se analizó el uso de plataformas de Inteligencia Artificial Generativa (IAG), en la enseñanza de la ingeniería, se utilizó como metodología una revisión documental sistemática de literatura científica sobre alfabetización en IAG y su aplicación limitada a la educación superior. El objetivo fue analizar los aspectos a tomar en cuenta, en la educación superior, basado en literatura reciente. La revisión se llevó a cabo en publicaciones de enero de 2023 a abril del presente año, seleccionando un conjunto de 30 trabajos considerados pertinentes. Se identificaron cinco categorías para precisar su revisión. Los resultados muestran, que el uso de una IAG tiene como pre requisito mandatorio, una formación o alfabetización en dicho uso, que permita acceder a los beneficios del apoyo prestado por dichas plataformas, tales como la elaboración de resúmenes de grandes cantidades de información y de diferentes orígenes, preparación de materiales de apoyo a la docencia, análisis de datos mediante una conversación iterativa e hilvanada entre la herramienta y el usuario, localización y clasificación de fuentes formales de información acerca de algún tópico, entre otros usos. La aportación de este estudio es una comprensión del funcionamiento de la IAG para prevenir imprecisiones, y tener la conciencia de que es solo un apoyo, y que no limite el desarrollo del pensamiento crítico. La originalidad la reflejamos en el establecimiento de un marco de trabajo de uso de plataformas de IAG de una manera ética y provechosa en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Palabras Clave: Inteligencia Artificial Generativa, Alfabetización en IA, Integridad académica, Evaluación educativa, Plataformas de IA.

Abstract:
This article analyzes the use of Generative Artificial Intelligence (GAI) platforms in engineering education. The methodology employed was a systematic literature review of scientific research on GAI literacy and its limited application to higher education. The objective was to analyze the aspects to consider in higher education, based on recent literature. The review was conducted on publications from January 2023 to April of this year, selecting a set of 30 relevant works. Five categories were identified to refine the review. The results show that the use of GAI requires, as a mandatory prerequisite, training or literacy in its application. This allows access to the benefits of the support provided by these platforms, such as summarizing large amounts of information from diverse sources, preparing teaching support materials, analyzing data through an iterative and interconnected dialogue between the tool and the user, and locating and classifying formal sources of information on a given topic, among other uses. The contribution of this study is an understanding of how IAG functions to prevent inaccuracies and to raise awareness that it is merely a support tool and should not limit the development of critical thinking. Its originality lies in establishing a framework for the ethical and productive use of GAI platforms in the teaching and learning process..

Keywords: Generative Artificial Intelligence, AI Literacy, Academic Integrity, Educational Assessment, AI platforms.

Introducción

El uso de la inteligencia artificial generativa (IAG) en la educación superior ha cambiado de manera drástica la forma en que estudiantes, docentes e investigadores interactúan con la información, producen conocimiento y desarrollan actividades académicas. Usar IAG para producir texto, explicar conceptos, resumir documentos extensos, proponer soluciones a problemas ingenieriles, o elaborar código de programación en algún lenguaje, ya forman parte de prácticas universitarias en innumerables planteles. Este cambio no representa solo un nuevo recurso tecnológico, sino un entorno intelectual distinto, en el que la producción automatizada de contenido desafía formas tradicionales de aprender, enseñar y evaluar. La problemática se acentúa o se refleja en la valoración del conocimiento, cómo sabemos qué aprende realmente el estudiante.

En la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, la consideración anterior es especialmente importante en asignaturas como programación, bases de datos, fundamentos de investigación, ingeniería de software y taller de investigación, entre otras. La IAG puede apoyar en explicación de conceptos, rutas de solución, ejemplos alternativos y estructuración de información; pero su uso se vuelve problemático, cuando se trata del esfuerzo cognitivo, se asumen respuestas sin verificación o cuando se presentan como propias elaboraciones sin la suficiencia en su análisis. El problema educativo no reside entonces en la herramienta en sí, sino en las condiciones pedagógicas, éticas y académicas de su integración.

Pregunta de investigación. Se observa entonces que ya no debemos preguntarnos si se requiere capacitación o no en IAG, sino ¿Qué representa la alfabetización en IAG, sus características, aplicación y sus beneficios? Esto no se limita a usar la plataforma tal o cual, conlleva comprender cómo operan estos sistemas, sus alcances y limitaciones, evaluar críticamente la calidad de sus respuestas, detectar inconsistencias, contrastar información y actuar con responsabilidad frente a autoría, sesgo, privacidad, transparencia y uso ético. Podemos entonces anticipar que tanto su uso para enseñar, para investigar, para estudiar, podrá apoyarse en el uso de una IAG, pero como un auxiliar, no como un remplazo de cualquier tarea en las tres vertientes mencionadas.

El objetivo central es aprender una disciplina tecnológica (IAG), pero no solo es para obtener un resultado correcto, el verdadero conocimiento es la comprensión del proceso o procedimiento que nos lleve a él, poder justificarlo y reproducirlo sobre todo en otras condiciones. Si usamos IAG y no verificamos el desarrollo de competencias para el trabajo, no estaremos favoreciendo la intención formativa, el sentido crítico de análisis de alternativas, el aprendizaje de los errores, la toma de decisiones, entre otros aspectos fundamentales del proceso enseñanza aprendizaje.

El análisis realizado llevó a detectar cinco categorías en la alfabetización en IAG: (a) conceptualización de la alfabetización en IAG (b) competencias para el uso de IAG (c) ética, sesgo, privacidad y responsabilidad (d) integridad académica y autoría y (e) evaluación y rediseño didáctico en ingeniería.

Desde esta clasificación, se busca presentar una lectura organizada del estado actual del tema y proporcionar elementos que apoyen en decisiones curriculares, la práctica docente, así como investigaciones futuras.

Estado del arte

Actualmente ChatGPT ocupa un lugar particular, ya que fue un punto de inflexión en la difusión y uso de la IAG conversacional. La empresa OpenAI presentó esta IAG públicamente el 30 de noviembre de 2022, y a partir de ahí empezaron a proliferar otras IAG. Por ello, se considera más que un pionero, como el catalizador que visualizó este paradigma y abrió el camino para que otras plataformas entraran con fuerza en el mercado y uso de las IAG (OpenAI, 2022; Jensen et al., 2025).

La empresa Google, lanza al mercado su plataforma de IAG Gemini, con las prestaciones de ChatGPT, adicionándole algunas características muy específicas para educación, como generación de materiales didácticos, presentaciones, infografías y otros (Google, 2024). Por su parte el gigante Microsoft, llega al mercado con Copilot, siendo el mismo caso de Gemini, pero con un marco de trabajo muy completo que permite crear flujos completos de tareas informáticas, de usos específicos (Microsoft, 2024).

Por su parte la International Business Machinery (IBM) hace su aparición espectacular con Granite, una IAG que adiciona un marco de trabajo para desarrollo de aplicaciones informáticas con todas sus fases de la Ingeniería de Software, algo extraordinario porque maneja más de 120 lenguajes de programación (IBM, 2024).

Los primeros estudios empíricos mostraron entusiasmo y utilidad, pero también la necesidad de ser cautelosos en su uso. Chan y Hu (2023) documentaron beneficios en la parte conversacional, para la generación de ideas, escritura, síntesis y acompañamiento, pero también riesgos de respuestas o resultados inexactos, dependencia al uso de la herramienta, plagio y lo más grave, debilitamiento del esfuerzo cognitivo. Ngo (2023) encontró una valoración de ChatGPT como apoyo más que como sustituto, mientras que Strzelecki y ElArabawy (2024) mostraron que la aceptación depende de expectativas de desempeño y facilidad de uso. Esto refuerza que su incorporación universitaria es tecnológica y sociocultural, pero sin dejar de considerar los inconvenientes mencionados (Chan & Hu, 2023; Ngo, 2023; Strzelecki & ElArabawy, 2024).
Durante 2024 y 2025, la investigación comenzó a describir patrones de uso y diferencias entre actores. Sousa y Cardoso (2025) reportan usos estudiantiles en búsqueda rápida de información, redacción, estructuración de ideas y apoyo en tareas, junto con desafíos de validación. Alshamy et al. (2025) evidencian diferencias entre la percepción de estudiantes y académicos en cuanto a la utilidad, facilidad de uso, intención de uso y desafíos. Se reconoce así que la IAG se incorpora de manera desigual según experiencia, rol, disciplina y cultura institucional, de ahí la gran necesidad de una Alfabetización en el uso de las IAG (Sousa & Cardoso, 2025; Alshamy et al., 2025).

Muchas universidades han respondido con rapidez,

aunque no siempre de manera coherente. Kurtz et al. (2024) tienen la postura que la integración de IAG exige estrategias muy claras para cuidar riesgos y aprovechar oportunidades; Jin et al. (2025), en su revisión de lineamientos, políticas y reglamentos de 40 universidades, identifican tres clasificaciones: integridad académica, mejora del proceso enseñanza-aprendizaje e igualdad en el acceso. Luo (2024) observa que muchas políticas siguen formuladas desde una lógica defensiva centrada en proteger la originalidad, dejando menos desarrolladas dimensiones como coautoría humano-IA, transparencia y desempeño auténtico, es decir bloqueando un mejor aprovechamiento del apoyo que el uso de una IAG representa (Kurtz et al., 2024; Jin et al., 2025; Luo, 2024).

La piedra angular en la creación de un esquema efectivo, para el uso de una IAG, es la alfabetización. Hackl et al. (2026) expresan que la educación superior debe pasar de nociones vagas de competencia digital a una conceptualización estructurada de alfabetización en IA, diferenciada de alfabetizaciones cercanas. Park (2025) muestra que, al enfocarse en IAG, emergen competencias propias, tales como: comprender cómo funcionan los sistemas, usarlos con propósito, evaluar críticamente sus respuestas, incorporar sus productos de manera reflexiva y atender implicaciones éticas. La IAG deja así de verse como simple herramienta de productividad y se convierte en objeto de alfabetización explícita, es decir que todo usuario de una IAG debe de ser capacitado en el uso de ella; es como aprender una metodología de desarrollo de algo, no aventurarse al auto aprendizaje y tener que descubrir por sí mismo las ventajas y riesgos de su uso (Hackl et al., 2026; Park, 2025).

Los marcos conceptuales incipientes o ya maduros, han sido acompañados por esfuerzos de medición, pero si no hay todo un esquema de políticas, reglamentos y guías para su uso, no se obtienen resultados seguramente favorables, porque queda a juicio del usuario de la IAG el uso de la misma. Yan et al. (2026) identifican conciencia, uso, evaluación y ética/riesgos como dimensiones clave que predicen prácticas como protección de privacidad y verificación. De manera complementaria, Jin et al. (2025) y Yan (2025) desarrollan el Generative AI Literacy Assessment Test (GLAT), basado en desempeño y no solo en la percepción del usuario. La formación universitaria debe incluir criterios observables para valorar el uso informado de IAG, es decir criterios que permitan valorar el aprendizaje (Yan et al., 2026; Jin et al., 2025b).

Bittle y El-Gayar (2025) organizan la evidencia en riesgos de deshonestidad académica, las implicaciones pedagógicas de la falta de un uso ético y efectos que ello tiene sobre el aprendizaje y en general en la práctica educativa. Su trabajo deja el énfasis sobre hacer trampa, destacando más bien la comprensión fina de cómo estas herramientas reconfiguran la originalidad, la autonomía, la demostración de aprendizaje y legitimidad del apoyo externo, es decir destacan las bondades, pero no excluyen los riesgos.

Un tema urgente es la declaración de la forma de usar una IAG bajo un reglamento. Gonsalves (2025) muestra que el incumplimiento de declaraciones sobre IA no puede interpretarse siempre como simple

deshonestidad individual, pues también expresa ambigüedades normativas y vacíos de evaluación, siendo estos últimos una consecuencia de lo anterior. Tan et al. (2025) encuentran que los estudiantes perciben la regulación institucional mediante un equilibrio inestable entre obediencia normativa, utilidad académica y temor a sanciones. El gobierno o control del proceso educativo, debe incluir marcos regulatorios de fácil comprensión, que regulen pero no prohíban el uso de las IAG (Gonsalves, 2025; Tan et al., 2025).

En investigación pareciera ser que hay más incertidumbre, en cuanto a información sesgada, pero precisamente es uno de los aspectos de ayuda de las IAG, localización de fuentes de información confiables, análisis de diferencias o similitudes, y claro coherencia en los resultados de las conversaciones iterativas usuario – plataforma. (Alduais et al., 2025).

Corbin et al. (2025) considera que el uso de la IAG ha enfrentado los mismos aspectos que se presentan en la solución de problemas de ingeniería complejos, no hay reglas que cubran la totalidad de posibilidades de solución y el razonamiento, por mencionar algunos (Corbin et al., 2025a; Corbin et al., 2025b).

Los docentes admiten la necesidad de replantear las instrumentaciones didácticas, con un énfasis particular en las formas de evaluar el aprendizaje. Lo anterior porque queda muy en claro que si cambiamos las estrategias de enseñanza – aprendizajes tradicionales, por unas apoyadas en IAG, estamos cambiando por completo el contexto del proceso (Khlaif et al., 2024).

Los beneficios educativos conviven con problemas de información sesgada e integridad académica. El aprendizaje de la ingeniería va más allá de memorizar contenidos o aprender técnicas o aplicación de fórmulas, se debe aprender a modelar soluciones a problemas complejos, poder justificar alternativas y decisiones, depuración de errores y llevar principios a problemas nuevos. Esta es la razón principal de usar una IAG, contribuir al desarrollo del pensamiento sistémico, el tan aclamado pensamiento crítico (Liu, 2025).

Usar una IAG cambia la gran mayoría de las reglas implícitas en el aula tradicional, modifica la forma de aprender, la demostración de cualquier competencia que se quiera desarrollar. En asignaturas como programación, bases de datos o taller de investigación, su uso formativo tiene que ser muy cuidadoso, porque si bien es muy útil, también es muy fácil salirse de un esquema ético y responsable (Lindell & Stöhr, 2026).

Combinando las opiniones vertidas por los expertos, vemos que el uso de las IAG, detonó la necesidad de establecer políticas y lineamientos para su uso, así como una robusta formación o alfabetización para una aplicación efectiva, y mecanismos adecuados de aseguramiento en la valoración del aprendizaje bajo este paradigma (Dai et al., 2026; Jin et al., 2025a; Hackl et al., 2026).

Desarrollo o metodología

La búsqueda de información se realizó en la selec-

ción de estudios siguió un proceso de tipo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), con una búsqueda realizada entre enero de 2023 y abril de 2026 en Web of Science, ERIC, Google Scholar, SciELO y Dialnet con el propósito de obtener una cobertura internacional e iberoamericana. En base a las palabras clave mencionadas al principio, tanto en español como en inglés, se realizó la búsqueda de información,

La selección se realizó excluyendo a quienes tenían alcance general, no específicamente en educación superior, sino principalmente en la enseñanza de la ingeniería. Se dio preferencia a aquellos con Identificador de Objeto Digital (DOI, por sus siglas en inglés) y a alguno de los índices mencionados anteriormente.

En la primera etapa se seleccionaron 45 documentos potencialmente con incidencia directa en los temas definidos por las palabras clave. Tras una revisión de los resúmenes y de las conclusiones y en algunos casos, del texto completo, se determinó que un conjunto de 30 trabajos sería el corpus final para soportar y llevar a cabo el objetivo del estudio. El procedimiento analítico tuvo cuatro momentos: búsqueda inicial, depuración según criterios de inclusión y exclusión, lectura analítica de los textos elegibles y codificación temática. Dentro de este análisis se tomaron conceptos y metodologías aplicadas, con la finalidad de organizarlos e ir determinando los componentes o clasificaciones, que permitieran dar forma a aspectos coincidentes, o contradicciones, así como elementos complementarios o aglutinantes.

Conforme se fueron detectando los aspectos coincidentes y relevantes, se fue categorizando, hasta quedar de la siguiente manera: (a) conceptualización de la alfabetización en IA (b) competencias para el uso de IAG (c) ética, sesgo, privacidad y responsabilidad, (d) integridad académica y autoría, y (e) evaluación y rediseño didáctico en ingeniería.

Criterios de inclusión. Se incluyeron estudios publicados entre enero de 2023 y abril de 2026 considerando artículos en dos idiomas español e inglés, periodo e idiomas elegidos para concentrar la producción más reciente sobre inteligencia artificial generativa en instituciones de educación superior específicamente en ingenierías, la alfabetización en inteligencia artificial generativa, la ética, la integridad académica, la evaluación educativa o el rediseño didáctico.

Criterios de exclusión. Se excluyeron documentos publicados fuera del periodo establecido, notas periodísticas sin sustento académico o científico. Se eliminaron los estudios que no abordaban directamente la educación superior ni la formación en ingeniería, así como aquellos en los que la inteligencia artificial generativa solo aparecía de forma tangencial.

Conceptualización de la alfabetización en inteligencia artificial. La conceptualización reciente de la alfabetización en inteligencia artificial ha dejado de limitarse al dominio operativo de las herramientas y se ha desplazado hacia una comprensión más amplia, crítica y curricular. Alfabetización en IAG es un concepto muy amplio, donde el saber usar una

plataforma tecnológica es solo el punto de partida; se debe tener un conocimiento pleno del funcionamiento de dicha plataforma, no tanto para esperar lo inesperado, sino para esperar alucinaciones, por ejemplo, cuando la IAG produce una respuesta poco aproximada a lo que se pide.

En este sentido, el modelo del AI Literacy Heptagon propone una estructura de siete dimensiones —técnica, aplicacional, pensamiento crítico, ética, social, integración y legal—, lo que engloba la alfabetización en IA, que debe concebirse como una competencia transversal y no como una habilidad instrumental aislada. Esta visión de alfabetización en IA la considera una capacidad propia del contexto algorítmico contemporáneo, o de la enseñanza moderna (Hackl et al., 2026; Tzirides et al., 2024).

La revisión sistemática de Park (2025) resalta que la alfabetización en IAG gira en torno a cinco núcleos básicos: (a) saber y comprender la tecnología, (b) su uso y aplicación, (c) valorar e incorporar con un sentido crítico los resultados, (d) considerar implicaciones éticas y (e) tomar actitudes adecuadas frente a su uso. Destaca una necesidad de considerar todas las respuestas, ya que hasta aquellas aparentemente impecables pueden resultar equivocadas, es decir que la plataforma se equivocó, alucinó. Hablar de alfabetización en IAG implica visualizar la parte formativa para el pensamiento crítico, la autorregulación y la toma de decisiones, en contextos educativos apoyados por una producción automatizada de contenido, gracias al uso de una plataforma inteligente (Park, 2025; Hackl et al., 2026).

Competencias para el uso de IAG. Una competencia relativa a la comprensión funcional de estos sistemas, involucra tener la conciencia plena sobre el tipo de tareas que resuelven bien, con detalles tal vez, pero que puede afinar en una o varias iteraciones. Cuáles resuelven de manera deficiente, es decir, que de antemano sabemos que es muy probable que solo se aproxime, qué sesgos o errores pueden aparecer y cómo interpretar sus respuestas. En la Figura 1. Vemos de manera esquemática las competencias para el uso de la IAG.

Este planteamiento se refuerza con estudios centrados en medición objetiva. El Generative AI Literacy Assessment Test (GLAT) constituye un avance importante porque propone una evaluación basada en desempeño y no solo en la autopercepción. Los puntajes obtenidos en el GLAT reportan con mayor claridad el rendimiento en tareas con IAG que las autoevaluaciones de competencia

Figura1. *Resumen de competencias necesarias en el uso de IAG.*

Nota: *Elaboración propia.*

Sentirse capaz no representa necesariamente que se use la herramienta con solvencia académica, debe mediar una valoración. Tenemos el estudio de Johnston et al. (2024), muestran que los estudiantes emplean estas tecnologías para resumir, explicar, generar ideas y apoyar su trabajo, sin embargo, reconocen la posibilidad de generar dependencia al uso de dichas herramientas, así como la posibilidad de algún uso indebido. Las competencias que se evidencian en estos estudios comprenden los aspectos cognitivos, metacognitivos y disciplinares. En asignaturas como programación, bases de datos o fundamentos de investigación, esta tríada es muy relevante porque el valor del aprendizaje no reside solo en el resultado, sino en la capacidad de explicar el procedimiento, defender decisiones y verificar la validez de lo producido (Jin et al., 2025; Johnston et al., 2024).

