

EXPLORANDO LA INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA



EXPLORANDO LA
INVESTIGACIÓN
EN **INGENIERÍA**



EDITORIAL
UNIVERSIDAD CESMAG

Explorando la Investigación en Ingeniería. /Rivera Rosero, Jorge Albeiro, Eraso Checa, Francisco Javier y Mera Córdoba, Genny Alejandra (coordinadores). -- 1 ed. -- San Juan de Pasto: Universidad CESMAG, 2025.

100p.: il., ...a color.

Bibliografía: al final de cada capítulo

ISBN: 978-628-7585-52-2

E-ISBN: 978-628-7585-50-8

DOI: <https://doi.org/10.15658/CESMAG25.11040108>

1. CHATBOT 2. ENVOLTORIOS 3. INVESTIGACIÓN INGENIERÍA (PASTO-NARIÑO-COLOMBIA). I. Insuasty Portilla, Edwin. II. Insuasti, Jesús. III. Velasco Giron, Carmen Daniela. IV. Bravo Bucheli, Alberto. V. Ordoñez López, Dayner Felipe. VI. Angulo Castillo, Clariza Maribel. VII. Angulo Meza, Olga Vanessa. VIII. Rivera, Jorge Albeiro. IX. Barón Salazar, Alexander. X. Seguro Gallego, Cristian. XI. Recaman Chaux, Hernando. XII. Pérez Canencio, José Gabriel. XIII. Ojeda Solarte, Mary Luz. XIV. Guevara Bejarano, Jorge Enrique. XV. Erazo De La Cruz, Olger Ferledy. XVI. Jojoa Gómez, Pablo Emilio. XVII. Mora Arroyo, Jorge Edison. XVIII. Obando Paredes, Edgar Dario. XIX. Carvajal Quintero, Sandra Ximena. XX. Título.

CDD

003

22 ed.

CEP – Universidad CESMAG. Biblioteca Remigio Fiore Fortezza OFMCap.

Explorando la investigación en ingeniería

© Edwin Insuasty Portilla
© Jesús Insuasti
© Carmen Daniela Velasco Giron
© Alberto Bravo Bucheli
© Dayner Felipe Ordoñez López
© Clariza Maribel Angulo Castillo
© Olga Vanessa Angulo Meza
© Jorge Albeiro Rivera Rosero
© Alexander Barón Salazar
© Cristian Seguro Gallego
© Hernando Recaman Chaux
© José Gabriel Pérez Canencio
© Mary Luz Ojeda Solarte
© Jorge Enrique Guevara Bejarano
© Olger Ferledy Erazo De La Cruz
© Pablo Emilio Jojoa Gómez
© Jorge Edison Mora Arroyo
© Edgar Dario Obando Paredes
© Sandra Ximena Carvajal Quintero

© Universidad CESMAG
Vigilada Mineducación

© Editorial Universidad CESMAG
ISBN: 978-628-7585-52-2
E-ISBN: 978-628-7585-50-8

DOI: <https://doi.org/10.15658/CESMAG25.11040108>
Primera edición, 2025

Rector:

Fray Luis Eduardo Rubiano Guáqueta OFMCap.

Director editorial:

Javier Alejandro Jiménez Toledo

Coordinadores editoriales:

Jorge Albeiro Rivera Rosero
Francisco Eraso Checa
Genny Alejandra Mera Córdoba

Gestión editorial

Jennifer Andrea Bolaños Cabeza

Diseño Portada

Maria Paz Martínez Rosero

Diagramación y adaptación de diseño:

Manuel Alejandro Insandara Arteaga

Hecho en Colombia

Made in Colombia

Dirección Editorial:

Carrera 20A # 14-54. +57 602 7244434

ext. 1377 y 1218

Correo electrónico:

editorial@unicesmag.edu.co

www.unicesmag.edu.co

CP: 520003 - San Juan de Pasto – Colombia

APA:

Rivera, J., Eraso, F., & Mera, G. (Coords.). (2025). *Explorando la Investigación en Ingeniería*. Editorial Universidad CESMAG. <https://doi.org/10.15658/CESMAG25.11040108>

El pensamiento que se expresa en esta obra es responsabilidad exclusiva de los autores y no compromete la ideología de la Universidad CESMAG.

Se permite la citación del texto nombrando la fuente. Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida total o parcialmente, en cualquier medio o para cualquier propósito, sin la autorización escrita de la Editorial Universidad CESMAG y coeditores.

Tabla de contenido

<i>Prólogo</i>	5
Construcción de envoltorios Windows con C# para la biblioteca FFmpeg.....	7
Determinación del Nivel de Impacto del Laboratorio de Usabilidad en el Proceso de Formación de Ingenieros en Informática de la Facultad de Ingeniería de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca	16
Efecto de implementación y uso de un chatbot basado en PLN en la Oficina de Control, Registro Académico y Admisiones - OCARA como apoyo en el proceso de inscripción y admisión de aspirantes a programas académicos de pregrado en la Universidad de Nariño.....	26
Estimulación del pensamiento algorítmico mediante el software MiniLOGO	35
Marco de trabajo para pruebas de rendimiento en entornos de integración y despliegue continuos para API REST.....	44
Relacionando inteligencia artificial y educación en la industria 5.0 para construir una cultura científica popularizando la Ciencia Verde	64
Conjunto de datos en construcción como base para la detección de avenidas torrenciales en ríos de montaña por medio de aprendizaje automático	76
Implementation of digitalization strategies in energy distribution systems: an analysis based on optimization scenarios.....	88

Prólogo

El presente libro constituye una valiosa compilación de resultados de investigación desarrollados por diversos autores y grupos académicos que buscan aportar al avance del conocimiento científico y tecnológico. Esta obra, editada por la **Universidad CESMAG**, reúne una serie de trabajos que reflejan la diversidad de enfoques, metodologías y perspectivas desde las cuales se abordan los desafíos contemporáneos de la educación, la ingeniería, la ciencia de datos, la seguridad informática y la innovación.

Cada capítulo de este libro presenta un aporte significativo al diálogo entre la teoría y la práctica, evidenciando el compromiso de los investigadores con la generación de soluciones pertinentes, sostenibles y contextualizadas. Entre los temas que aquí se desarrollan se destacan el uso de la inteligencia artificial en procesos educativos y productivos, el desarrollo de herramientas informáticas para la mejora continua, el fortalecimiento de la ciberseguridad, y la aplicación de la analítica de datos en distintos sectores. Estas investigaciones no solo demuestran rigor científico, sino también sensibilidad social frente a las necesidades del entorno.

La publicación de este compendio se erige como un espacio de encuentro académico que promueve la divulgación del conocimiento, la cooperación entre investigadores y la consolidación de redes científicas. En conjunto, los trabajos compilados ofrecen una mirada actual y multidisciplinaria sobre los avances tecnológicos y su incidencia en el desarrollo humano, económico y ambiental.

Con esta edición, la **Universidad CESMAG** reafirma su compromiso institucional con la investigación, la innovación y la formación de pensamiento crítico, reconociendo la ciencia y la tecnología como pilares del progreso sostenible.

Finalmente, esta obra invita a reflexionar sobre el papel de la academia en la transformación regional, especialmente en el sur de Colombia, donde el conocimiento científico y la creatividad tecnológica se proyectan como motores esenciales para la construcción de un futuro más equitativo, sostenible e incluyente.