Ética, sesgo, privacidad y responsabilidad. La ética en el uso de IAG no es un anexo o un agregado, es un eje mandatorio, responsabilidad de la administración educativa y trasladada con la suficiente claridad a los usuarios. Los resultados sesgados, habrán de ser visualizados como un aspecto a tener siempre presente y no como un hecho aislado. La privacidad debe considerarse seriamente, ya que las plataformas están en un aprendizaje continuo y recaban información de los usuarios y sus instituciones, manejadas en las conversaciones. Surge entonces la necesidad de una precisión en la responsabilidad individual del manejo de información sensible, así como en el uso académico y socialmente responsable (Fu & Weng, 2024; García-López & Trujillo-Liñán, 2025).

García-López y Trujillo-Liñán (2025) resaltan entre los riesgos más álgidos, la protección insuficiente de datos, la poca regulación al respecto y la falta de la capacitación asociada. En lo que a investigación se refiere, se ha desarrollado el protocolo Ethical, que a grandes rasgos pone las pautas a seguir en los siguientes rubros: definición del propósito, explorar alternativas para la solución de problemas, seleccionar la herramienta más apropiada a cada caso, inspeccionar y verificar salidas, citar con precisión, transparentar el uso y revisar lineamientos institucionales o editoriales (Alduais et al., 2025; García-López & Trujillo-Liñán, 2025).

Resultados

Este estudio identificó la incorporación del uso de IAG como un cambio paradigmático en la educación, en este caso, en la enseñanza de la ingeniería. Se observa como un cambio con una rápida consolidación, que debe ser tomado muy en serio por los planteles de educación superior. Asimismo se percibe una notable falta de definición tanto conceptual como metodológica.

De los 30 trabajos revisados se observa que de una forma natural, hay una distribución igualitaria entre aquellos enfocados en la educación superior, y los enfocados a la ingeniería en particular. Destacando que, en términos generales, todavía existe la necesidad de ampliar el estudio de la incorporación de IAG en las universidades (Liu, 2025; Lindell & Stöhr, 2026).

Un resultado concluyente es la coincidencia en la importancia y la necesidad imperiosa de atender

de manera efectiva la alfabetización en IAG como competencia emergente. Como se explica en el desarrollo, no se trata solo de capacitación en el manejo de dichas plataformas, sino de considerar otros aspectos, como un uso analítico que promueva la curiosidad y el pensamiento crítico, incorpore un sentido responsable y ético, y cuide la privacidad (Hackl et al., 2026; Jin et al., 2025; Park, 2025).

El estudio determinó la coincidencia en la presencia de tres núcleos: (a) comprensión funcional, (b) uso estratégico mediante prompts y refinamiento iterativo, y (c) evaluación crítica de los productos generados por la plataforma. Destaca el hecho de que la evaluación crítica de los resultados obtenidos es el punto más sensible, ya que el riesgo radica en aceptar como válidas respuestas sin verificar su consistencia, precisión y la pertinencia disciplinar. Usar IAG tiene un carácter formativo principalmente del juicio del usuario que de la herramienta utilizada, lo cual se considera en la alfabetización ya mencionada (Johnston et al., 2024; Park, 2025).

Como tercer resultado tenemos los siguientes aspectos: (a) ético, (b) sesgo, (c) privacidad y (d) responsabilidad. El corpus que se analizó muestra una gran coincidencia respecto a que los modelos generativos pueden reproducir sesgos, generar información inexacta y propiciar usos poco claros, si no existe formación explícita para su manejo. Se observó que la discusión ética ha migrado hacia enfoques más de utilización, centrados en la supervisión humana, la transparencia de uso, la trazabilidad y la responsabilidad académica. Esto indica que la ética de la IA en educación superior no es una advertencia general, sino que empieza a consolidarse como un conjunto de prácticas asociadas a revisión, documentación y criterio profesional (Fu & Weng, 2024; García-López & Trujillo-Liñán, 2025; Alduais et al., 2025).

En cuarto lugar tenemos la integridad académica y la autoría. La preocupación ya no se limita al plagio tradicional, sino a la posibilidad de que los productos académicos no reflejen procesos auténticos de comprensión, análisis e involucren la toma de decisiones. La autoría es responsabilidad intelectual sobre construcción, selección, validación y uso del contenido, no simple producción del texto final. Esto obliga a replantear reglas de atribución, transparencia y legitimidad del apoyo tecnológico (Bittle & El-Gayar, 2025; Bouteraa et al., 2024; Coates et al., 2025).

Finalmente, se observa que la literatura converge en la necesidad de rediseñar la evaluación y la didáctica, en el caso concreto de contextos de ingeniería. Los trabajos revisados sostienen que en áreas del conocimiento donde el aprendizaje depende de la lógica, la modelación, la resolución de problemas y la justificación técnica, no es suficiente con evaluar productos terminados susceptibles de automatización. Se identificó una tendencia dominante, la recomendación de diseñar tareas que hagan palpable el razonamiento del estudiante por medio de la explicación de procedimientos, defensa de decisiones, trazabilidad del proceso, comparación de soluciones y la reflexión sobre el uso de la IA. Los resultados permiten afirmar que la integración educativa de la inteligencia artificial generativa no puede entenderse solo como incorporación tecnológica, sino como un problema formativo que exi-

ge alfabetización específica, criterios éticos, redefinición tanto de autoría como transformación de las prácticas evaluativas (Corbin et al., 2025a, 2025b; Khlaif et al., 2025; Liu, 2025; Garg et al., 2025).

Hallazgos y/o conclusiones

Uno de los principales hallazgos de esta investigación documental es que la alfabetización en inteligencia artificial generativa se está configurando como una necesidad formativa emergente en la educación superior, y no como un complemento opcional de la competencia digital. La literatura reciente permite advertir que la expansión de estas herramientas ha producido un cambio cualitativo en la relación entre estudiantes, docentes y conocimiento académico. Ya no se trata solo de acceder a información, sino de interactuar con sistemas capaces de producir lenguaje, código, explicaciones y soluciones con un alto nivel de plausibilidad. Este rasgo obliga a redefinir qué significa aprender, demostrar comprensión y ejercer la autoría intelectual en contextos en los que parte del contenido puede generarse automáticamente. En consecuencia, el hallazgo central es que la universidad, y en especial la formación en ingeniería, necesita transitar de una lógica de reacción ante la IA a una lógica de formación crítica para su uso.

Un segundo hallazgo es que las categorías analizadas no operan de manera aislada. La conceptualización de la alfabetización en IA se vincula con competencias de uso; estas, a su vez, con preocupaciones éticas, la integridad académica y el rediseño de la evaluación. No es posible hablar de uso responsable sin considerar simultáneamente la comprensión funcional, la evaluación crítica, la ética de la información, la autoría y la validación del aprendizaje. El análisis muestra que el debate sobre IAG debe abordarse como un fenómeno educativo complejo que incide en el currículo, la didáctica, la evaluación y la cultura académica.

En el caso específico de la ingeniería, el hallazgo más significativo es que la IAG no puede evaluarse únicamente por su capacidad para mejorar la productividad. En este campo, su valor educativo depende de si fortalece o debilita procesos como la lógica, la modelación, la depuración de errores, la validación de procedimientos y la argumentación técnica.

En conclusión, la integración de IAG en educación superior no debe abordarse desde aceptación irrestricta ni rechazo absoluto. La literatura revisada muestra que ambas posturas son limitadas: una ignora riesgos de sesgo, privacidad, dependencia e integridad; la otra desconoce que estas tecnologías ya forman parte del entorno académico y profesional. La tarea prioritaria consiste en formar usuarios críticos, éticos y académicamente responsables, capaces de aprovechar las ventajas de la IA sin delegar en ella el núcleo de sus procesos intelectuales.

Finalmente, puede concluirse que la educación en ingeniería representa una oportunidad estratégica. Si la inteligencia artificial generativa se incorpora con criterios claros, actividades auténticas y mecanismos de evaluación centrados en los procesos, puede convertirse en una aliada para fortalecer la formación profesional. Pero si se incorpora sin orientación pedagógica, existe el riesgo de empo-

brecer el aprendizaje y de debilitar la construcción de autonomía intelectual.

En ese sentido, el principal aporte del presente trabajo es ofrecer una base conceptual para futuras decisiones curriculares, investigaciones aplicadas e intervenciones didácticas orientadas a integrar la IAG con un sentido formativo. El reto no consiste solo en convivir con estas herramientas, sino en enseñar a pensar con criterio ante ellas.

REFERENCIAS

Alduais, A., Qadhi, S., Chaaban, Y., & Khraisheh, M. (2025). The ETHICAL Protocol for Responsible Use of Generative AI for Research Purposes in Higher Education. *AI Magazine*, 46(4), e70047. https://doi.org/10.1002/aaai.70047

Alshamy, A., Al-Harthi, A., & Abdullah, S. (2025). Perceptions of Generative AI Tools in Higher Education: Insights From Students and Academics at Sultan Qaboos University. *Education Sciences*, 15(4), 501. https://doi.org/10.3390/educsci15040501

Bittle, K., & El-Gayar, O. (2025). Generative AI and Academic Integrity in Higher Education: A Systematic Review and Research Agenda. *Information*, 16(4), 296. https://doi.org/10.3390/info16040296

Bouteraa, M., Bin-Nashwan, S., Al-Daihani, M., Dirie, K., Benlahcene, A., Sadallah, M., . . . Chekima, B. (2024). Understanding the Diffusion of AI-Generative (ChatGPT) in Higher Education: Does Students' Integrity Matter? *Computers in Human Behavior Reports,* 14, 100402. https://doi.org/10.1016/j.chbr.2024.100402

Chan, C., & Hu, W. (2023). Students' Voices on Generative AI: Perceptions, Benefits, and Challenges in Higher Education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, 43. https://doi.org/10.1186/s41239-023-00411-8

Coates, H., Croucher, G., & Calderon, A. (2025). Governing Academic Integrity: Ensuring the Authenticity of Higher Thinking in the Era of Generative Artificial Intelligence. *Journal of Academic Ethics,* 23(4), 2015-2028. https://doi.org/10.1007/s10805-025-09639-7

Corbin, T., Bearman, M., Boud, D., & Dawson, P. (2025). The Wicked Problem of AI and Assessment. *Assessment & Evaluation in Higher Education.* https://doi.org/10.1080/02602938.2025.2553340

Corbin, T., Dawson, P., Nicola-Richmond, K., & Partridge, H. (2025). Where's the Line? It's an Absurd Line: Towards a Framework for Acceptable Uses of AI in Assessment. *Assessment & Evaluation in Higher Education,* 50(5), 705-717. *https://doi.org/10.1080/02602938.2025.2456207*

Dai, K., Liu, Y., & Zhang, X. (2026). Generative AI in Higher Education: A Bibliometric Review of Emerging Trends, Power Dynamics, and Global Research Landscapes. Computers and Education: *Artificial Intelligence,* 10, 100544. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2026.100544

Fu, Y., & Weng, Z. (2024). Navigating the Ethical Terrain of AI in Education: A Systematic Review on Framing Responsible Human-Centered AI Practices. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100306. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100306

García-López, I., & Trujillo-Liñán, L. (2025). Ethical and Regulatory Challenges of Generative AI in Education: A Systematic Review. *Frontiers in Education*, 10, 1565938. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1565938

Garg, A., Soodhani, K., & Rajendran, R. (2025). Enhancing Data Analysis and Programming Skills Through Structured Prompt Training: The Impact of Generative AI in Engineering Education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100380. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100380

Gonsalves, C. (2025). Addressing Student Non-Compliance in AI Use Declarations: Implications for Academic Integrity and Assessment in Higher Education. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 50(4), 592-606. https://doi.org/10.1080/02602938.2024.2415654

Google. (15 de 2 de 2024). Our Next-Generation Model: *Gemini* 1.5. https://blog.google/innovation-and-ai/products/google-gemini-next-generation-model-february-2024/

Hackl, V., Müller, A., & Sailer, M. (2026). The AI Literacy Heptagon: A Structured Approach to AI Literacy in Higher Education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 10, 100540. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2026.100540

IBM. (2024). Granite. https://www.ibm.com/granite

Jensen, L., Buhl, A., Sharma, A., & Bearman, M. (2025). Generative AI and Higher Education: A Review of Claims From the First Months of ChatGPT. *Higher Education*, 89(4), 1145-1161. https://doi.org/10.1007/s10734-024-01265-3

Jin, Y., Martinez-Maldonado, R., Gašević, D., & Yan, L. (2025). GLAT: The Generative AI Literacy Assessment Test. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 9, 100436. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100436

Jin, Y., Yan, L., Echeverria, V., Gašević, D., & Martinez-Maldonado, R. (2025). Generative AI in Higher Education: A Global Perspective of Institutional Adoption Policies and Guidelines. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100348. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100348

Johnston, H., Wells, R., Shanks, E., Boey, T., & Parsons, B. (2024). Student Perspectives on the Use of Generative Artificial Intelligence Technologies in Higher Education. I*nternational Journal for Educational Integrity*, 20, 2. https://doi.org/10.1007/s40979-024-00149-4

Khlaif, Z., Alkouk, W., Salama, N., & Abu Eideh, B. (2025). Redesigning Assessments for AI-Enhanced Learning: A Framework for Educators in the Generative AI Era. *Education Sciences*, 15(2), 174. https://doi.org/10.3390/educsci15020174

Khlaif, Z., Ayyoub, A., Hamamra, B., Bensalem, E., Mitwally, M., Ayyoub, A., . . . Shadid, F. (2024). University Teachers' Views on the Adoption and Integration of Generative AI Tools for Student Assessment in Higher Education. *Education Sciences*, 14(10), 1090. https://doi.org/10.3390/educsci14101090

Kurtz, G., Amzalag, M., Shaked, N., Zaguri, Y., Kohen-Vacs, D., Gal, E., . . . Barak-Medina, E. (2024). Strategies for Integrating Generative AI Into Higher Education: Navigating Challenges and Leveraging Opportunities. *Education Sciences*, 14(5), 503. https://doi.org/10.3390/educsci14050503

Lindell, T., & Stöhr, C. (2026). The AI Disruption in Engineering Education: An Analysis of Changing Student Norms Through Cultural Historical Activity Theory. *Journal of Computing in Higher Education*. https://doi.org/10.1007/s12528-025-09488-8

Liu, C. (2025). A Comprehensive Review of Applications of AI Technologies in Higher Engineering Education. *Discover Education*, 4, 528. https://doi.org/10.1007/s44217-025-00954-0

Luo, J. (2024). A Critical Review of GenAI Policies in Higher Education Assessment: A Call to Reconsider the Originality of Students' Work. *Assessment & Evaluation in Higher Education.* https://doi.org/10.1080/02602938.2024.2309963

Microsoft. (2024). Microsoft 365 *Copilot*. https://www.microsoft.com/es-mx/microsoft-365-copilot

Ngo, T. (2023). The Perception by University Students of the Use of ChatGPT in Education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 18(17), 4-19. https://doi.org/10.3991/ijet.v18i17.39019

OpenAI. (30 de 11 de 2022). Introducing ChatGPT. https://openai.com/index/chatgpt/

Park, J. (2025). A Systematic Literature Review of Generative Artificial Intelligence (GenAI) Literacy in Schools. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 9, 100487. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100487

Sousa, A., & Cardoso, P. (2025). Use of Generative AI by Higher Education Students. *Electronics*, 14(7), 1258. https://doi.org/10.3390/electronics14071258

Strzelecki, A., & ElArabawy, S. (2024). Investigation of the Moderation Effect of Gender and Study Level on the Acceptance and Use of Generative AI by Higher Education Students: *Comparative Evidence From Poland and Egypt. British Journal of Educational Technology*, 55(3), 1209-1230. https://doi.org/10.1111/bjet.13425

Tan, M., Qu, Y., & Wang, J. (2025). Student Perceptions of Generative Artificial Intelligence Regulations: A Mixed-Methods Study of Higher Education in Singapore. *Higher Education Quarterly*, 79(3), e70038. https://doi.org/10.1111/hequ.70038

Tzirides, A., Zapata, G., Kastania, N., Saini, A., Castro, V., Ismael, S., . . . Kalantzis, M. (2024). Combining Human and Artificial Intelligence for Enhanced AI Literacy in Higher Education. *Computers and Education Open,* 6, 100184. https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100184

Yan, W., Liu, Y.-I., Mamaeva, V., Dong, F., Tao, G., Li, R., & Yang, H. (2026). Generative AI Literacy: Scale Development and Its Influence on Privacy Protection Behaviors and Information Verification Behaviors. *Telecommunications Policy*, 50(2), 103117. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2025.103117

PULSOTEC: REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA
AÑO 2 / VOLUMEN 2 / AGOSTO 2026 ISSN:3122-4032

Impacto del estrés hídrico en la producción de maíz grano (Zea mays L.) en el norte de Durango: Rodeo, Nazas y Mapimí.

Impact of water stress on grain maize (Zea mays L.) production in northern Durango: Rodeo, Nazas, and Mapimí.

Oscar Lugo-Palacios[1], Aaron David Lugo-Palacios[2], José Luis García-Hernández[3], María Esther Rios Vega[4], Raúl Eduardo Lugo-Palacios[5]

[1], [3] Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Km 35 Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, Ejido Venecia, Durango, México, CP 35111.[2] Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Durango, México, CP 35111.[4] Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Gómez Palacio, Durango, México, CP 35111.[5] Programa Agua-Suelo, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Torreón. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Torreón, Coahuila, México. CP 27000.

ORCID: [1]https://orcid.org/0009-0006-5363-6688 | [2]https://orcid.org/0009-0008-0637-5379 | [3]https://orcid.org/0000-0002-9190-8190 | [4]https://orcid.org/0000-0002-7527-9806 | [5]https://orcid.org/0009-0008-3483-0973

Autores de correspondencia: oscar21iupa@gmail.com (O.L.P.); aaronlugo@hotmail.com (A.D.L.P.); luis_garher@hotmail.com (J.L.G.H.); esther.rios@ujed.mx (M.E.R.V.); raul.eduardo.lugo@hotmail.com (R.E.L.P.).

Resumen:
En México, el maíz grano trasciende su valor alimentario para consolidarse como el eje de la estabilidad socioeconómica nacional; no obstante, esta seguridad hoy se ve comprometida por la agudización de las sequías bajo el actual escenario de cambio climático. Este trabajo examina la vulnerabilidad de la agricultura de temporal en el semidesierto de Durango, específicamente en los municipios de Rodeo, Nazas y Mapimí, cubriendo una serie histórica de 21 años (2003-2024). A través del contraste entre las categorías de severidad del Monitor de Sequía en México (MSM) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y los registros productivos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) como superficie cultivada, siniestrada y rendimientos, se logró cuantificar el impacto real del déficit hídrico sobre el terreno. Los hallazgos revelan patrones de pérdida recurrentes y umbrales críticos de siniestralidad que dependen directamente de la cobertura espacial de la sequía. Más allá del registro estadístico, esta investigación aporta evidencia local indispensable para transitar hacia modelos predictivos y fortalecer la resiliencia de los productores en la Comarca Lagunera ante una variabilidad climática cada vez más severa.

Palabras Clave: Vulnerabilidad climática, Agricultura de temporal, Comarca Lagunera, Siniestralidad, Resiliencia agrícola.

Abstract:
In Mexico, grain maize transcends its nutritional value to establish itself as the backbone of national socioeconomic stability; however, this security is currently compromised by the intensification of droughts under the current climate change scenario. This paper examines the vulnerability of rain-fed agriculture in the semi-desert of Durango, specifically in the municipalities of Rodeo, Nazas, and Mapimí, covering a 21-year historical series (2003-2024). By contrasting the severity categories of the North American Drought Monitor—Mexico (MSM) from the National Meteorological Service (SMN) of the National Water Commission (CONAGUA) with production records from the Agri-Food and Fisheries Information Service (SIAP), such as cultivated area, crop failure area, and yields, the real impact of water deficits on the ground was quantified. The findings reveal recurrent loss patterns and critical crop failure thresholds that depend directly on the spatial coverage of the drought. Beyond statistical records, this research provides indispensable local evidence to transition toward predictive models and strengthen the resilience of producers in the Comarca Lagunera in the face of increasingly severe climate variability.

Keywords: Climate vulnerability, Rain-fed agriculture, Comarca Lagunera, Crop failure, Agricultural resilience.

Introducción

El maíz grano en México es uno de los granos básicos con mayor relevancia socioeconómica (Reyes et al., 2022). Este alimento no solo tiene una alta producción, sino que también cuenta con un consumo anual de 120.5 kg por persona en el país (Cruz-González et al., 2024). El maíz de temporal es el cultivo que depende exclusivamente de la lluvia, siendo fundamental en México con más del 80% de la producción bajo este sistema. Sin embargo, una de las mayores problemáticas en los últimos años, es el efecto del cambio climático en diversos sectores económicos, incluyendo el sector agrícola (Lugo-Palacios et al., 2024). La sequía es un fenómeno recurrente en zonas áridas y semiáridas, se presenta como el déficit hídrico en largos periodos de tiempo. A nivel mundial se cuenta con diversos registros de este fenómeno, a pesar de ello, es complejo identificar su comienzo (Orimoloye et al., 2022). México, debido a su ubicación, es propenso a este fenómeno cada vez más en el norte y centro-norte del país (Vaca-Genuit & Reyes-Hernández, 2025). La Comarca Lagunera al encontrarse en dicha parte del país, tiene mayor incidencia de sequías, lo cual afecta en su disponibilidad de recurso hídrico. Los meses junio a septiembre acumulan los mayores niveles de precipitación (con un máximo de 51.6 mm en septiembre). No obstante, el escaso aporte de lluvia durante el resto del año (generalmente por debajo de los 20 mm mensuales) limita el periodo de la actividad agrícola (Salas-Gutiérrez et al., 2025). La precipitación media en la Comarca Lagunera es de 250 mm y se cuenta con una evaporación potencial aproximada de 2,500 mm anuales (Orona-Castillo et al., 2024). En cuanto a la precipitación media de los municipios Rodeo, Nazas y Mapimí, estos se localizan dentro de la región semiárida Nazas-Aguanaval, caracterizada por precipitaciones medias anuales entre 350 y 900 mm, dependiendo de la altitud y ubicación dentro de la cuenca (Arriaga et al., 2019).

A pesar de ser una problemática en regiones áridas y semiáridas, el estudio longitudinal del impacto que tiene la sequía en la producción agrícola es limitado (Lugo-Palacios et al., 2026). Esto impide la creación de modelos predictivos locales para municipios con alta dependencia de producción por temporal como lo son Rodeo, Nazas y Mapimí. Por este motivo y teniendo en cuenta la importancia del maíz grano, es prioridad evaluar que afectaciones ponen en riesgo su producción a largo plazo. En consecuencia, este estudio tiene como objetivo analizar el grado de sequía y la producción de maíz grano por temporal en el periodo de 2003 al 2024 en tres municipios pertenecientes a la Comarca Lagunera de Durango.

Desarrollo o metodología

La presente investigación se desarrolló en tres municipios estratégicos del estado de Durango: Rodeo, Nazas y Mapimí. Estas demarcaciones fueron seleccionadas por su representatividad climática y productiva dentro de la región semidesértica del norte de México, una zona caracterizada por una alta vulnerabilidad hidroclimatológica.

Para el análisis de la productividad agrícola, se realizó una extracción sistemática de datos provenientes del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). El periodo de estudio comprendió una serie histórica de 21 años (2003-2024), lo

que permitió capturar la variabilidad interanual y las tendencias a largo plazo de las variables críticas de producción. Específicamente, se tabularon y analizaron cuatro indicadores fundamentales:

• **Superficie sembrada:** como indicador del potencial productivo inicial.

• **Superficie siniestrada**: para cuantificar las pérdidas directas.

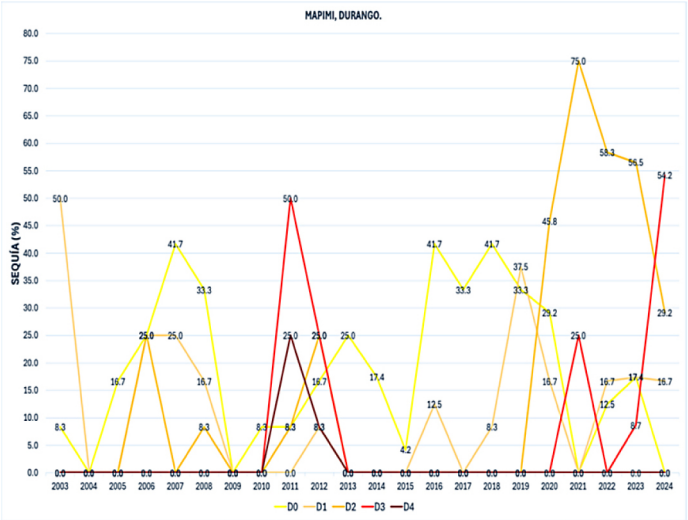
• **Rendimiento (t/ha):** como medida de eficiencia bajo condiciones de estrés.

De forma complementaria, y con el fin de establecer una correlación robusta entre el clima y la agricultura, se integraron los registros históricos del Monitor de Sequía en México (MSM), coordinado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Debido a que la sequía es un fenómeno espacialmente heterogéneo, fue necesario realizar una estandarización de la magnitud climática.

Para ello, la intensidad de la sequía no se trató únicamente como un valor cualitativo, sino que se transformó en una variable cuantitativa expresada mediante el porcentaje de tiempo afectado dentro del territorio municipal. Se desglosó el impacto para cada una de las categorías técnicas del MSM, abarcando desde condiciones de Anormalmente Seco (D0) hasta Sequía Excepcional (D4). Este procedimiento de normalización espacial permitió identificar con precisión la severidad del fenómeno y facilitó el análisis comparativo con las fluctuaciones en el rendimiento de los cultivos locales. El grado de asociación entre las variables cuantitativas estudiadas se determinó mediante el coeficiente de correlación por rangos de Spearman (ρ), seleccionando este enfoque no paramétrico debido a la distribución de los datos. Todos los análisis estadísticos se ejecutaron utilizando el software JASP.

Resultados

El comportamiento de la sequía en el municipio de Mapimí se muestra en la figura 1.



D0=Anormalmente seco; D1=Sequía moderada; D2=Sequía severa; D3=Sequía extrema; D4=Sequía excepcional.

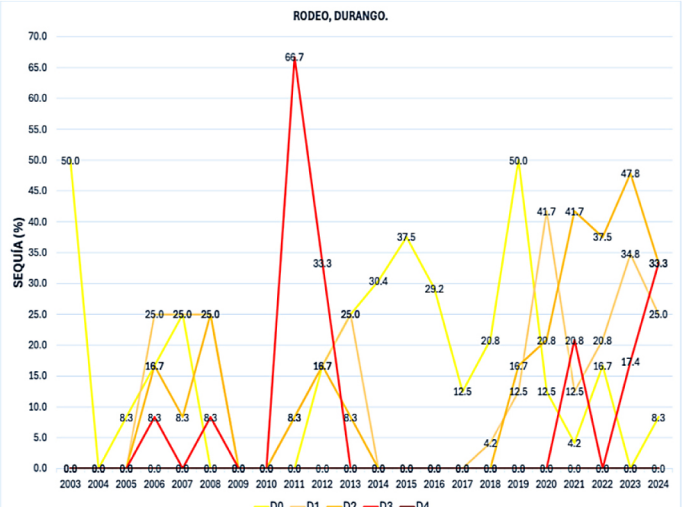
Figura 1. Comportamiento de sequía en el municipio de Mapimí, Dgo., México en el periodo.

En la cual, destacan los años 2003, 2006, 2007, 2008, 2011, 2016, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024. La presencia de sequía D4 únicamente se muestra en los años 2011 (25%) y 2012 (8.3%), en cuanto a la sequía D3, los años 2011, 2021, 2023 y 2024 tienen este grado, oscilando entre 8.7% hasta un 54.2%. La figura 2, muestra el comportamiento de la sequía en el municipio de Nazas.

D0=Anormalmente seco; D1=Sequía moderada; D2=Sequía severa; D3=Sequía extrema; D4=Sequía excepcional.

Figura 2. Comportamiento de sequía en Nazas

En este caso, los años que tienen alta presencia de sequía son 2003, 2006, 2007, 2008, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024. La D4 solo está presente en el año 2011 con un 8.3%, para la sequía D3, se muestra en los años 2008, 2011, 2012, 2021, 2023 y 2024, oscilando entre un 8.3% hasta un 50%. En la figura 3, se muestra la sequía para el municipio de Rodeo.



D0=Anormalmente seco; D1=Sequía moderada; D2=Sequía severa; D3=Sequía extrema; D4=Sequía excepcional.

Figura 3. Comportamiento de sequía en Rodeo.

En Rodeo destacan los años 2003, 2006, 2007, 2008, 2011, 2012, 2013, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024. En este municipio no hay presencia de sequía D4 y la sequía D3 está presente en los años 2006, 2008, 2011, 2021, 2023 y 2024, oscilando entre 8.3% y 66.7%.

En la figura 4, se muestran los valores de superficie sembrada de los tres municipios.

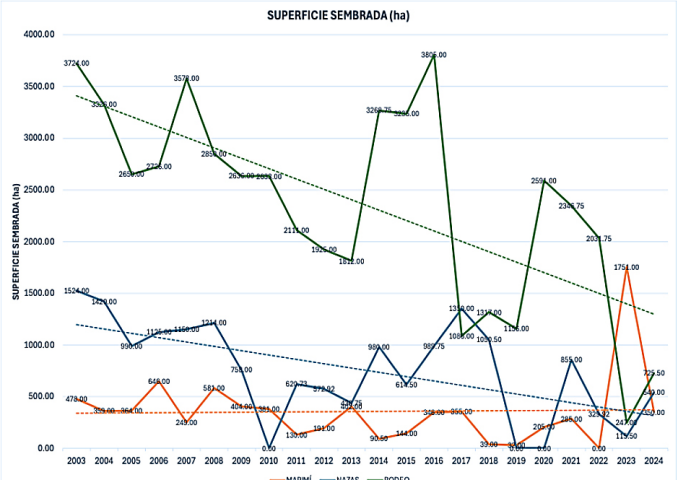


Figura 4. Comportamiento de la superficie sembrada de maíz grano en los municipios (ha).

La dinámica de la superficie sembrada en los municipios analizados refleja una estrategia de adaptación y, en años recientes, un desincentivo estructural ante el riesgo climático recurrente. Rodeo se posiciona históricamente como el principal polo productor, alcanzando un máximo de 3,806 ha en 2017, lo cual contrasta con la baja intención de siembra en Nazas y Mapimí. No obstante, el análisis de Spearman muestra que conforme transcurre el tiempo se ejerce una relación negativa sobre la planeación del cultivo, obteniendo correlaciones inversas y altamente significativas entre el año y la superficie sembrada tanto en Rodeo ($\rho=-0.675^{***}$, $p<0.001$) como en Nazas ($\rho=-0.609^{**}$, $p=0.003$).

Al relacionar el impacto del estrés hídrico sobre la siembra, se identificó que, en Nazas y Rodeo, D2 mostró una correlación negativa y estadísticamente significativa (ρ=−0.479*, p=0.024 para ambos municipios). Esta relación sugiere que los productores prefieren no arriesgarse ante las sequías seguidas. La falta de lluvias seguras hace que piensen dos veces antes de invertir en la siembra de temporal. Según Lluch-Cota et al. (2022), la superficie apta para el maíz en zonas áridas de México podría reducirse drásticamente debido a que la variabilidad interanual de la precipitación vuelve económicamente inviable la inversión inicial en semillas e insumos de temporal. En cuanto a Mapimí, no se mostró una asociación significativa entre la superficie sembrada y los niveles de sequía. La figura 5, muestra el comportamiento de la superficie siniestrada.

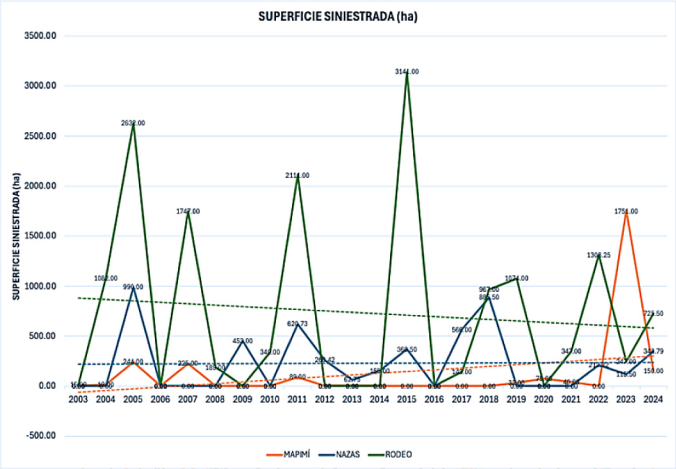


Figura 5. Comportamiento de la superficie siniestrada de maíz grano en los municipios (ha).

El análisis de la superficie siniestrada constituye el indicador más directo de la vulnerabilidad biofísica de la región. El análisis de Spearman nos indica que en el municipio de Mapimí hay una correlación positiva estadísticamente significativa entre la sequía D3 y la superficie siniestrada (ρ=0.466*, p=0.029). Al respecto, Sáez-Cigarruista et al (2024) señala que, la falta de humedad en etapas críticas como la floración y el llenado de grano reduce la posibilidad de cosecha, convirtiendo la siniestralidad en una constante. Caso contrario en Nazas y Rodeo, las correlaciones no alcanzaron significancia estadística. Dicho comportamiento sugiere que, al reducir el área sembrada ante la presencia de sequías, se logra amortiguar el número de hectáreas expuestas a perdida total del cultivo.

En la figura 6, se muestra la fluctuación del rendimiento (ton/ha) del cultivo para los tres municipios.

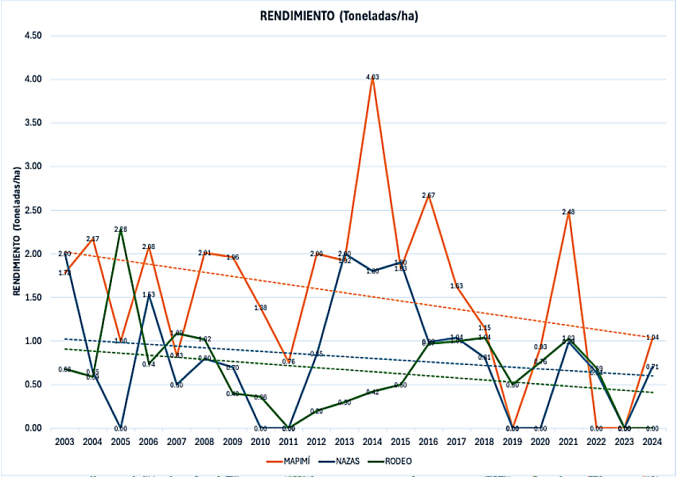


Figura 6. Rendimiento maíz grano (t/ha).

El rendimiento obtenido sintetiza el impacto final del déficit hídrico sobre la fisiología del cultivo. En la región, el rendimiento promedio fluctúa en niveles marginales de 0.4 a 1.2 t/ha, cifras que, según el CIMMYT (2017), están por debajo del umbral de rentabilidad mínima para el maíz grano.

En Mapimí, el rendimiento no se correlacionó de manera directa con los niveles de sequía, pero mostró una correlación negativa significativa con la superficie siniestrada (ρ=−0.528*, p=0.011).

En Nazas, e rendimiento mantuvo una relación positiva con la superficie sembrada (ρ=0.435*, p=0.043), lo que indica que los años climáticamente viables para expandir la siembra corresponden simultáneamente con los mayores logros en eficiencia productiva por hectárea.

En cuanto a Rodeo, se detectó una tendencia negativa la cual roza el umbral de significancia frente a la sequía D3 (ρ=−0.385, p=0.077). Como indican Ibarra-Sánchez et al. (2020), el retraso en la emergencia de estigmas provocado por el estrés hídrico severo genera una asincronía fenológica que resulta en mazorcas vanas, explicando por qué en años de sequía extrema la productividad se a niveles críticos a pesar de haber logrado la germinación inicial.

Hallazgos y/o conclusiones

El análisis longitudinal de 21 años (2003-2024) permite concluir que la producción de maíz grano de temporal en los municipios de Rodeo, Nazas y Mapimí se encuentra en un estado de vulnerabilidad extrema ante la variabilidad climática. El análisis de Spearman revela que los municipios operan bajo dos dinámicas de riesgo y adaptación. Mapimí por un lado se caracteriza por establecer su superficie sembrada de manera independiente a los indicadores de sequía, esto provoca que el estrés hídrico extremo tenga influencia directa sobre la fase reproductiva del cultivo, detonando una correlación positiva y significativa entre la cobertura de la sequía D3 y la superficie siniestrada (ρ=0.466*, p=0.029).

En los municipios de Nazas y Rodeo se muestra una dinámica de adaptación y contención económica, la presencia de una sequía D2 contrae la superficie sembrada (ρ=−0.479*, p=0.024) por los productores. Esta reducción proactiva del área agrícola actúa como un escudo adaptativo que amortigua el volumen absoluto de hectáreas expuestas a la pérdida total, evitando que se disparen los índices de siniestralidad estadística a costa de una contracción consciente de la actividad productiva regional.
De igual manera, se observó que el avance del tiempo una relación negativa en la región, mostrando caídas en la superficie sembrada conforme avanzan los años en Rodeo (ρ=−0.675***) y Nazas (ρ=−0.609). Esta investigación subraya la urgencia de transitar hacia esquemas de gestión de riesgo y modelos predictivos locales que permitan fortalecer la seguridad socioeconómica de los productores de la región frente a un escenario de cambio climático que ya no es una amenaza futura, sino una realidad.