Construcción de envoltorios Windows con C# para la biblioteca FFmpeg¹

Edwin Insuasty Portilla²

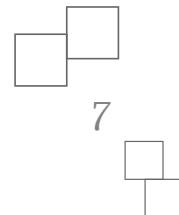
Universidad de Nariño, Colombia

Jesús Insuasti³

Universidad de Nariño, Colombia

Autor de correspondencia: edwin@udenar.edu.co

Resumen: La biblioteca FFmpeg es una herramienta de software libre y de código abierto, muy potente para el procesamiento de archivos de audio y video, pero su uso requiere complejas instrucciones de línea de comandos. El presente trabajo tiene como objetivo exponer las características y recomendaciones para crear envoltorios en lenguaje C# para FFmpeg en entornos Windows, con el fin de ocultar esta complejidad y ofrecer una interfaz más amigable al usuario. La metodología se basa en un enfoque de diseño de software orientado a objetos, utilizando patrones como Facade y Command para encapsular las operaciones de FFmpeg. El proceso incluye cuatro fases principales: el análisis de los comandos más frecuentes, el diseño del envoltorio orientado a tareas, la implementación y pruebas en Visual Studio, y una evaluación de la usabilidad. Se utiliza la clase System.Diagnostics.Process para la ejecución del código. Se espera que el uso de envoltorios en C# demuestre ser una estrategia eficaz para ocultar la complejidad de los



¹ Artículo derivado de experiencias de desarrollo de software utilitario en la asignatura Programación III de la Licenciatura en Informática de la Universidad de Nariño.

² Doctor en Espacios Virtuales, Universidad de Salamanca – España. Profesor Titular, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5844-9949>. E-mail: edwin@udenar.edu.co. Pasto, Colombia.

³ Doctor en Ingeniería - Sistemas, Universidad Nacional – Colombia. Profesor Titular, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3233-3577>. E-mail: insuasti@udenar.edu.co. Pasto, Colombia.

comandos de consola y reducir la curva de aprendizaje para usuarios sin conocimientos técnicos avanzados. La implementación de patrones de diseño garantizará una arquitectura flexible y fácil de mantener. El enfoque se alinea con las buenas prácticas de diseño centrado en el usuario. Como conclusión, este proyecto no solo busca facilitar el uso de FFmpeg, sino también ofrecer un marco adaptable para la integración de bibliotecas complejas en aplicaciones accesibles para usuarios no expertos. Se recomienda un diseño modular, documentación clara, validación de entradas y la alineación con las actualizaciones de FFmpeg para asegurar la sostenibilidad del envoltorio.

Palabras clave: Envoltorios, FFmpeg, C#, Video y sonido

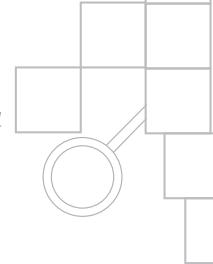
Introducción

8

FFmpeg es una biblioteca de software libre y de código abierto que permite grabar, convertir, transmitir y procesar archivos de audio y video en múltiples formatos. Es una herramienta extremadamente poderosa y versátil, ampliamente utilizada tanto en entornos profesionales como en proyectos personales y educativos (FFmpeg Developers, 2024; Smith, 2012).

Desarrollada en lenguaje C, FFmpeg incluye una colección de bibliotecas como libavcodec, libavformat, libavfilter, libswscale, entre otras, que proporcionan funcionalidades para codificación, decodificación, multiplexado, demultiplexado, escalado de video y aplicación de filtros (Bross, 2023).

Una de sus características más destacadas es su soporte para una gran cantidad de formatos de medios, como MP4, AVI, MKV, MP3, AAC, FLAC, entre muchos otros (Smith, 2012). FFmpeg también permite trabajar desde la línea de comandos, lo que la hace ideal para tareas automatizadas, edición por lotes y procesamiento en servidores. Debido a su rendimiento y flexibilidad, ha sido ampliamente adoptada en herramientas de software populares como VLC Media Player, OBS Studio, HandBrake, entre otras (FFmpeg Developers, 2024; Jackson, 2024).



Su arquitectura modular y su constante desarrollo por parte de una comunidad activa la convierten en una herramienta de referencia en el ámbito de la edición y procesamiento de medios digitales (Bozdag, 2016).

En computación e informática, el término envoltorio (en inglés, wrapper) hace referencia a un componente o estructura que envuelve, encapsula o rodea otro elemento (función, objeto, biblioteca, sistema, etc.) con el fin de modificar, adaptar o extender su comportamiento o uso sin cambiar su código original. Los envoltorios se usan para tareas como recibir datos de parámetros y transformarlos antes de ejecutar la función en otra plataforma, también para proporcionar una interfaz gráfica si la función, objeto o biblioteca no la tiene, o para usar una biblioteca hecha con un lenguaje diferente al que fue creada (Gamma et al., 1994).