Citas y referencias

Arriaga, G. E., Paredes, J. C., Cohen, I. S., Valle, M. A. V., López, F. F., y Hurtado, P. B. (2019). Análisis temporal de sequías (1922-2016) en la cuenca alta del río Nazas usando el SPI y su relación con ENSO. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(5), 126-153. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-04

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2017). Maíz para México: *Plan estratégico 2030. CIMMYT*. https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/20219/60937.pdf

Comisión Nacional del Agua. (2026). Monitor de Sequía en México. *Servicio Meteorológico Nacional*. https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico

Cruz-González, A., Arteaga-Ramírez, R., Sánchez-Cohen, I., Soria-Ruiz, J., y Monterroso-Rivas, A. I. (2024). Impactos del cambio climático en la producción de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(1), e3327. https://doi.org/10.29312/remexca.v15i1.3327

Ibarra Sánchez, E., Castillo Gutiérrez, A., Núñez Valdéz, M. E., Suárez Rodríguez, R., Andrade Rodríguez, M., y Perdomo Roldán, F. (2020). Caracterización de la respuesta a la sequía de líneas segregantes de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 11(7), 1511-1524. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2196

Lluch-Cota, S. E., Velázquez Zapata, J. A., y Nieto Delgado, C. (2022). Agricultura, agua y cambio climático en zonas áridas de México. *Recursos Naturales y Sociedad*, 8(2), 35-48. https://doi.org/10.18846/renasoc.v8i2.1481

Lugo-Palacios, A. D., Rueda-Puente, E. O., Montoya-García, C. O., Orona-Castillo, I., Nava-Camberos, U., y García-Hernández, J. L. (2026). *Agro-climatic suitability of purslane. Phyton*, 95(1), 1-15. http://doi.org/10.32604/phyton.2025.075449

Lugo-Palacios, O., Pérez-García, L. A., Álvarez-Macías, C., y Varela-Moreno, R. O. (2024). Xerophilic bioethanol: A modern alternative for biofuel production. *Journal of Environmental Sciences and Natural Resources,* 10(25), 1-8. https://www.doi.org/10.35429/JESN.2024.10.25.3.8

Orimoloye, I. R., Belle, J. A., Orimoloye, Y. M., Olusola, A. O., y Ololade, O. O. (2022). Drought: A common environmental disaster. *Atmosphere*, 13(1), 111. https://doi.org/10.3390/atmos13010111

Orona-Castillo, I., Vázquez-Vázquez, C., Sangerman-Jarquín, D. M., Espinoza-Arellano, J. D. J., y González-Mancilla, A. (2024). Situación de la producción algodonera en La Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 15(7), e3482. https://doi.org/10.29312/remexca.v15i7.3482

Reyes Santiago, E., Bautista Mayorga, F., y García Salazar, J. A. (2022). Análisis del mercado de maíz en México desde una perspectiva de precios. Acta Universitaria, 32, e3265. https://doi.org/10.15174/au.2022.3265

Sáez-Cigarruista, A., Morales-Guevara, D., Gordon-Mendoza, R., Jaén-Villarreal, J., Franco-Barrera, J., y Ramos-Manzané, F. (2024). Sensibilidad del cultivo de maíz (Zea mays L.) a diferentes períodos de déficit hídrico controlado. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), e53561. https://doi.org/10.15517/ame.v35i1.53561

Salas-Gutiérrez, J. C., García-Salazar, J. A., Mora-Flores, J. S., Guajardo-Hernández, L. G., Omaña-Silvestre, J. M., y Garduño-García, Á. (2025). Vulnerabilidad de la producción de leche en la Comarca Lagunera ante cambios en el precio de la alfalfa. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 35(65), e251568. https://doi.org/10.24836/es.v35i65.1568

Vaca-Genuit, R. A., y Reyes-Hernández, H. (2025). Análisis del peligro de sequía meteorológica y percepción social del fenómeno en las regiones Media y Huasteca Potosina, México. *Investigaciones Geográficas,* (116), e60919. https://doi.org/10.14350/rig.60919

PULSOTEC: REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA
AÑO 2 / VOLUMEN 2 / AGOSTO 2026 ISSN:3122-4032

Representación Geométrica: Curvas y Superficies Mediante Spyder

Geometric Representation: Curves And Surfaces Using Spyder

Luis Gabriel Mateo Mejía[1] , Karla Georgina Olivo Bernal[2],

[1] Tecnológico Superior P´urhépecha, Cherán, Michoacán, México.
Doctorado en Sistemas Computacionales, Universidad de Ciencias Digitales, (UDVINCI), México.
[2] Instituto Tecnológico Superior P´urhépecha, Cherán, Michoacán, México.
Doctorado en Sistemas Computacionales, Universidad del Sur, (UNISUR), Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

ORCID: [1]https://orcid.org/0000-0001-8289-1377, [2] https://orcid.org/0000-0003-4673-300X

Autores de correspondencia: gabriel.mm@purhepecha.tecnm.mx, karla.ob@purhepecha.tecnm.mx

Resumen:
La finalidad de este artículo de divulgación es ayudar a los profesionales e investigadores en el uso de la programación en 'Spyder', que es de código abierto y gratuito, específicamente Python; funcionando como IDE. Además de señalar la importancia de las ciencias básicas en el proceso educativo, en este documento se pretende vincular su carácter de utilidad y aplicabilidad a los fenómenos de ingeniería que se expresan mediante ecuaciones matemáticas integradas al cálculo vectorial, integral, diferencial y de ecuaciones diferenciales, así como a sus bases en álgebra lineal. Para tal efecto se muestran ejemplos y explicaciones de código en matemáticas aplicadas a los siguientes elementos: cálculo de curvas en el plano, curvas dependientes de un parámetro, curvas en coordenadas polares, curvas en el espacio tridimensional, y gráfica de una superficie. Se observa que su explicación del uso de código así como las formas de integración con IA, contribuye, tanto a docentes como alumnos, a trabajar de forma más autónoma y congruente, así como al aprendizaje significativo e inserto en la productividad y desarrollo social.

Palabras Clave: Entorno de desarrollo integrado, programación, código Python, ciencias básicas, Investigación tecnológica y vinculación.

Abstract:
The purpose of this article is to assist professionals and researchers in using 'Spyder', an open-source and free Python programming language, as an IDE (Integrated Development Environment) with AI capabilities. In addition to highlighting the importance of basic sciences in the educational process, this document aims to connect their usefulness and applicability to engineering phenomena expressed through mathematical equations integrated with vector, integral, and differential calculus, as well as their foundations in linear algebra. To this end, examples and explanations of applied mathematical code are presented for the following elements: calculating curves in the plane, curves dependent on a parameter, curves in polar coordinates, curves in three-dimensional space, and surface graphing. It is observed that the explanation of code usage and its integration with artificial intelligence contributes to more autonomous and coherent work for both teachers and students, fostering meaningful learning embedded in the surrounding social productivity and development.

Keywords: Integrated development environment, programming, Python code, basic sciences, technological research and outreach.

Introducción

Siguiendo los parámetros de crecimiento y aplicación integral del nuevo modelo educativo del Tec-NM, [Tecnológico Nacional de México. 2024], se presenta este documento para continuar con el trabajo de concientización hacia una justicia social e integrativa, como es el caso particular que permite hacerlo las ingenierías, las ciencias básicas y su interacción interdisciplinar con la sociedad moderna y globalizada que vive nuestro país actualmente. Por otra parte, este trabajo viene a consolidar los proyectos integradores al interior de las academias de ciencias básicas que plantean la necesidad de complementar el aprendizaje de las matemáticas con su aplicación a la programación y a la ingeniería, [Tecnológico Nacional de México. 2015]. Por tal motivo, en el presente proyecto se propone como objetivo y meta la divulgación del uso de una herramienta de programación que permite coadyuvar en el proceso de la enseñanza de las matemáticas. [Guerrero de la Cruz. 2020]. Este es el entorno Spyder que usa código abierto Python, además de otras muchas funcionalidades de gran versatilidad, su descarga se encuentra en Spyder.org, que es un organismo con apoyo económico internacional y certificaciones. [Spyder. 2026]. Las ciencias básicas han sido en todas las ingenierías un reto para el aprendizaje y la enseñanza, recurriendo a herramientas de programación y calculadoras graficadoras como elementos clave para su explicación, comprensión y aplicación. [Radhakrishnan. 2023]. Para este caso, la herramienta que se propone obedece al desarrollo tecnológico del software para investigación y ciencia de datos. Como se observa en la siguiente figura 1, el IDE es muy intuitivo, sin embargo, el proceso de elaboración de un caso particular de programación es el siguiente: Una vez abierto el IDE, tomamos un nuevo archivo, ctrl+n, guardar archivo como, ejecutar archivo con F5.

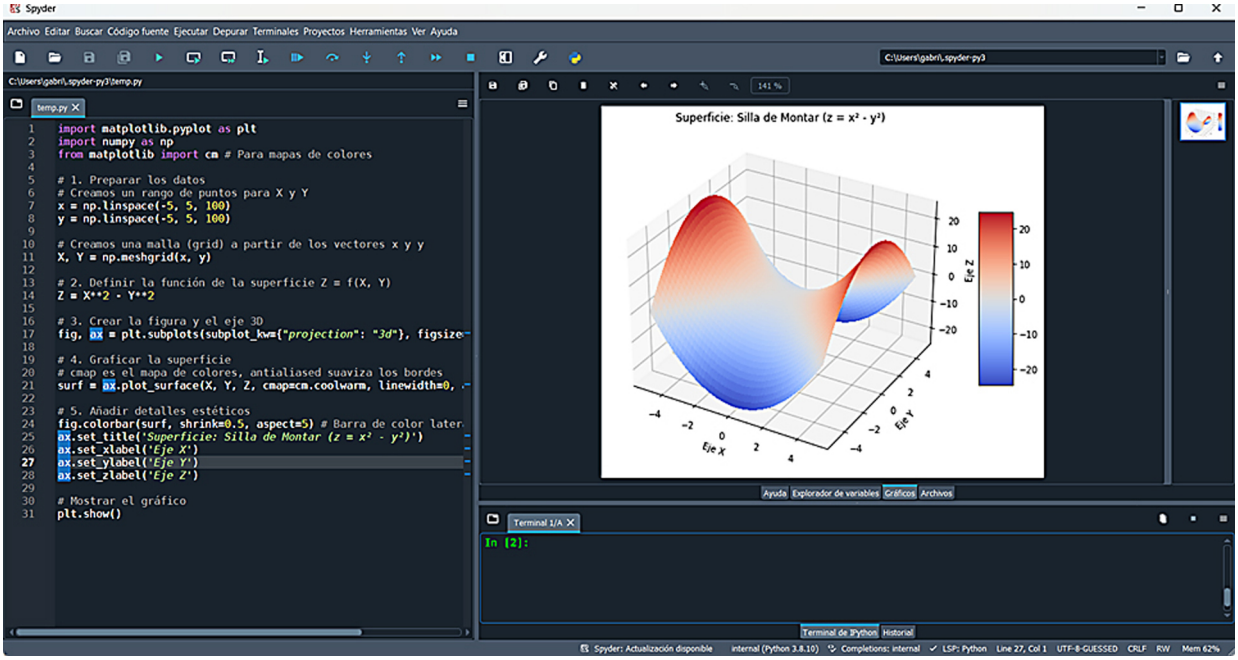


Figura 1. Abertura del IDE Spyder y creación de archivo.

Ya desde la metodología del proyecto integrador podemos observar que la vinculación directa de las materias de matemáticas con todas las ingenierías, por lo que una síntesis que abarca las estructuras de cálculo que requieren una base en la programación son principalmente: cálculo de curvas en el plano, curvas dependientes de un parámetro, curvas en coordenadas polares, curvas en el espacio tridimensional, y gráfica de una superficie que requieren la aplicación del cálculo integral y por consiguiente el conocimiento del diferencial. [Lara, 2019]. Su relación directa con las ecuaciones diferenciales se encuentra en las curvas integral, isoclina, ortogonal y de base. [Larson. 2016]. Las ciencias básicas de forma particular contienen el reto de programar sus ecuaciones, no solo para resolverlas a manera de calculadora, sino que se requiere graficar en 2D y 3D. Vemos que existen software como GeoGebra gratuito y otras versiones de paga como GPAI, que implican IA y por ende, costos, pero su aspecto de programación es poco didáctico y requiere bases teóricas en el funcionamiento de los algoritmos que se efectúan. Por tal motivo, este IDE Spyder es ideal para ilustrar el uso de programas cortos-pequeños en cantidad de líneas de código, explotados con las numerosas librerías del lenguaje Python y aplicadas a la solución de problemas matemáticos, [Moreno. 2020]. Sus principales instancias son numpy(), y matplotlib(), que son las librerías especializadas en matemáticas, cálculo y graficación lineal y 3D, además de la función graficadora plot(). [Moreno. 2020]. Para este caso de divulgación nos proponemos las siguientes preguntas que guiarán nuestra investigación exploratoria: a) ¿Qué librerías y versiones específicas del ecosistema científico de Python se utilizan? b) ¿Cómo se configura el entorno de desarrollo Spyder para la visualización interactiva? c) ¿Cuál es el criterio para definir la discretización del parámetro t (paso de tiempo)? d) ¿Qué método se emplea para la generación de la malla (Meshgrid) en las superficies? Como podemos observar las preguntas, nos permiten de forma específica diseñar programas apropiados al desarrollo de cálculos muy particulares, sobre todo para expresar ecuaciones en forma lineal, implícita y paramétrica. La lógica de congruencia del proyecto de este artículo que obedece tanto al desarrollo de ciencias básicas como a su proyecto integrador se presentan en la siguiente figura 2.

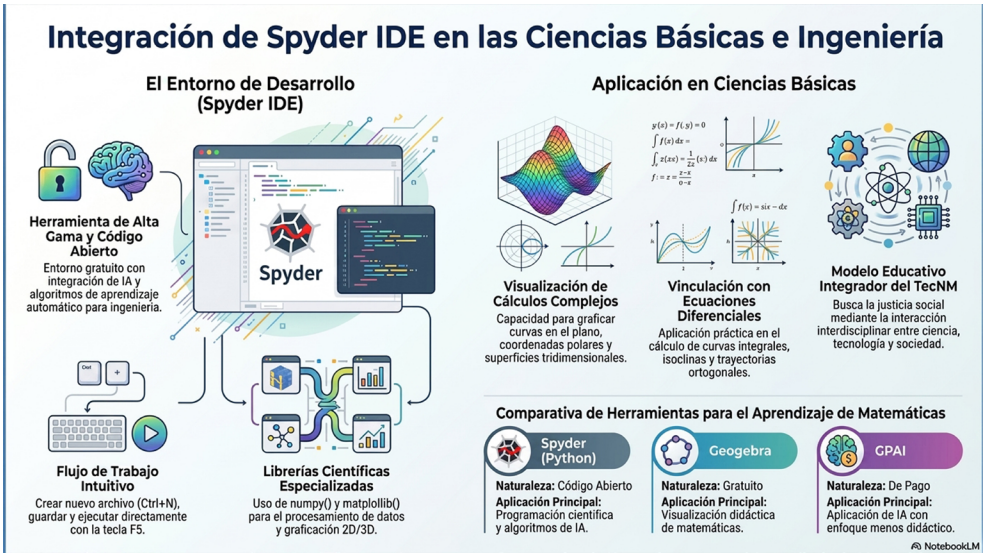


Figura 2. Lógica de congruencia del planteamiento del proyecto.

Metodología

Con las preguntas generadas en el apartado anterior, se propone usar esquemas y plantillas de programación con esa secuencia codificada, por tal motivo se exponen a continuación las ventanas principales a usar en el Spyder y los códigos analizados para esta caracterización de ejemplos, los cuales, siguen a una descripción de sus principales libertarias y con comentarios insertados dentro del código a programar. [Moreno. 2020]. Comenzamos con la apertura del IDE y su configuración principal, la cual permite agregar nuevo documento para insertar código y escribirlo, así como una compilación primaria de forma lineal, con gráficas en 2D, como se muestra en la siguiente figura 3.

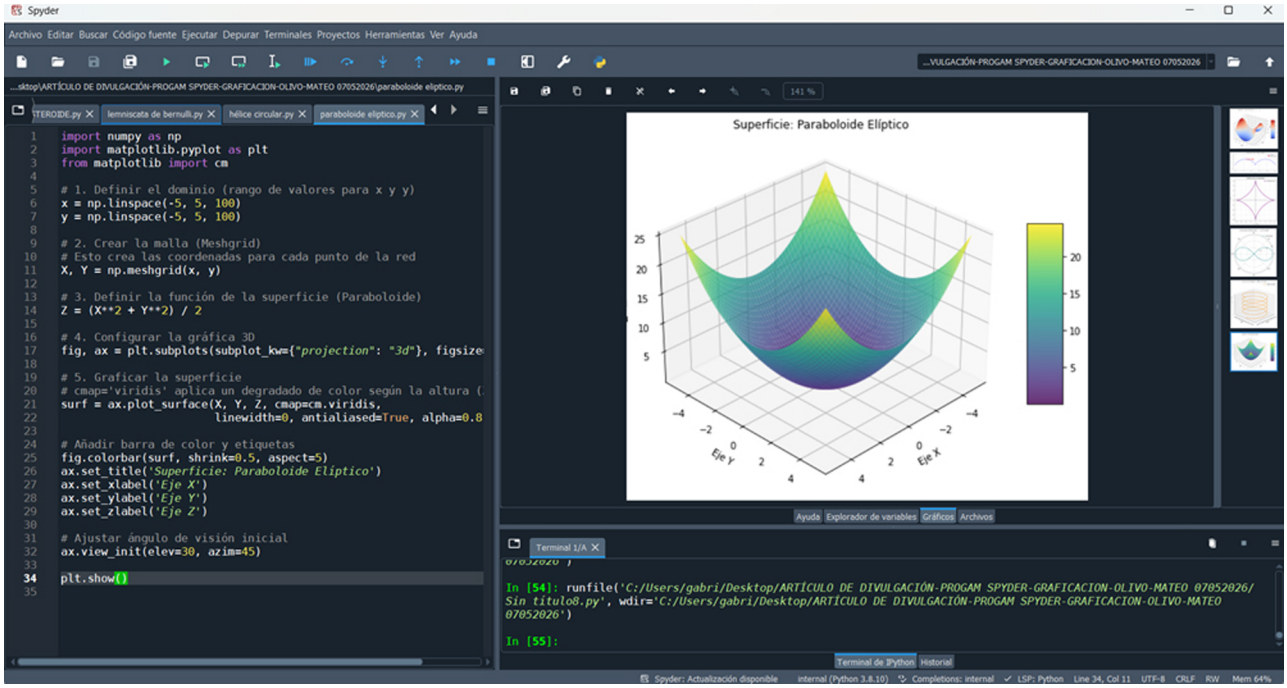


Figura 3. Configuración primaria y compilación principal.

Posteriormente se observan los ajustes para realizar las gráficas en 3D con las preferencias en herramientas 'Qt5' y 'automatic', para realizar gráficas de recorrido y comportamiento, como se muestra en la figura 4 a continuación.

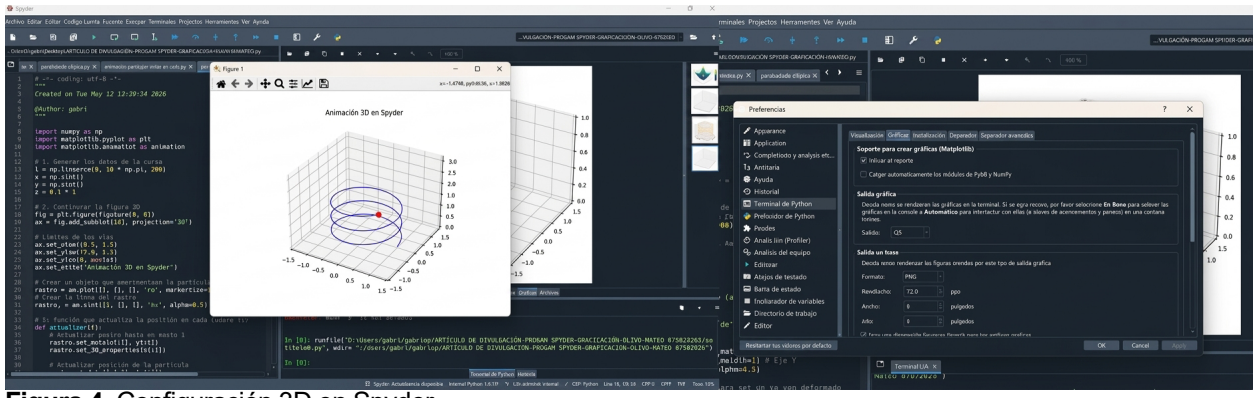


Figura 4. Configuración 3D en Spyder.

Lógica de proceso de programación: Con el objetivo de contestar las preguntas planteadas en la introducción, vemos que es factible ir desarrollando cada uno de los tipos de curvas planteadas con su respectivo código. Las partes esenciales de estos programas obedecen a la siguiente lógica crítica estructural: a) Definición del Dominio: Para curvas: Usar np.linspace para crear un solo vector de puntos (el parámetro t o theta). Para superficies: Usar np.meshgrid para crear una red de puntos sobre un plano. b) Modelado Matemático: Traducir la ecuación matemática a código Python usando las funciones de np (como np.sin, np.cos, np.sqrt). c) Configuración del Escenario (Ejes): Si es 2D: Un eje normal basta. Si es Polar: Especificar projection='polar'. Si es 3D: Especificar projection='3d'. d) Estética y Proporción: Indispensable: Usar plt.axis('equal') o ax.set_aspect('equal') para que las formas no se vean deformadas. Visualización: Usar mapas de colores (cmap) en superficies para entender la profundidad. Como se sintetiza en la siguiente tabla 1 a continuación:

Tabla 1. Guía de programación curvas y superficies.

Cicloide	Curva Paramétrica Plana	2D (x, y)	numpy, matplotlib	Parámetro de tiempo/ángulo t.	plt.plot(x, y)
Astroide	Curva Paramétrica (Hipocicloide)	2D (x, y)	numpy, matplotlib	Potencias trigonométricas (cos^3, sin^3).	plt.plot(x, y)
Lemniscata	Curva Polar	2D (r, theta)	numpy, matplotlib	Rango de theta para evitar raíces negativas.	fig.add_ subplot(projection='polar')
Hélice	Curva en el Espacio	3D (x, y, z)	numpy, matplotlib	Un parámetro t que afecta a los tres ejes.	ax.plot(x, y, z)
Paraboloide	Superficie Cuadrática	3D (x, y, z)	numpy, matplotlib, cm	Creación de malla con np.meshgrid(x, y).	ax.plot_surface(X, Y, Z)
Recorrido Partícula	Animación Dinámica	3D + Tiempo	numpy, matplotlib, animation	Función update(i) que refresca cada cuadro.	animation.FuncAnimation()

Programación Python en IDE Spyder

Desarrollamos los siguientes programas con base a la tabla guía y ejecutamos la depuración y compilación de errores, quedándonos con los ejecutables y sus gráficas tanto en 2D como en 3D, que será de gran utilidad para la gráfica de curva de recorrido. [Moreno. 2020]. Recorrido de partícula como curva dependiente de un parámetro en el espacio tridimensional. Sus principales librerías son: import numpy as np: Se encarga de generar la trayectoria matemática. Crea el parámetro 't' y las funciones trigonométricas para que la partícula sepa por dónde debe pasar. import matplotlib.pyplot as plt: Crea la infraestructura visual (la ventana, los ejes 3D y los objetos gráficos como el punto y la línea). import matplotlib.animation as animation: Esta es la librería clave y nueva. Proporciona las herramientas para actualizar la gráfica repetidamente, creando la ilusión de movimiento (como un proyector de cine que pasa fotogramas). Y para la animación tenemos: frames: Define cuántas "fotos" tiene la película. interval: Define la velocidad (en milisegundos) entre cada cuadro. Ver el código propuesto y la figura 5, a continuación:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.animation as animation
# 1. Generar los datos de la curva
t = np.linspace(0, 10 * np.pi, 500)
x = np.cos(t)
y = np.sin(t)
z = 0.1 * t
# 2. Configurar la figura 3D
fig = plt.figure(figsize=(8, 6))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
# Límites de los ejes
ax.set_xlim(-1.5, 1.5)
ax.set_ylim(-1.5, 1.5)
ax.set_zlim(0, max(z))
ax.set_title("Animación 3D en Spyder")
# Crear el objeto que representará la partícula (un punto rojo)
punto, = ax.plot([], [], [], 'ro', markersize=10)
# Crear la línea del rastro
rastro, = ax.plot([], [], [], 'b-', alpha=0.5)
# 3. Función que actualiza la posición en cada cuadro (i)
def actualizar(i):
    # Actualizar rastro hasta el punto i
    rastro.set_data(x[:i], y[:i])
    rastro.set_3d_properties(z[:i])
    # Actualizar posición de la partícula
    punto.set_data([x[i]], [y[i]])
    punto.set_3d_properties([z[i]])
    return rastro, punto
# 4. Crear la animación
# interval=20 es la velocidad en milisegundos (ajusta a 50 o 100 para ir más lento)
ani = animation.FuncAnimation(fig, actualizar, frames=len(t),
                              interval=20, blit=False)
plt.show()
```

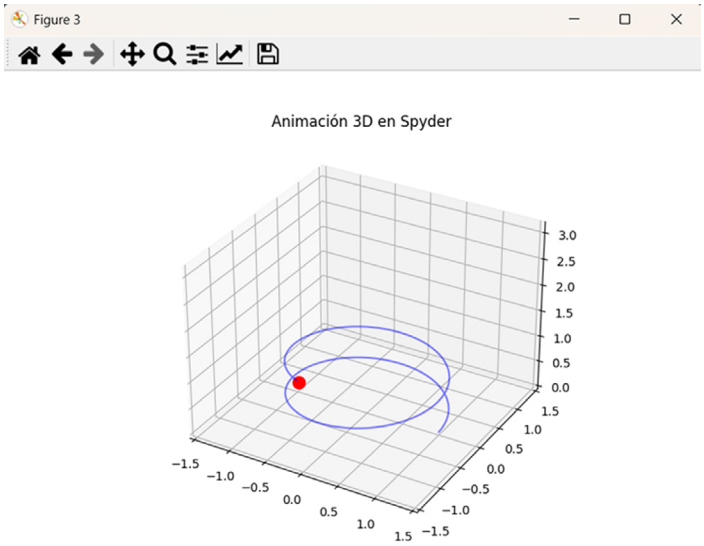


Figura 5. Recorrido de partícula.

Cicloide es ejemplo de curva dependiente de un parámetro: Para esta curva, tenemos las principales librerías, numpy (as np), que s el motor matemático. Se usa para crear los arreglos de datos (vectores), realizar operaciones matemáticas complejas (como senos y cosenos) sobre todo el conjunto de datos a la vez, y calcular derivadas o integrales numéricas. El matplotlib.pyplot (as plt), es la herramienta de visualización. Permite generar el gráfico, dibujar la curva, los vectores y personalizar la estética (títulos, colores, rejillas). Su visualización queda a cargo de plt.plot dibuja la línea azul de la trayectoria. Así plt. quiver es el comando clave aquí, dibuja una flecha (vector) que muestra la dirección del movimiento en un punto específico. plt.axis('equal') es vital para que el círculo no se vea como un óvalo y las proporciones sean reales. Vemos el ejemplo y su gráfico respectivo, figura 6:

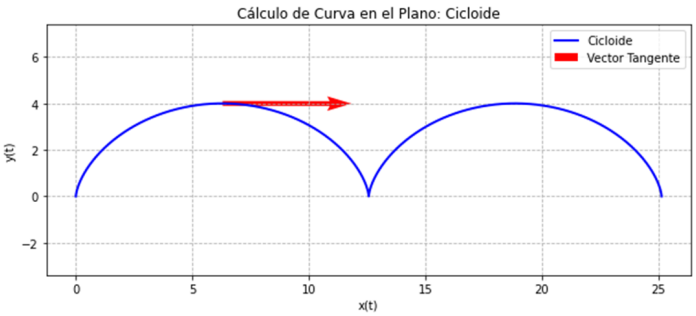


Figura 6. Cicloide, curva dependiente de un parámetro.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# 1. Definición de parámetros
r = 2  # Radio del círculo
t = np.linspace(0, 4 * np.pi, 1000)  # Parámetro t (dos vueltas)
# 2. Ecuaciones paramétricas de la curva
x = r * (t - np.sin(t))
y = r * (1 - np.cos(t))
# 3. Cálculo de la derivada (Vector Tangente) usando diferencias finitas
dx = np.gradient(x, t)
dy = np.gradient(y, t)
# 4. Cálculo de la Longitud de Arco aproximada
# L = integral de sqrt(dx^2 + dy^2) dt
ds = np.sqrt(dx**2 + dy**2)
longitud = np.trapz(ds, t)
print(f"Longitud de arco aproximada: {longitud:.4f}")
# 5. Visualización
plt.figure(figsize=(10, 4))
plt.plot(x, y, label='Cicloide', color='blue', lw=2)
# Dibujar un vector tangente en un punto específico (ej. t = pi)
idx = 250 # Índice cercano a t = pi
plt.quiver(x[idx], y[idx], dx[idx], dy[idx], color='red', scale=20, label='Vector Tangente')
plt.title('Cálculo de Curva en el Plano: Cicloide')
plt.xlabel('x(t)')
plt.ylabel('y(t)')
plt.axis('equal')
plt.grid(True, linestyle='--')
plt.legend()
plt.show()
```

Paraboloide elíptico como gráfica de una superficie: Sus principales librerías son import numpy as np, sigue siendo el motor de cálculo. Aquí es fundamental para crear la malla (meshgrid). A diferencia de la cicloide, donde solo necesitabas una lista de puntos, aquí necesitas una red de coordenadas (x, y) para cubrir un área. El import matplotlib.pyplot as plt, es la librería base para crear la ventana de la gráfica y los ejes. El from matplotlib import cm, (Color Map), es crucial para superficies, proporciona escalas de colores (como viridis, magma, etc.) que ayudan a visualizar la profundidad y la altura (Z) del objeto, haciendo que se vea "3D" y no como un bloque plano. Como se observa en la siguiente figura 7 y ejemplo de código propuesto:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib import cm
# 1. Definir el dominio (rango de valores para x y y)
x = np.linspace(-5, 5, 100)
y = np.linspace(-5, 5, 100)
# 2. Crear la malla (Meshgrid)
# Esto crea las coordenadas para cada punto de la red
X, Y = np.meshgrid(x, y)
# 3. Definir la función de la superficie (Paraboloide)
Z = (X**2 + Y**2) / 2
# 4. Configurar la gráfica 3D
fig, ax = plt.subplots(subplot_kw={"projection": "3d"},
figsize=(10, 7))
# 5. Graficar la superficie
# cmap='viridis' aplica un degradado de color según la
altura (Z)
surf = ax.plot_surface(X, Y, Z, cmap=cm.viridis,
                       linewidth=0, antialiased=True,
alpha=0.8)
# Añadir barra de color y etiquetas
fig.colorbar(surf, shrink=0.5, aspect=5)
ax.set_title('Superficie: Paraboloide Elíptico')
ax.set_xlabel('Eje X')
ax.set_ylabel('Eje Y')
ax.set_zlabel('Eje Z')
# Ajustar ángulo de visión inicial
ax.view_init(elev=30, azim=45)
plt.show()
```

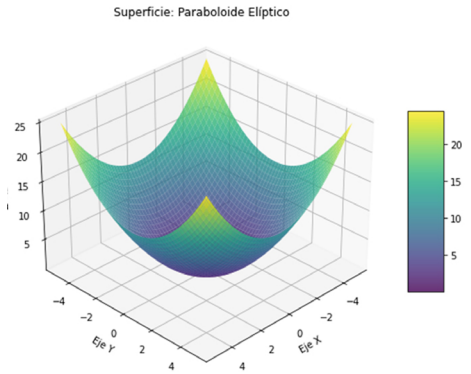


Figura 7. Gráfica de superficie, paraboloide elíptico.

Hélice circular, del tipo curva en el espacio o tridimensional. Sus principales librerías son import numpy as np, que se encarga de la generación de los datos. Aquí es vital para crear el parámetro ‘t’ (el tiempo o ángulo) y aplicar las funciones trigonométricas (sin x y cos x) que generan el círculo en la base. Luego import matplotlib.pyplot as plt, se utiliza para construir la infraestructura visual. Aunque es la misma librería que usaste para la cicloide, aquí se le pide que maneje un entorno de tres ejes. Su código propuesto es el siguiente y su gráfica es la figura 8, a continuación:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# 1. Definición de parámetros
R = 1        # Radio
c = 0.5      # Factor de ascenso
t = np.linspace(0, 10 * np.pi, 1000) # De 0 a 10pi
(varias vueltas)
# 2. Ecuaciones paramétricas en 3D
x = R * np.cos(t)
y = R * np.sin(t)
z = c * t
# 3. Creación de la figura 3D
fig = plt.figure(figsize=(10, 7))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
# 4. Graficar la curva
ax.plot(x, y, z, label='Hélice Circular', color='dar-
korange', lw=2)
# Estética y etiquetas
ax.set_title('Curva en el Espacio: Hélice Circular')
ax.set_xlabel('Eje X')
ax.set_ylabel('Eje Y')
ax.set_zlabel('Eje Z')
ax.legend()
# Ajustar la vista para una mejor perspectiva
ax.view_init(elev=20, azim=45)
plt.show()
```

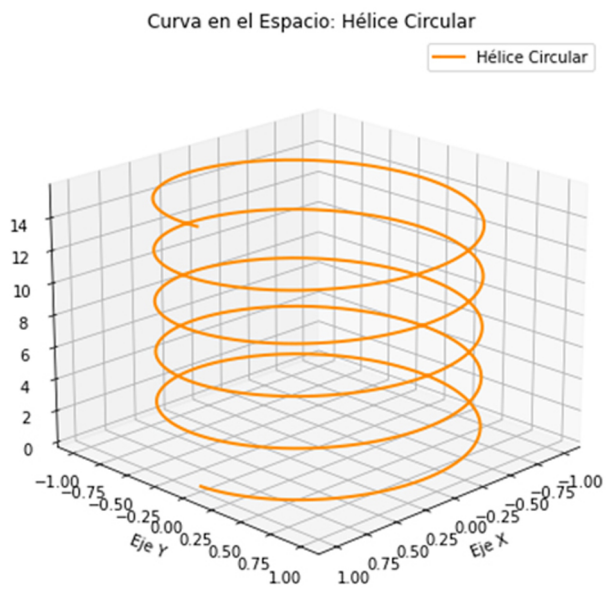


Figura 8. Curva en el espacio tridimensional.

Lemniscata de Bernoulli, como ejemplo de curva en coordenadas polares. Sus principales librerías son import numpy as np, que resulta esencial para manejar los cálculos trigonométricos. Se usa para generar el rango de ángulos y para calcular la raíz cuadrada (sqrt) y el coseno necesario para la ecuación. Luego import matplotlib.pyplot as plt, se encarga de la parte visual. Lo más importante aquí es que permite cambiar el sistema de coordenadas de cartesianas (rectangulares) a polares. Así projection='polar', cambia por completo el gráfico. En lugar de una cuadrícula de cuadritos, crea una telaraña circular donde los datos se posicionan por ángulo y radio. Luego la simetría, como la fórmula solo dibuja un lazo, el código añade theta + np.pi para "reflejar" el dibujo y completar el famoso símbolo de infinito (el segundo lazo). Veamos el código de ejemplo y la figura 9 ilustrativa a continuación:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# 1. Definición de parámetros
a = 2
# El rango de theta debe cuidarse donde cos(2*theta)
sea positivo para evitar raíces imaginarias
theta = np.linspace(-np.pi/4, np.pi/4, 500)
# 2. Ecuación de la Lemniscata (r^2 = 2a^2 * cos(-
2theta))
r = np.sqrt(2 * a**2 * np.cos(2 * theta))
# 3. Graficación
fig = plt.figure(figsize=(6, 6))
ax = fig.add_subplot(111, projection='polar')
# Graficamos ambos lóbulos (el positivo y el reflejo)
ax.plot(theta, r, color='teal', lw=2, label='Lemnis-
cata')
ax.plot(theta + np.pi, r, color='teal', lw=2) # Se-
gundo lazo
# Configuración visual
ax.set_title(r'Lemniscata de Bernoulli: $r^2 = 2a^2 \
cos(2\theta)$', va='bottom')
ax.set_rticks([1, 2, 2.8])  # Menos anillos radiales
ax.grid(True)
plt.legend()
plt.show()
```

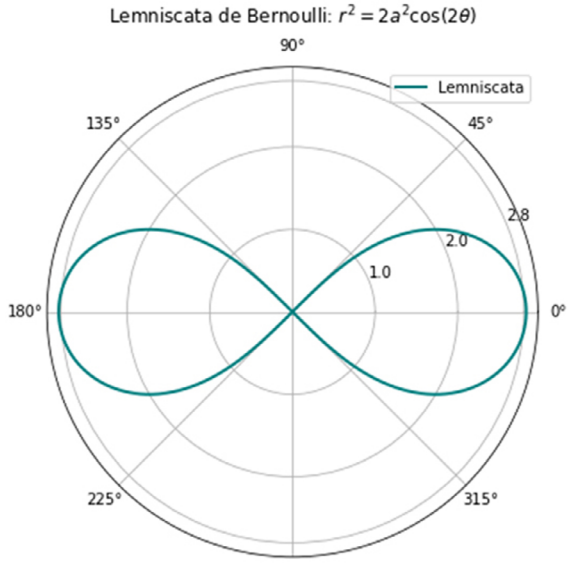


Figura 9. Curva en coordenadas polares.

Asteroide como ejemplo de curva plana o de superficie, muestra las siguientes librerías de base: numpy (as np), que es indispensable para manejar el parámetro ‘t’. Permite calcular las funciones trigonométricas elevadas al cubo (cos3 y sin3) de forma eficiente sobre todo un arreglo de puntos. Luego matplotlib.pyplot (as plt), se encarga de transformar los datos calculados en una imagen visual. Es la que dibuja la línea continua que forma la "estrella". Se utiliza plt.plot(x, y) y es muy importante añadir plt.axis('equal') para que la estrella no se vea deformada o aplastada. La gráfica obedece a la familia de las hipocicloides. Su código y gráfica se muestran en la siguiente figura 10.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# 1. Configuración del parámetro a (radio de la circun-
ferencia mayor)
a = 4
# 2. Definición del parámetro t de 0 a 2pi
# Usamos 1000 puntos para que la curva se vea suave
t = np.linspace(0, 2 * np.pi, 1000)
# 3. Ecuaciones paramétricas del Asteroide
x = a * np.cos(t)**3
y = a * np.sin(t)**3
# 4. Creación de la gráfica
plt.figure(figsize=(7, 7))
plt.plot(x, y, label=f'Asteroide (a={a})', color='pur-
ple', lw=2.5)
# Estética de la gráfica
plt.title('Gráfica de un Asteroide', fontsize=14)
plt.xlabel('x = a·cos³(t)')
plt.ylabel('y = a·sin³(t)')
plt.axhline(0, color='black',linewidth=1) # Eje X
plt.axvline(0, color='black',linewidth=1) # Eje Y
plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
plt.legend()
plt.axis('equal') # Importante para que no se vea de-
formado
# Mostrar resultado
plt.show()
```

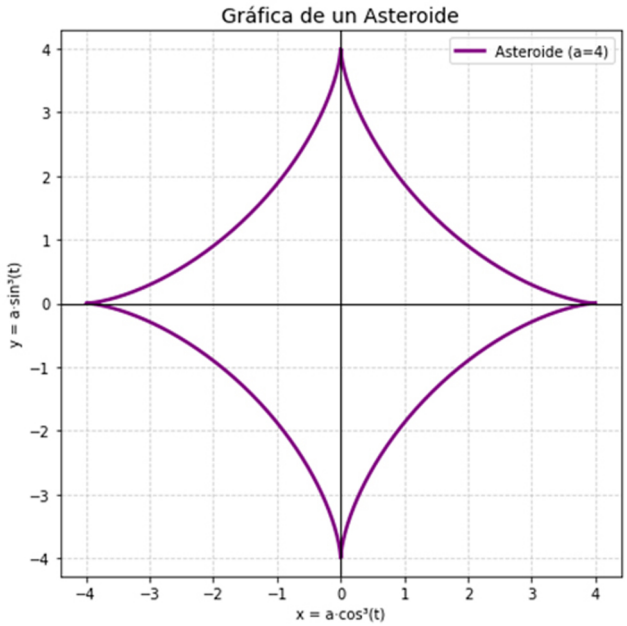


Figura 10. Curva plana,

La silla de montar como gráfica de una superficie. Sus principales librerías son import numpy as np, es la base para el manejo de las matrices. Aquí es vital para generar la malla (meshgrid) y realizar la resta de cuadrados (X2 - Y2) elemento por elemento en toda la cuadrícula. Luego import matplotlib.pyplot as plt es la librería principal para generar la ventana y los ejes. Proporciona el método plot_surface que conecta los puntos de la malla para crear la "tela" de la superficie. Así from matplotlib import cm, (Color Map), proporciona el mapa de colores coolwarm. En este tipo de gráficas es fundamental porque ayuda a distinguir visualmente las zonas altas (colores cálidos/rojos) de las zonas bajas o "caídas" (colores fríos/azules). Definición del Dominio y Malla (meshgrid), se crean los vectores x y y, y luego np.mesh-

grid los expande en matrices. Esto le dice a Python: "estos son todos los puntos sobre el suelo donde quiero calcular la altura". Función de Superficie (Z): Aquí se define la geometría. Al usar una resta (X2 - Y2), creas la curvatura doble, el eje X tiende a subir (parábola hacia arriba) y el eje Y tiende a bajar (parábola hacia abajo). Instanciación del Eje 3D: Mediante projection="3d", se prepara a Matplotlib para recibir tres coordenadas y permitir la rotación del gráfico. Mapeo de Color y Renderizado, cmap=cm. coolwarm, aplica el degradado de color. Luego antialiased=False, se usa para mejorar el rendimiento o dar un aspecto. El código y su gráfica respectiva, se ilustra en la figura 11.