El presente trabajo trata de exponer las principales características y recomendaciones para crear envoltorios con lenguaje C# para la biblioteca FFmpeg en entornos Windows, evitando que el usuario escriba en línea de comandos, engorrosas instrucciones.

Metodología

El desarrollo de envoltorios en lenguaje C# para la biblioteca FFmpeg en entornos Windows se planteará siguiendo una metodología orientada a la creación de una interfaz intermedia amigable, que oculte la complejidad de las instrucciones de consola propias de FFmpeg. El enfoque combinará principios de diseño de software orientado a objetos con patrones de diseño como Facade y Command, que permiten encapsular operaciones complejas detrás de una interfaz simplificada y reutilizable (Fowler, 2003).

El proceso metodológico se estructurará en cuatro fases principales:

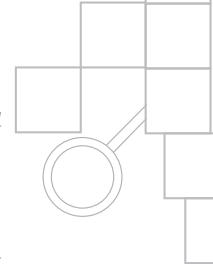
La primera corresponde al análisis de comandos y funcionalidades frecuentes en FFmpeg. Se realizará un análisis técnico de los comandos de

FFmpeg más utilizados en escenarios de codificación, transcodificación y procesamiento de archivos multimedia (por ejemplo: cambio de formato, extracción de audio, modificación de resolución o bitrate). Este análisis permitirá identificar las operaciones que más comúnmente utilizan usuarios técnicos desde la consola (Smith, 2012; Bross, 2023).

La segunda es el diseño del envoltorio orientado a tareas basado en el análisis anterior. Se diseñarán clases o en algunos casos métodos en C# que representen operaciones típicas (por ejemplo, ConvertirVideo, ExtraerAudio, CambiarResolucion), encapsulando los parámetros requeridos y generando internamente las cadenas de comandos necesarias para ejecutarlas mediante FFmpeg. Se aplicará el patrón Command para desacoplar la lógica de generación de comandos de la ejecución (Fowler, 2003; Freeman & Pryce, 2009). Asimismo, se utilizará el patrón Facade para exponer una API más accesible al usuario final o al programador, reduciendo la curva de aprendizaje y el número de pasos requeridos para ejecutar operaciones multimedia (Fowler, 2003).

En la tercera fase se realiza la implementación y pruebas en entorno Windows dentro del IDE Visual Studio, utilizando el .NET Framework 4.8, integrando el ejecutable ffmpeg.exe como un recurso externo controlado mediante la clase System.Diagnostics.Process. Se verificará la ejecución correcta de los comandos generados y se capturarán los flujos de salida estándar para su análisis y retroalimentación al usuario (Freeman & Pryce, 2009). Las pruebas incluirán validaciones de compatibilidad con diferentes versiones de FFmpeg, tolerancia a errores de sintaxis y parámetros mal configurados, facilidad de uso para usuarios sin conocimientos de línea de comandos.

Por último, se hace una evaluación de usabilidad del envoltorio considerando criterios como claridad de la interfaz, facilidad de uso, accesibilidad de las funciones básicas, y reducción del tiempo requerido para ejecutar tareas típicas. Esta evaluación será de tipo heurístico, aplicando principios



reconocidos de usabilidad para interfaces gráficas (Nielsen, 2020), y podrá extenderse a estudios con usuarios finales en investigaciones futuras.

Para exemplificar el propósito de este trabajo, se expone a continuación la tarea de tomar un video llamado «video_original.mp4» de tamaño 640x360, al cual se pretende añadir un marco o borde de 2 píxeles de ancho de color negro en todos sus frames, y que el video resultante se guarde como “v.mp4”. La preparación de parámetros para ejecución en línea de comandos sería:

Figura 1.