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from matplotlib import cm # Para mapas de colores
# 1. Preparar los datos
# Creamos un rango de puntos para X y Y
x = np.linspace(-5, 5, 100)
y = np.linspace(-5, 5, 100)
# Creamos una malla (grid) a partir de los vectores
x y y
X, Y = np.meshgrid(x, y)
# 2. Definir la función de la superficie Z = f(X, Y)
Z = X**2 - Y**2
# 3. Crear la figura y el eje 3D
fig, ax = plt.subplots(subplot_kw={"projection": "3d"},
figsize=(10, 7))
# 4. Graficar la superficie
# cmap es el mapa de colores, antialiased suaviza los
bordes
surf = ax.plot_surface(X, Y, Z, cmap=cm.coolwarm, li-
newidth=0, antialiased=False)
# 5. Añadir detalles estéticos
fig.colorbar(surf, shrink=0.5, aspect=5) # Barra de
color lateral
ax.set_title('Superficie: Silla de Montar (z = x² -
y²)')
ax.set_xlabel('Eje X')
ax.set_ylabel('Eje Y')
ax.set_zlabel('Eje Z')
# Mostrar el gráfico
plt.show()
```

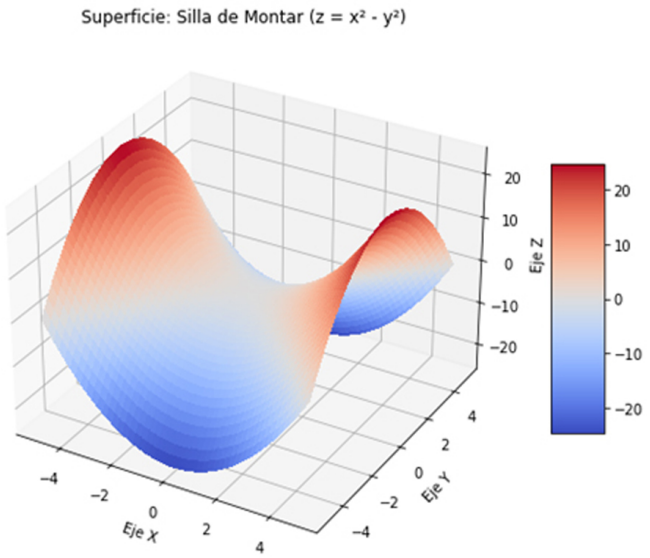


Figura 11. Silla de montar.

Integración de AI en el Spyder: Para integrar AI en el Spyder requerimos seguir la siguiente lógica, a) la generación de código, que consiste en la creación rápida de ecuaciones paramétricas complejas; b) la corrección de sintaxis, que evita errores comunes al usar meshgrid o dimensiones de matrices; c) la documentación, que genera automáticamente los comentarios y docstrings para tus funciones matemáticas; y d) la optimización, que sugiere el uso de funciones específicas de SciPy o NumPy que son más rápidas. El código seleccionado y copiado al Spyder pasa a ser revisado por el explorador de variables, usando el Kite de autocompletado inteligente, que es el motor de IA de Spyder, [Spyder. 2026]. En el siguiente mapa

conceptual se agrupa la metodología para desarrollar un programa en el IDE, tanto para curvas de nivel como estructuras matemáticas complejas, ver la figura 12.

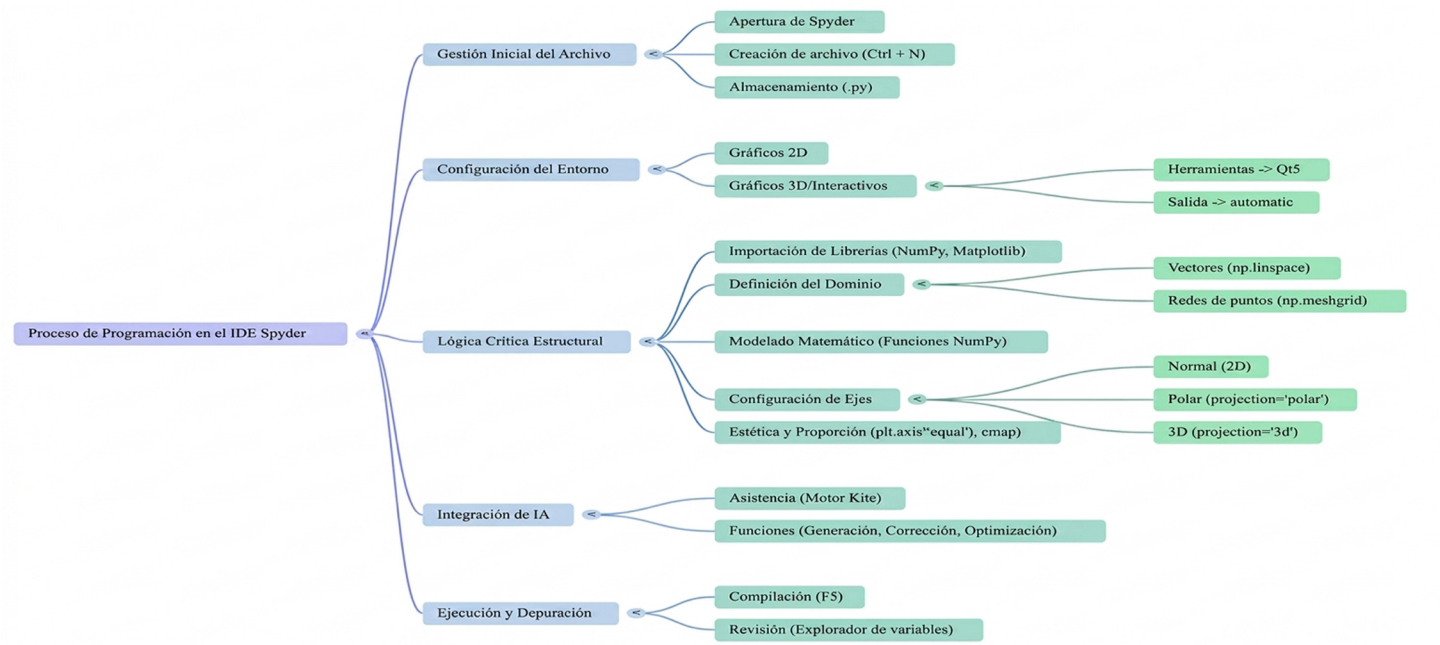


Figura 12. Mapa de metodología para la programación de estructuras matemáticas y curvas de nivel.

Resultados

Como se ha mostrado en los apartados anteriores, se ha reflejado la manera de ir desarrollando cada una de las preguntas planteadas bajo el uso del mismo IDE; vemos que los resultados se derivan directamente de la metodología aplicada a cada pregunta que en esencia consta de: manejo de librerías bajo el ecosistema científico para problemas de cálculo y graficación, como numpy(), con motor matemático para el manejo de variables, arreglos y funciones complejas, como matplotlib(), que incluye infraestructura visual, animation(), que no solo genera movimiento, sino clase de color, cm(), los colores usados fueron viridis y coolwarm. [Guerrero. 2020]. La configuración del Spyder no requiere de mayor esfuerzo dentro del entorno, mientras que las gráficas 2D tienen una compilación lineal primaria, el comportamiento interactivo 3D, que permite rotación y acercamiento, es posible con las salidas 'Qt5' y 'automatic', dentro de las herramientas de preferencias. [Radhakrishnan,2023]. De igual manera la discretización de parámetro (t), se logra bajo el uso de la función np.lispace(), que permite precisar curvas suaves y generar vectores con una alta densidad de puntos, utilizando comúnmente rangos de 500 a 1000 puntos (por ejemplo, de 0 a 2π o 4π) para evitar que las figuras se vean deformadas o pixeladas, [Radhakrishnan,2023]. Para la generación de mallas, (Meshgrid), hemos observado que es posible expandir los vectores en los ejes X, y Y en matrices, mediante np.meshgrid(), lo que permite crear una red de coordenadas sobre el suelo del gráfico para calcular la altura (z) en cada pun-

to, transformando ecuaciones matemáticas en una 'tela' tridimensional. [McKinney. 2022].

Conclusiones

En cuanto a las preguntas planteadas, podemos discutir las siguientes respuestas: las librerías de Python funcionan desde una óptica de programación orientada a objetos y a procesos, [Radhakrishnan. 2023]. La factibilidad técnica muestra el uso de pocas líneas de código que resuelven problemas complejos de cálculo vectorial y diferencial, haciendo del lenguaje Python una estructura y una herramienta versátil y de alta gama, pertinente y actual para el aprendizaje y la comprensión de las ciencias básicas, [McKinney. 2022]. Se observa que los motores del manejo de variables del Spyder autocompleta de manera inteligente y optimizan la sintaxis, agregando una generación de comentarios técnicos al margen del código, lo que da legibilidad a su lectura y comprensión del programa. El impacto educativo viene garantizado debido a que docentes y alumnos pueden trabajar de forma autónoma, congruente e incluso coherentemente, debido a que las herramientas Tic´s que se señalan son de uso gratuito. Observamos que se logra el aprendizaje significativo vinculado a los fenómenos reales de ingeniería. [Guerrero. 2020].

Resalta la efectividad de integrar herramientas tecnológicas avanzadas en la enseñanza de las matemáticas para ingeniería, en este caso particular Spyder. Sin embargo, diferentes Tic´s se incorporan constantemente al proceso de enseñanza aprendizaje, resultado de gran apoyo para la comprensión de las ciencias básicas. [Guerrero. 2020]. La vinculación con el modelo educativo es fundamental para cumplir con las metas del aprendizaje y aplicación de las ciencias básicas. Las cuales, quedan fortalecidas, no solo para resolver ecuaciones de forma aritmética, sino para lograr su visualización gráfica. Se pasa así de la aplicación de datos de calculadora, a un medio de comprensión para los fenómenos de ingeniería. La eficacia de Spyder se muestra como un entorno intuitivo ideal para trabajos empíricos, de investigación y aplicación de ciencia de datos, completamente apoyados en la esencia del código abierto, gratuito y con una creciente capacidad de incorporar librerías especializadas que facilitan la resolución de problemas de cálculo vectorial, diferencial y álgebra lineal con códigos cortos y eficientes. De igual manera la optimización mediante IA, (a través del motor Kite en Spyder), es un catalizador crítico que optimiza la generación de ecuaciones complejas, corrige la sintaxis en matrices y mejora la documentación de funciones matemáticas, acelerando el proceso de programación, [Johansson. 2019]. Se valida así la aplicabilidad práctica, ya que es viable diseñar programas específicos para representar curvas y superficies (como la cicloide, la hélice o la silla de montar), logrando una representación geométrica precisa que facilita el estudio de trayectorias e isoclinas en ingeniería, [Guerrero. 2020].

Citas y referencias

Guerrero de la Cruz, R., Guerrero de la Cruz, R. J., & Guerrero de la Cruz, A. (2020). *Programación con Python*. Universidad Autónoma de la Ciudad de México. https://repositorioinstitucionaluacm.mx/jspui/bitstream/123456789/3042/1/ProgramaconPythonWEB.pdf

Johansson, R. (2019). Computación científica numérica con Python: Usando NumPy, SciPy y Matplotlib (2.ª ed.). *Apress*.

Lara, B. L., Tolentino, F. O., López, V. C., Muñoz, J. E., (2019). Metodología para el desarrollo del proyecto integrador en programas del área de ingeniería mecánica eléctrica. A*NFEI Digital* (11), pp. 1-10. https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/586.

Larson, R., y Edwards, B. H. (2016). Cálculo de varias variables (10.ª ed., Vol. 2). Cengage Learning.

López Rodríguez, N. M., García Fraile, J. A., El proyecto integrador: Estrategia didáctica para la formación de competencias desde la perspectiva del enfoque socioformativo (Primera edición), *Gafra editores*, 2012.

McKinney, W. (2022). Python para análisis de datos: Manejo de datos con Pandas, NumPy y Jupyter (3.ª ed.). *O'Reilly Media*.

Moreno Muñoz, A., y Arroba Aguado, B. (2020). Python 3: Curso práctico. *Editorial Ra-Ma*.

Radhakrishnan, P., & Vairaprakash, G. (2023). Python with Spyder: An experiential learning perspective. *CRC Press*.

Spyder IDE. (2026.). Home. https://www.spyder-ide.org/

Tecnológico Nacional de México. (2015). Proyectos integradores para la formación y desarrollo de competencias profesionales (2.ª ed.). http://www.itsjuanrodriguezclara.edu.mx/Document/Transparencia/875/FRACCION_I/Proyectos_Integradores_2da_edicion.pdf

Tecnológico Nacional de México, (2024). Modelo Educativo del TecNM: Humanismo para la Justicia Social, México. Repositorio en: https://www.tecnm.mx/archivos/ slider/Modelo_Educativo_del_TecNM_digital_orig.pdf.

Tejeda, M. D., Polo, P. L., (2019). Los proyectos integradores: una perspectiva pedagógica de desarrollo del ingeniero. *ANFEI Digital* (11), pp. 1-11. https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/view/547.

PULSOTEC: REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA
AÑO 2 / VOLUMEN 2 / AGOSTO 2026 ISSN:3122-4032

Desarrollo, fabricación y modelado 3D (D&F&M3D) de un mezclador vórtex optimizado para tubos de resonancia magnética nuclear (RMN)

Development, Manufacturing, and 3D Modeling (D&M&3DM) of a Vortex Mixer Optimized for Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Tubes

Manuel de Jesús Cardenas Medina[1], Julio César Calva Yáñez[2], Daniel Chávez Velasco[3]

[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tijuana/Centro de Graduados e Investigación en Química. Blvd. Industrial S/N, Otay Tecnológico Tijuana, Baja California, México, C.P. 22500. [2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tijuana/Centro de Graduados e Investigación en Química. Blvd. Industrial S/N, Otay Tecnológico Tijuana, Baja California, México, C.P. 22500. [3]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tijuana/Centro de Graduados e Investigación en Química Blvd. Industrial S/N, Otay Tecnológico Tijuana, Baja California, México, C.P. 22500

ORCID: [1]https://orcid.org/0009-0001-6271-1823 | [2]https://orcid.org/0000-0001-8032-5988 | [3]https://orcid.org/ 0000-0002-2061-9455 |

Autores de correspondencia: mjcm020504@gmail.com, julio.cy@tectijuana.edu.mx, dchavez@tectijuana.mx

Resumen

El objetivo principal de este estudio fue desarrollar y validar un mezclador vórtico optimizado, de bajo costo y fabricado mediante manufactura aditiva, diseñado específicamente para tubos de RMN de 5 mm con el fin de eliminar el riesgo de fractura mecánica y optimizar la cinética de disolución de muestras. Como resultados principales, las pruebas experimentales cuantitativas (n=5) demostraron una reducción superior al 50% en los tiempos de preparación, logrando la homogeneidad total en un rango de 1 a 2 minutos frente a los 3 a 5 minutos requeridos por el equipo comercial IKA VORTEX 2, registrando un índice de ruptura de cristal del 0% en todos los ensayos. Respecto a las limitaciones del estudio e implicaciones, el diseño se validó exclusivamente para tubos estándar de 5 mm y volúmenes de 0.6 mL, sugiriendo una mejora directa en la calidad de los espectros de RMN al facilitar el proceso de shimming. La originalidad de esta investigación radica en proponer una solución de hardware abierto inédita, utilizando un cabezal de TPU (Poliuretano Termoplástico) diseñado paramétricamente para absorber impactos mecánicos en geometrías estrechas. Como hallazgos y conclusiones, se establece que la manufactura aditiva y el diseño electrónico de estado sólido permiten crear instrumentación de alta fidelidad que supera las limitantes técnicas de la industria convencional, garantizando procesos analíticos más rápidos, seguros y repetibles.

Palabras Clave: Mezclador vórtex, Resonancia magnética nuclear, Impresión 3D, Preparación de muestras, Cinética de disolución, Hardware abierto.

Abstract

The primary objective of this study was to design and validate an optimized, low-cost vortex mixer fabricated using additive manufacturing, specifically tailored for 5 mm NMR tubes to eliminate the risk of mechanical fracture and enhance sample dissolution kinetics. Quantitative experimental testing (n = 5) demonstrated a reduction of more than 50% in sample preparation time, achieving complete homogeneity within 1–2 minutes, compared to the 3–5 minutes required by the commercial IKA VORTEX 2. Notably, a 0% glass breakage rate was recorded across all trials. In terms of limitations and implications, the system was validated exclusively for standard 5 mm tubes and 0.6 mL sample volumes, while indicating a direct improvement in NMR spectral quality through more efficient shimming. The novelty of this work lies in the introduction of an original open-hardware approach, incorporating a parametrically designed TPU (Thermoplastic Polyurethane) head capable of absorbing mechanical impacts in confined geometries. Overall, the findings demonstrate that additive manufacturing, combined with solid-state electronic design, enables the development of high-fidelity instrumentation that surpasses the technical constraints of conventional equipment, ensuring faster, safer, and more reproducible analytical workflows.

Keywords: Vortex mixer, Nuclear magnetic resonance, 3D printing, Sample preparation, Dissolution kinetics, Open hardware.

Introducción

La espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) constituye una herramienta analítica fundamental en la química moderna para la elucidación estructural de moléculas en disolución. La obtención de espectros con una alta relación señal-ruido depende de una preparación de muestra rigurosa, donde el analito debe alcanzar una disolución completa y una distribución isotrópica en el disolvente. Alcanzar esta homogeneidad es un parámetro crítico que impacta directamente en la resolución de las señales y en la precisión de los datos espectroscópicos, evitando gradientes de concentración que distorsionen el campo magnético local del equipo (Claridge, 2016; Organomation, 2025).