Instrucción FFmpeg en línea de comandos

Valores actualizados:

anchoVideoAconvertir3 = 640

altoVideoAconvertir3 = 360

txtAnchoBorde = 2

colorBorde = “Black”

Cálculos:

Ancho total: $640 + 2 \times 2 = 644$

Alto total: $360 + 2 \times 2 = 364$

x offset (izquierda): 2

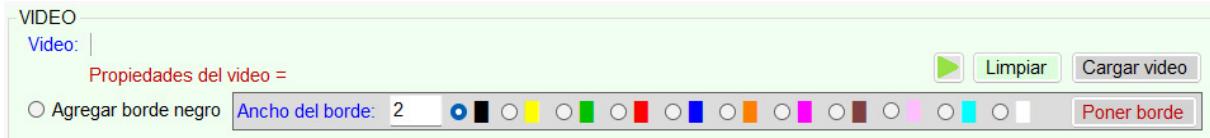
y offset (arriba): 2

Comando final en línea de comandos:

```
ffmpeg -i "video_original.mp4" -vf pad=644:364:2:2:black v.mp4
```

Lo que se pretende es capturar los valores necesarios para realizar el proceso desde una interfaz gráfica como la siguiente:

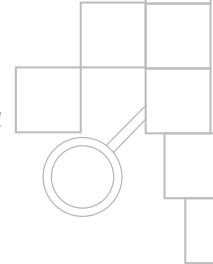
Figura 2.
Interfaz gráfica de captura de datos



El botón “Cargar video” se encarga de tomar los datos referentes al ancho y alto del video a procesar. Se recoge también el valor del ancho del borde mediante una caja de texto y el color del borde de acuerdo al radioButton seleccionado. Con estos datos, el botón “Poner borde” ejecuta el código, transformando la instrucción de línea de comandos para que pueda ser ejecutada mediante el Proceso “procConvierteAspect”.

Figura 3.
Código de C# para esta instrucción de línea de comandos

```
if (File.Exists("C:\\\\Temp\\\\v.mp4")) File.Delete("C:\\\\Temp\\\\v.mp4");
procConvierteAspect.StartInfo.FileName = "cmd.exe";
procConvierteAspect.StartInfo.Arguments = "/k C:\\\\Temp\\\\ffmpeg -i \"\" + nomVideoAconvertir4 + "\" -vf >
    pad=" + (int.Parse(anchoVideoAconvertir3) + 2 * int.Parse(txtAnchoBorde.Text)) + ":" + (int.Parse >
    (altoVideoAconvertir3) + 2 * int.Parse(txtAnchoBorde.Text)) + ":" + int.Parse(txtAnchoBorde.Text) + >
    ":" + int.Parse(txtAnchoBorde.Text) + ":" + colorBorde + " v.mp4";
this.TopMost = false;
frmEspere4 = new FormularioEsperePorFavor();
frmEspere4.Show();
procConvierteAspect.StartInfo.WindowStyle = ProcessWindowStyle.Minimized;
procConvierteAspect.StartInfo.WorkingDirectory = "C:\\\\Temp";
procConvierteAspect.Start();
```



Conclusiones

Este trabajo permitirá demostrar que el uso de envoltorios desarrollados en C# para la biblioteca FFmpeg, en entornos Windows, constituye una estrategia eficaz para ocultar la complejidad del uso de la línea de comandos y brindar al usuario una experiencia más accesible y eficiente en tareas de procesamiento multimedia. Al encapsular las funciones de FFmpeg dentro de una interfaz visual o una API sencilla, se espera reducir significativamente la curva de aprendizaje, especialmente en usuarios sin conocimientos técnicos avanzados (Smith, 2012; Bross, 2023; Bozdag, 2016).

La implementación de patrones de diseño como Facade y Command será fundamental para lograr una arquitectura flexible y mantenible, capaz de soportar futuras extensiones sin comprometer la funcionalidad básica (Gamma et al., 1994; Fowler, 2003). Además, el uso del entorno .NET y herramientas como Visual Studio facilitará la integración con aplicaciones Windows y el despliegue en contextos institucionales o educativos (Microsoft Docs, 2024).

Desde la perspectiva de la usabilidad, se prevé que el envoltorio permitirá al usuario final realizar tareas comunes como conversión de formatos, extracción de audio o cambio de resolución, con mínima intervención y sin la necesidad de escribir instrucciones de consola. Esto se alinea con buenas prácticas de diseño centrado en el usuario y con principios heurísticos consolidados (Nielsen, 2020).