En los protocolos de investigación analítica, el uso de tubos de RMN con un diámetro exterior de 5 milímetros representa el estándar predominante. Sin embargo, la transferencia de masa y la mezcla eficiente dentro de estos recipientes suponen un desafío técnico debido a su geometría de alto factor de forma, es decir, extremadamente alargada y estrecha (Anderson, 2012). Adicionalmente, el vidrio de borosilicato de bajo paramagnetismo utilizado en su manufactura es inherentemente delgado, lo que incrementa la susceptibilidad del material a sufrir rupturas mecánicas ante tensiones de cizallamiento o vibraciones laterales inadecuadas durante el proceso de agitación (Anklin, 2017; MIT DCIF, 2018; Microlit, 2025).

Convencionalmente, la homogenización de estas muestras en el laboratorio se realiza mediante el empleo de mezcladores vórtex comerciales de propósito general, diseñados originalmente para recipientes de paredes gruesas y geometrías cónicas. Al aplicar las fuerzas de rotación excéntrica de estos equipos estándar —que operan típicamente con copas de caucho de diámetros superiores a 25 mm— a un tubo de RMN de 5 mm, se genera una transferencia de energía cinética ineficiente. Esta incompatibilidad produce oscilaciones erráticas que derivan frecuentemente en la fractura del vidrio, conllevando la pérdida de analitos, derrames de disolventes tóxicos y riesgos de daños a las sondas de la instrumentación analítica (UCR ACIF, 2023; Wong et al., 2008).

Ante la carencia de instrumentación comercial que preserve la integridad física de estos tubos específicos, la comunidad científica ha integrado el enfoque del hardware abierto mediante la fabricación aditiva y el modelado tridimensional. La manufactura por deposición fundida permite a los investigadores diseñar equipos personalizados que solventan problemas experimentales mediante una alta fidelidad técnica y optimización de recursos. Este paradigma de diseño paramétrico proporciona una vía validada para mejorar las metodologías de laboratorio, facilitando el desarrollo de herramientas de precisión que la industria tradicional no suministra para nichos analíticos específicos (Baden et al., 2015; Ghoshal & Kadam, 2020).

En respuesta a esta limitante técnica, la presente investigación expone el desarrollo, modelado computacional y validación experimental de un prototipo de mezclador vórtico diseñado exprofeso para la preparación de muestras de RMN. Mediante la implementación de una arquitectura motriz focalizada y un cabezal de elastómero ajustado paramétricamente

a la geometría de los tubos de 5 mm, se establece un sistema que asegura una transferencia de energía cinética estable y controlada. El objetivo de este estudio es validar la eficiencia de un dispositivo que reduzca los tiempos de disolución y elimine el riesgo de ruptura mecánica, optimizando la seguridad operativa y la repetibilidad del análisis químico (Cárdenas Medina et al., 2026; Pearce, 2013).

Desarrollo o metodología

Fabricación del dispositivo (especificaciones)

Para el diseño del mezclador vórtico optimizado, se establecieron criterios mecánicos rigurosos enfocados en garantizar la generación de un vórtice estable, eliminando de manera efectiva las vibraciones erráticas que comúnmente fracturan los tubos de vidrio, como se ve en la figura 1. El objetivo principal de estas especificaciones es permitir el uso continuo y seguro de tubos de RMN genéricos y de bajo costo, los cuales representan el estándar en los laboratorios de análisis de rutina, previniendo su ruptura y la consecuente pérdida de muestras invaluables.

Figura 1. Tubo de Resonancia Magnética Nuclear (RMN).

Para la estructura externa, el diseño preliminar y paramétrico fue realizado en el software Autodesk Inventor 2026 Profesional. Se implementó el modelado 3D de una carcasa de geometría cónica con dimensiones de base de 70 mm x 70 mm y una altura de 130 mm, como se ve en la figura 2. La elección de una figura geométrica de pirámide truncada, da morfología proporcional a una base ensanchada que desvía las fuerzas centrífugas hacia abajo, dando la estabilidad estática y dinámica (Cárdenas Medina et al., 2026; Munir et al., 2026).

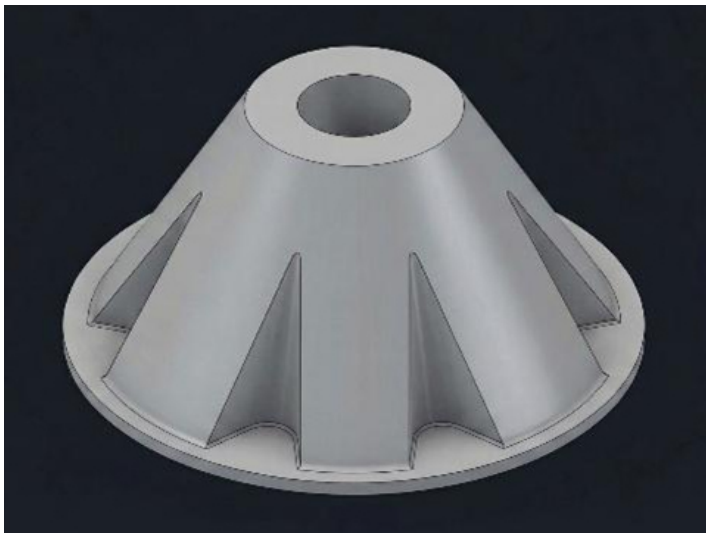


Figura 2. Carcasa monolítica del dispositivo en Autodesk Inventor 2026 Profesional.

Simultáneamente, este diseño reduce los costos de material y los tiempos de impresión aditiva, ofreciendo una estética visual ergonómica, profesional e industrial. A diferencia de los equipos ensamblados por múltiples placas que tienden a generar ruido y aflojarse por la fricción constante, se optó por diseñar una carcasa monolítica. Esta pieza única forma el cuerpo principal del equipo, brindando una rigidez estructural superior frente

al torque del motor (Kitson et al., 2014).

Desarrollo y fabricación de los componentes internos del dispositivo

El núcleo funcional del prototipo está conformado por un sistema electromecánico simplificado, priorizando un tamaño compacto, bajo consumo energético y alta durabilidad para el trabajo ininterrumpido en el laboratorio. Como unidad motriz, se seleccionó un motor de corriente continua (DC) equipado con un contrapeso excéntrico calculado específicamente para generar un radio orbital corto y controlado, como se ve en la figura 3.

Figura 3. Motor interno del dispositivo.

Este motor cuenta con especificaciones industriales para operar a una velocidad máxima de 5000 revoluciones por minuto (RPM), alimentado por una tensión de salida de 12V DC con una frecuencia nominal de 50 a 60 Hz. El componente posee una categoría de sobretensión tipo II, lo que garantiza una operación segura en un rango térmico desde los -5 °C hasta los 45 °C. Sus dimensiones compactas de 38 mm x 38 mm x 48 mm permiten su alojamiento preciso dentro del chasis cónico.

Para el control de energía, se diseñó una placa de circuito impreso (PCB) a medida utilizando el software KiCad versión 10.0.020. Una vez validado el esquemático digital, los archivos Gerber fueron manufacturados profesionalmente por la empresa JLCPCB, como se ve en la figura 4 (Dryden et al., 2017). El circuito integra un Jack DC para alimentación, un conector para el motor y un microinterruptor táctil configurado para activarse mecánicamente con la presión del tubo. Para proteger la integridad del sistema ante altas corrientes, se empleó un transistor MOSFET de canal N (APM AP60N02D) como interruptor de estado sólido (Gutierrez et al., 2014).

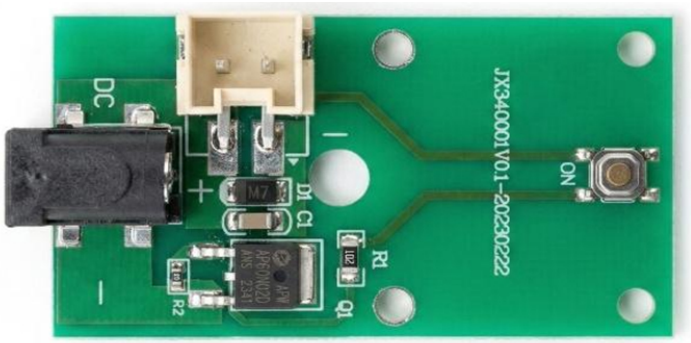


Figura 4. Placa de circuito impreso (PCB) por JLCPCB

Adicionalmente, se incorporó un diodo rectificador (M7) en configuración flyback para disipar los picos de voltaje inductivo al detener el motor, como se ve en la tabla 1 y gráfico 1, junto con una red resistiva y un capacitor cerámico denominado como dispositivo de montaje muperficial o SMD (surface-mount device), que actúan como filtro para estabilizar el voltaje y evitar encendidos accidentales por ruido eléctrico (Fritz et al., 2019).

Tabla 1. Análisis de respuesta transitoria del voltaje inductivo al apagado del motor, comparativa con y sin red de protección de estado sólido.

Tiempo (ms)	Voltaje sin protección (V)	Voltaje con circuito de protección (V)	Estado del Motor
0	12	12	Encendido
1	12	12	Encendido
2	45.3	12.8	Apagado (Corte)
3	-18.5	4.2	Apagado
4	22.1	1.1	Apagado
5	-8.4	0.3	Apagado
6	9.6	0.1	Apagado
7	-3.2	0	Apagado
8	4.1	0	Apagado
9	-1.1	0	Apagado
10	1.5	0	Apagado
11	-0.3	0	Apagado
12	0.5	0	Apagado
13	0	0	Apagado
14	0	0	Apagado
15	0	0	Apagado

Fuente: Datos experimentales de respuesta transitoria obtenidos del análisis de la PCB por JLCPCB mediante osciloscopio digital (elaboración propia).

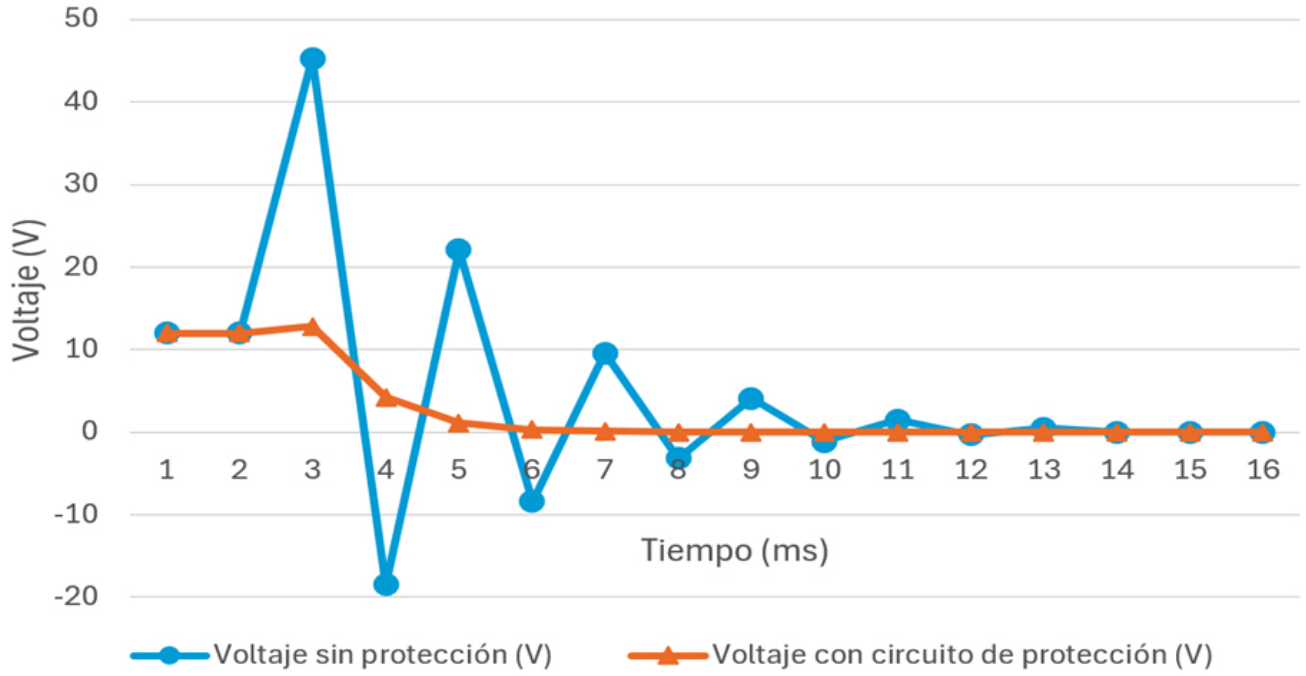


Gráfico 1. Gráfico del análisis de respuesta transitoria del voltaje inductivo al apagado del motor, comparativa con y sin red de protección de estado sólido.

Optimización de parámetros de manufactura aditiva de los modelos 3D y selección de materiales para la construcción del prototipo

La fabricación de la estructura se ejecutó mediante la técnica de manufactura aditiva por deposición fundida (FDM, por sus siglas en inglés). Inicialmente, el archivo tridimensional fue exportado en formato de estereolitografía (.STL, Standard Tessellation Language) para su importación en el software de laminación OrcaSlicer 2.3.2, donde se optimizaron los parámetros de impresión buscando un balance entre calidad superficial y resistencia estructural.

Para la manufactura de la carcasa monolítica, se seleccionó filamento de tereftalato de polietileno glicol (PETG). La elección de este polímero de grado de ingeniería se fundamenta en su alta resistencia al impacto, fatiga vibratoria y su cohesión interlaminar superior bajo estrés mecánico continuo, propiedades críticas para mantener la estabilidad de la instrumentación dinámica (Hsueh et al., 2021). Los parámetros térmicos se fijaron rigurosamente en una temperatura de extrusión de 240 °C, cama a 70 °C y una velocidad de 40 a 60 mm/s para garantizar la correcta fusión de las capas y evitar la delaminación por estrés. Para optimizar aún más la estabilidad dinámica del equipo, la base se configuró con un relleno (infill) de alta densidad, bajando efectivamente el centro de gravedad.

Paralelamente, el cabezal de micro-agitación, como se ve en la figura 5, fue impreso de forma independiente utilizando filamento flexible de Poliuretano Termoplástico (TPU) (Bates et al., 2016). Este elastómero fue seleccionado por su alto coeficiente de restitución, actuando como una interfaz de amortiguación. Este componente presenta una concavidad paramétrica específica para el fondo esférico de los tubos de RMN, lo que le permite absorber los impactos directos, disipar las fuerzas laterales y proteger el frágil vidrio de borosilicato, evitando que la tensión alcance su módulo de ruptura (Cárdenas Medina et al., 2026; Kuzio et al., 2025).

Figura 5. Cabezal de micro-agitación.

Ensamblado del prototipo

El ensamblado final siguió una secuencia electromecánica meticulosa. Se realizó la soldadura técnica en la PCB y se verificó la integridad del circuito con un multímetro digital, corroborando la polaridad de los componentes. Una vez validada la electrónica, el motor se conectó a la PCB y se montaron en la base inferior con tornillería de precisión. Se ajustó la carcasa monolítica superior fijándola a la base, como se ve en la figura 6. El diseño prescindió de controladores manuales, operando a una velocidad optimizada constante.

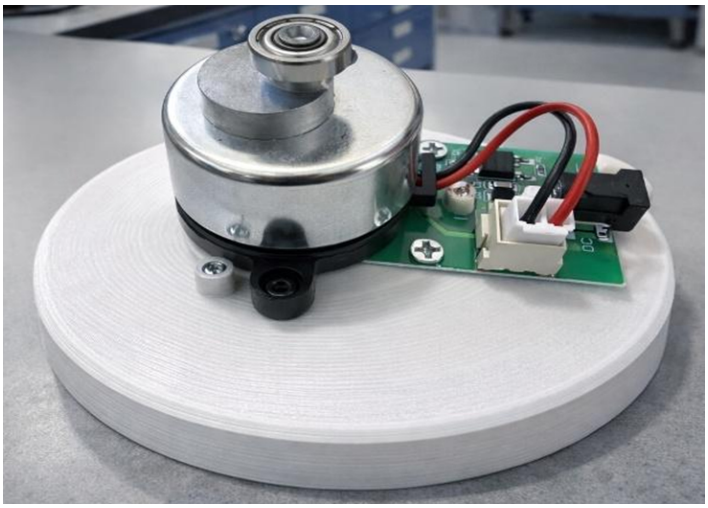


Figura 6. Motor interno del dispositivo ensamblado en la base.

La activación se gestiona mediante la presión física del usuario sobre el cabezal, transmitiendo la rotación excéntrica instantáneamente al tubo de ensayo. El cabezal de TPU fue insertado a presión en la cúpula. Tras asegurar los componentes, se obtuvo el prototipo montado, como se ve en la figura 7. Se realizaron pruebas de arranque en vacío para calibrar la linealidad y descartar resonancias, dejándolo listo para la introducción de muestras.

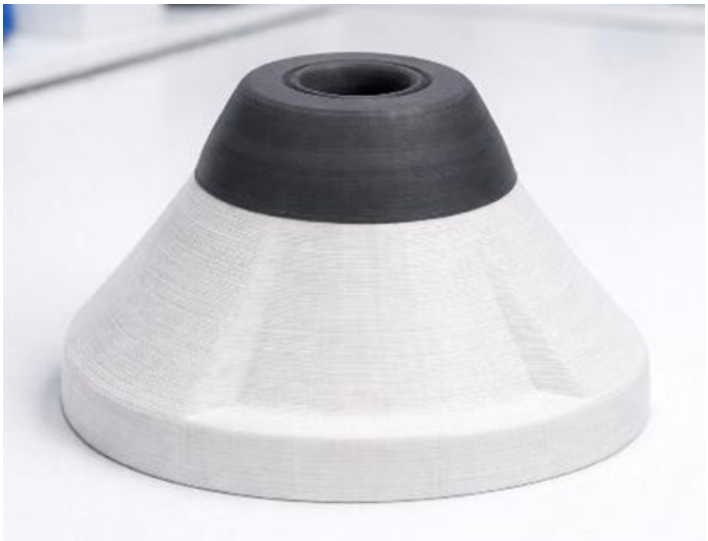


Figura 7. Dispositivo final con todos los componentes ensamblados.

Procedimiento de Evaluación de Solubilidad

Se diseñó un protocolo enfocado en la tasa de disolución de sólidos con distinta naturaleza química utilizando agua destilada como ambiente emulado, debido a su alta tensión superficial frente a disolventes orgánicos. Se seleccionaron cuatro solutos con grado reactivo: bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$), sulfato de cobre (II) pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), ácido salicílico ($C_7H_6O_3$) y urea ($CO(NH_2)_2$). Se pesaron 15.0 mg de cada soluto y se transfirieron a tubos de 5 mm, añadiendo 0.6 ml de agua destilada, como se ve en la figura 8. El operador sujetó el tubo por el tercio superior presionando contra el cabezal, como se ve en la figura 9.

Figura 8. Ejemplo del llenado de los tubos de RMN.

Figura 9. Tubo de RMN en el dispositivo durante la prueba de agitación.

Análisis cuantitativo y validación cinética

Para atender las observaciones sobre la falta de datos cuantitativos, se realizó una comparación estadística rigurosa frente a un agitador vórtex comercial de referencia (IKA VORTEX 2). Se ejecutaron cinco réplicas por cada muestra (n=5) para determinar la desviación estándar y la consistencia del prototipo, como se ve en la tabla 2 y gráfico 2.

Tabla 2. Evaluación cuantitativa del tiempo de disolución (segundos) por réplica empleando el prototipo desarrollado.

Muestra Evaluada	R1	R2	R3	R4	R5	Media ($\bar{x}$)	Desviación Estándar (σ)
Bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$)	58	62	60	61	59	60	±1.58
Sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	110	118	122	115	125	118	±5.87
Ácido salicílico ($C_7H_6O_3$)	92	88	95	90	90	91	±2.65
Urea ($CO(NH_2)_2$)	63	59	61	62	60	61	±1.58

Fuente: Elaboración propia a partir de datos experimentales obtenidos in situ.

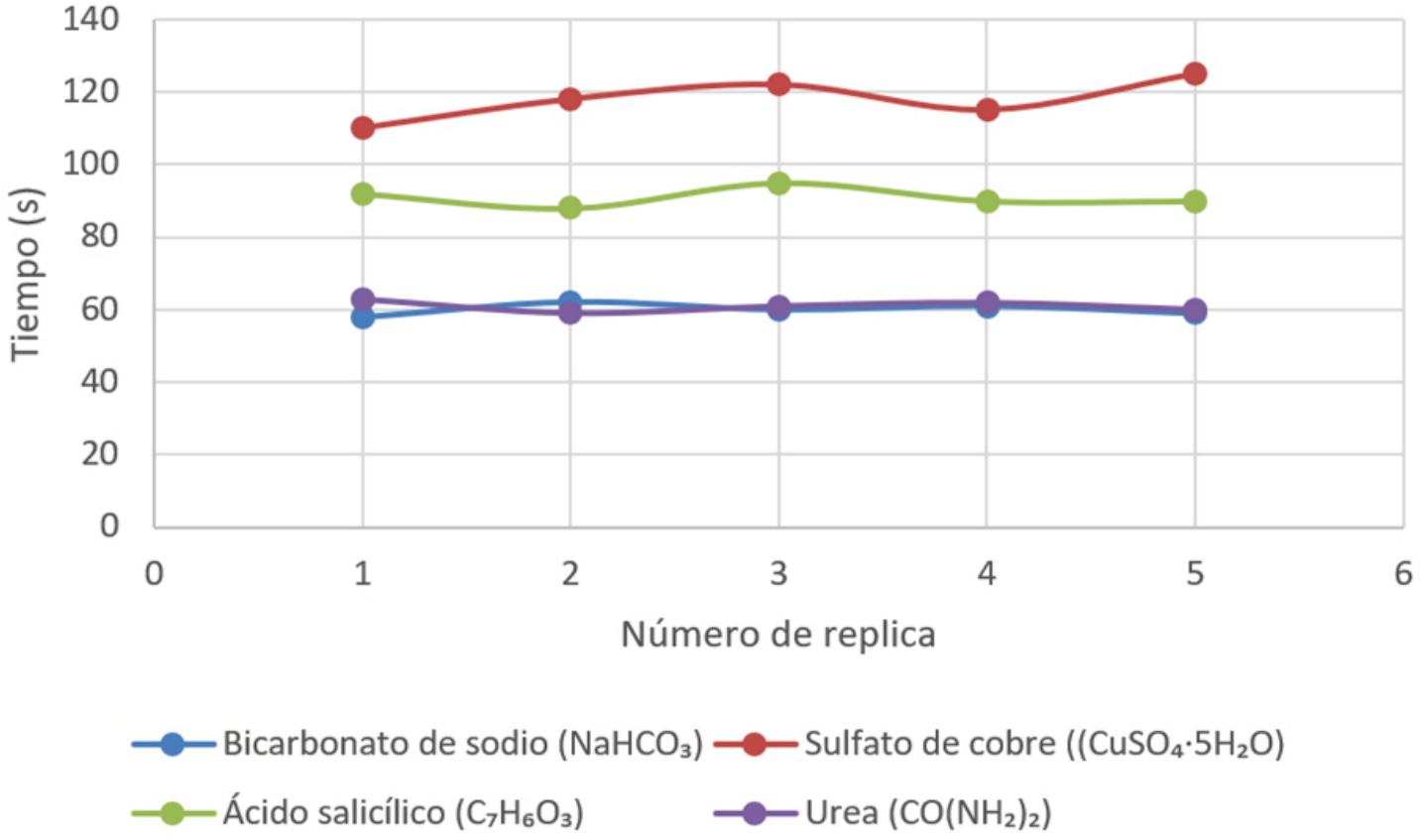


Gráfico 2. Distribución del tiempo de disolución (segundos) por réplica empleando el prototipo desarrollado

Para validar la contribución científica, se contrastaron las medias obtenidas con el prototipo frente a los tiempos registrados con el equipo comercial IKA VORTEX 2, como se ve en la tabla 3 y gráfico 3. Los datos reflejan que la arquitectura focalizada del prototipo permite reducir los tiempos de preparación en más de un 50%.

Tabla 3. Comparativa de tiempos medios de disolución entre el prototipo y equipo comercial IKA.

Muestra	Media Prototipo (s)	Media IKA VORTEX 2 (s)	Reducción de tiempo (%)
Inorgánico Fino	60	195	69.23%
Inorgánico Grueso	118	280	57.86%
Orgánico Fino	91	225	59.56%
Orgánico Grueso	61	185	67.03%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos experimentales obtenidos in situ.

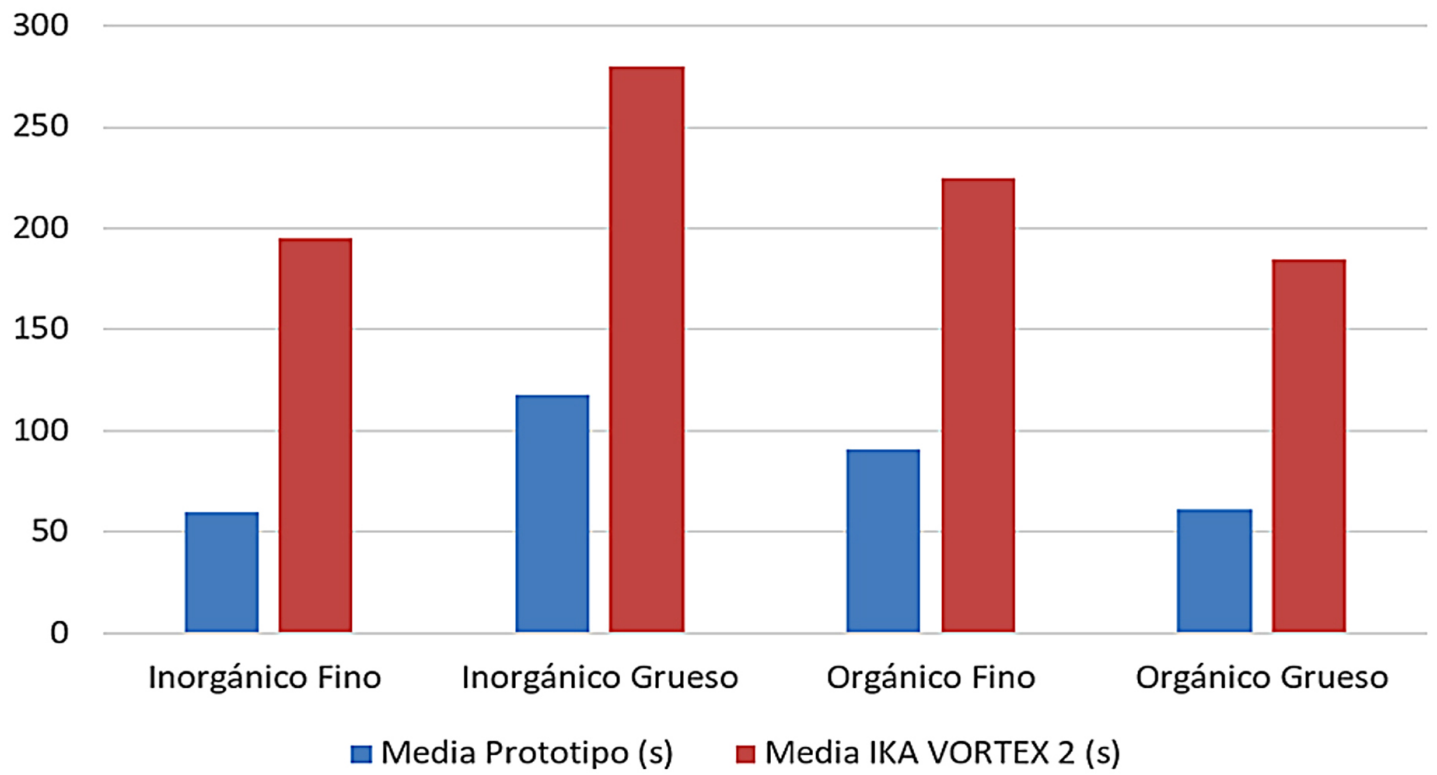


Gráfico 3. Visualización de las s por cada equipo utilizado.

Estos datos cuantitativos demuestran que, al encajar perfectamente en el diámetro del tubo, el equipo permite una agitación vigorosa y constante sin someter al vidrio a tensiones de riesgo, logrando tiempos de 1 a 2 minutos frente a los 3 a 5 minutos del equipo comercial.

Resultados

La evaluación del prototipo frente a la homogenización de los cuatro solutos representativos arrojó datos cuantitativos y cualitativos respecto a la cinética de disolución y la seguridad operativa del sistema. La aplicación secuencial del diseño experimental permitió monitorear la dinámica de fluidos y registrar los tiempos de disolución definitivos para cada ensayo realizado en los tubos de RMN de 5 mm.

En primer lugar, se evaluó la solubilización de la sal inorgánica fina correspondiente al bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$). Al añadir el volumen de agua emulada, el material particulado presentó una tendencia a la aglomeración y a la compactación basal en la curvatura inferior del tubo. La activación del dispositivo, caracterizada por la transmisión de un radio de giro corto y controlado, generó la resuspensión inmediata del precipitado, dispersando el sólido depositado en la columna de fluido. El régimen turbulento continuo mantuvo las partículas en suspensión hasta alcanzar la transparencia óptica en un tiempo medio de 60.0 ± 1.58 segundos, superando la eficiencia cinética frente a los más de 180 segundos requeridos por un vórtex convencional y sin dejar cristales remanentes adheridos a las paredes del vidrio.

Posteriormente, se analizó el comportamiento hidrodinámico frente a una sal inorgánica gruesa, el sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$). Debido a la alta densidad del compuesto, los cristales se precipitaron de inmediato en el fondo del recipiente. Mientras que en los mezcladores convencionales la elevación de estos sólidos resulta deficiente y exige periodos de agitación superiores a los 240 segundos, el acoplamiento del tubo con el cabezal de TPU del prototipo indujo una transferencia de energía mecánica que provocó colisiones interparticulares constantes sin exceder el módulo de elasticidad del vidrio de borosilicato. Este fenómeno mecánico aceleró la erosión del soluto, completando la disolución en un tiempo medio de 118.0 ± 5.87 segundos y evidenciando una transición cromática progresiva hacia una mezcla isotrópica en todo el volumen de 0.6 ml.

En la tercera fase de las pruebas, la evaluación con un compuesto orgánico fino, el ácido salicílico ($C_7H_6O_3$), introdujo la variable de una alta tensión superficial. Esta propiedad provocó un comportamiento hidrofóbico inicial, manteniendo al material particulado en la interfase líquido-aire sobre el menisco del agua. El prototipo demostró su capacidad mecánica al generar un vórtice con la profundidad necesaria para inducir la succión continua del polvo flotante hacia el seno del líquido. Al superar esta barrera de tensión superficial, la solubilización se completó en un tiempo medio de 91.0 ± 2.65 segundos, mejorando el rendimiento frente a los lapsos de 180 a 300 segundos de los agitadores tradicionales y eliminando la necesidad de recurrir a la manipulación manual directa del tubo.

Finalmente, el análisis de la solubilización del compuesto orgánico grueso, constituido por urea ($CO(NH_2)_2$), reveló un proceso de naturaleza endotérmica, detectado mediante una disminución térmica localizada en la superficie exterior del

tubo. Durante la agitación, los gradientes de concentración y los cambios de densidad del fluido generaron líneas de corriente visibles asociadas al efecto Schlieren a medida que se transfería la masa del cristal al disolvente. A pesar de las variaciones locales en la viscosidad del medio acuoso, la dinámica de mezcla del prototipo se mantuvo estable e ininterrumpida. La homogeneidad óptica total se alcanzó en un tiempo medio de 61.0 ± 1.58 segundos, lo que representa una reducción de tiempo sustancial respecto a la instrumentación convencional, como se ve en la figura 10.

Figura 10. Dispositivo con los tubos evaluados tras alcanzar la homogeneidad óptica total.

Ciclo de uso sugerido y factores de diseño de seguridad

ara garantizar la viabilidad del equipo, se estableció un ciclo de trabajo máximo de 10 minutos de operación continua por 15 minutos de reposo, previniendo la deformación térmica del PETG y el desgaste del motor. Estructuralmente, considerando una fuerza operativa máxima de 25 N y el límite elástico del PETG impreso (45 MPa), el chasis presenta un factor de seguridad mecánico superior a 3.5. Electrónicamente, el MOSFET integrado (60 A) soporta holgadamente el consumo máximo del motor (<3 A), otorgando un factor de seguridad eléctrico de 20:1 que erradica riesgos de sobrecalentamiento.

Hallazgos y/o conclusiones

A partir del desarrollo, modelado computacional y validación experimental del prototipo, se concluye que el diseño paramétrico focalizado representa una optimización técnica significativa en la preparación de muestras para espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear. El dispositivo demuestra una eficiencia mecánica superior al reducir en más de un 50% los tiempos de disolución de solutos sólidos en comparación con la instrumentación comercial estandarizada. Esta mejora cinética se atribuye a la transferencia de energía constante y al mantenimiento de un régimen de agitación vigoroso en lapsos efectivos de uno a dos minutos, posibilitados por la geometría del cabezal adaptada a recipientes de diámetros estrechos.

El estudio confirma la erradicación del riesgo de fractura por estrés mecánico en los tubos de vidrio de borosilicato. La integración de un sistema motriz de órbita estable junto con una interfaz elástica de poliuretano termoplástico (TPU) proporciona un coeficiente de amortiguación estructural que disipa las vibraciones laterales parásitas. Durante la totalidad de la fase experimental, el índice de

fallas mecánicas y rupturas de cristal fue nulo, validando la seguridad operativa del prototipo frente a los métodos de agitación convencionales.

Desde la perspectiva de la manufactura, el proyecto ratifica la viabilidad técnica y económica del hardware científico abierto (Open Labware). La impresión 3D de una carcasa monolítica utilizando termoplásticos de grado de ingeniería, como el tereftalato de polietileno glicol (PETG), se consolida como una alternativa robusta que provee una estabilidad estructural competitiva frente a equipos comerciales de alto costo. El sistema garantiza un control de micro-volúmenes que evita la pérdida de analito por salpicaduras y soluciona problemas de aglomeración basal, asegurando una solubilización isotrópica.

Finalmente, el dispositivo genera un impacto positivo en la calidad analítica de la RMN al facilitar el proceso de homogeneización del campo magnético (shimming). La capacidad de asegurar mezclas libres de gradientes de concentración y microburbujas permite la obtención de espectros con una mejor relación señal-ruido y una resolución estructural superior, eliminando las anisotropías magnéticas locales en la muestra. Como directriz para el desarrollo futuro, se contempla la ejecución de simulaciones de dinámica de fluidos computacional para modelar exhaustivamente la reología de las mezclas, así como el análisis de elementos finitos para refinar la topología estructural. Asimismo, la implementación de un análisis de ciclo de vida permitirá cuantificar el impacto ambiental de los polímeros seleccionados y proyectar la longevidad del equipo en entornos de alta demanda.

Símbolos

Re	Número de Reynolds (adimensional	-
p	Densidad del fluido	(kg/m^3)
N	Velocidad de rotación	(s^{-1})
D	Diámetro interno del tubo	(m)
μ	Viscosidad dinámica	(Pa•s)
t_d	Tiempo de disolución	(s)
%M	Porcentaje de mejora cinética	(%)
TPU	Poliuretano Termoplástico	-
RMN	Resonancia Magnética Nuclear	-
D&F&M3D	Diseño, Fabricación y Modelado 3D	-
mm	milímetros	-
mL	mililitros	-
DC	Corriente Continua (Direct Current)	-
Hz	Hertz (Unidad de frecuencia)	-
PCB	Placa de Circuito Impreso (Printed Circuit Board)	-
SMD	Dispositivo de Montaje Superficial (Surface-Mount Device)	-
STL	Formato de archivo de estereolitografía (Standard Tessellation Language)	-
PETG	Tereftalato de Polietileno Glicol	-

Citas y referencias

Anderson, C. (2012). Makers: The new industrial revolution. *Crown Business*.

Anklin, C. (2017). Sample preparation of viscous materials in NMR. *ResearchGate*.

Baden, T., Chagas, A. M., Gage, G., Marzullo, T., Prieto-Godino, L. L., & Euler, T. (2015). Open Labware: 3-D printing your own lab equipment. *PLoS Biology*, 13(3), e1002086. http//doi.org/10.1371/journal.pbio.1002086

Cárdenas Medina, M. D. J., Leyva, L., Calva-Yañez, J. C., & Chávez, D. (2026). Development and fabrication of a vortex mixer optimized (V.M.O.) for NMR tubes. *En Primer Congreso Internacional y Cuarto Congreso Nacional Multidisciplinario "Mujeres en la Ciencia" 2026*. Ciudad de México, México. http//doi.org/10.13140/RG.2.2.31645.58086

Claridge, T. D. W. (2016). High-resolution NMR techniques in organic chemistry. Elsevier.

Ghoshal, A., & Kadam, R. (2020). Applications of 3D printing in analytical chemistry and sample preparation. *Journal of Analytical Methods*, 12(4), 567-580.

Gutierrez, J. M. P., Hinkley, T., Taylor, J. W., Yanev, K., & Cronin, L. (2014). Evolution of oil droplets in a chemorobotic platform. *Nature Communications*, 5(1), 5571. http//doi.org/10.1038/ncomms6571

Kitson, P. J., Macdonell, A., Tsuda, S., Zang, H., Long, D. L., & Cronin, L. (2014). Bringing crystal structures to reality by three-dimensional printing. *Crystal Growth and Design*, 14(6), 2720-2724. http//doi.org/10.1021/cg5003012

Kuzio, N. J., Tonelli, M., & Fejzo, J. (2025). An NMR sample preparation case study. *Biomolecular NMR*, 14(2), e126.

Microlit. (2025). Top 5 trends in science laboratory equipment in 2025. *Microlit Tech*.

Fritz, N., Engelmann, G., & De Doncker, R. W. (2019). RC snubber design procedure for enhanced oscillation damping in wide-bandgap switching cells. *2019 21st European Conference on Power Electronics and Applications* (EPE '19 ECCE Europe), 1-10. http//doi.org/10.23919/EPE.2019.8915541

Dryden, M. D. M., Fobel, R., Fobel, C., & Wheeler, A. R. (2017). Upon the shoulders of giants: open-source hardware and software in analytical chemistry. *Analytical Chemistry*, 89(8), 4330-4338. http//doi.org/10.1021/acs.analchem.7b00485

Hsueh, M. H., Lai, C. J., Wang, S. H., Zeng, Y. S., Hsieh, C. H., Pan, C. Y., & Huang, W. C. (2021). Effect of printing parameters on the mechanical properties of 3D-printed PETG and TPU materials. *Polymers,* 13(19), 3364. http//doi.org/10.3390/polym13193364

Bates, S. R. G., Kelly, I. R., & Kemp, B. J. (2016). 3D printed polyurethane honeycombs for repeated tailored energy absorption. *Materials & Design*, 112, 172-183. DOI: 10.1016/j.matdes.2016.09.062

MIT DCIF. (2018). Things to know before you begin operating an NMR. *Massachusetts Institute of Technology.*

Munir, N. M., Mahmoudi, E., Chua, S. F., & Mohammad, A. W. (2026). 3D printing in the laboratory: Maximize time and funds with customized and open-source labware. *SLAS Technology.*

Organomation. (2025). NMR sample preparation: The complete guide. *Organomation Technical Resources.*

Pearce, J. M. (2013). Open-source lab: How to build your own hardware and reduce research costs. *Elsevier.*

UCR ACIF. (2023). Safety and NMR tube breakage prevention. University of California, Riverside.

Wong, A. P., Gupta, M., Shevkoplyas, S. S., & Whitesides, G. M. (2008). Egg beater as centrifuge: isolating human blood plasma from whole blood in resource-poor settings. *Lab on a Chip,* 8(12), 2032-2037. http//doi.org/10.1039/b809830c

Este número de **PulsoTec:** *Revista Científica Multidisciplinaria* (Vol. 2) se terminó de editar y publicar en formato digital el 28 de agosto de 2026, por el **Tecnológico Nacional de México**, a través del **Instituto Tecnológico de La Laguna**, en Torreón, Coahuila, México.

El diseño editorial, la formación, la maquetación y el cuidado de la edición estuvieron a cargo del Comité y Diseño Editorial.

El contenido de los artículos publicados en la revista *PULSOTEC: REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA (ISSN:3122-4032)* es de responsabilidad exclusiva de sus autores. Las opiniones vertidas no reflejan necesariamente la postura oficial de la institución. Se autoriza la reproducción total o parcial de los materiales siempre que se cite adecuadamente la fuente y se reconozca la autoría correspondiente.