Con base en lo anterior, se proponen las siguientes recomendaciones para orientar el desarrollo del envoltorio:

Diseñar el sistema de forma modular, permitiendo incorporar nuevas funcionalidades como incrustación de subtítulos o manipulación de metadatos sin alterar la estructura existente (Fowler, 2003).

Proveer una documentación clara y detallada del código, orientada tanto a desarrolladores como a usuarios avanzados interesados en personalizar el comportamiento del envoltorio (Gamma et al., 1994).

Implementar mecanismos de validación previa de entradas y parámetros antes de ejecutar comandos, a fin de prevenir errores comunes y mejorar la estabilidad del sistema (Smith, 2012). Capturar y mostrar mensajes de salida de FFmpeg de manera legible para el usuario, incluyendo advertencias, errores o confirmaciones (Freeman & Pryce, 2009).

Realizar pruebas piloto o evaluaciones heurísticas que permitan mejorar la usabilidad e interfaz del envoltorio antes de su difusión o publicación (Nielsen, 2020).

Mantener el proyecto alineado con las actualizaciones de FFmpeg, asegurando compatibilidad con nuevas versiones y funciones emergentes (FFmpeg Developers, 2024; Bross, 2023).

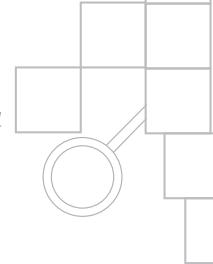
Este proyecto no solo contribuirá a facilitar el uso de FFmpeg, sino que también ofrecerá un marco adaptable para la integración de bibliotecas complejas en aplicaciones accesibles para usuarios no expertos.

Referencias

Bozdag, A. (2016). An evaluation of open source video processing tools: A case study of FFmpeg. *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)*, 14(9), 70–75.

Bross, R. (2023). FFmpeg filters documentation. FFmpeg.org. <https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html>

FFmpeg Developers. (2024). FFmpeg. FFmpeg.org. <https://ffmpeg.org>



- Fowler, M. (2003). *Patterns of enterprise application architecture*. Addison-Wesley.
- Freeman, S., & Pryce, N. (2009). *Growing object-oriented software, guided by tests*. Addison-Wesley.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., & Vlissides, J. (1994). *Design patterns: Elements of reusable object-oriented software*. Addison-Wesley.
- Jackson, J. (2024). *OBS Studio: Live streaming and video recording software*. GitHub. <https://github.com/obsproject/obs-studio>
- Microsoft Docs. (2024). *Process.Start method (System.Diagnostics)*. Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.diagnostics.process.start>
- Nielsen, J. (2020). *10 usability heuristics for user interface design*. Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>
- Smith, D. B. (2012). *FFmpeg basics: Multimedia handling with a fast audio and video encoder*. CreateSpace Independent Publishing Platform.

Determinación del Nivel de Impacto del Laboratorio de Usabilidad en el Proceso de Formación de Ingenieros en Informática de la Facultad de Ingeniería de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca¹



Carmen Daniela Velasco Giron²

Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Colombia

Alberto Bravo Bucheli³

Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Colombia

Dayner Felipe Ordoñez López⁴

Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Colombia

Autor de correspondencia: cdvelascog@unimayor.edu.co

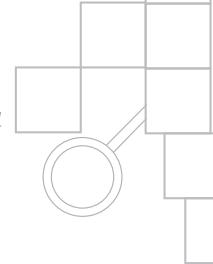
Resumen: El uso del Laboratorio de usabilidad de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca es esencial para el aprendizaje de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería ya que ofrece una perspectiva del área de estudio diferente a la obtenida en el conocimiento impartido en entornos

¹ Artículo derivado del proyecto de Investigación Determinación del Nivel de Impacto del Laboratorio de Usabilidad en el proceso de formación de Ingenieros en Informática de la Facultad de Ingeniería de la IUCMC

² Ingeniero en Informática, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca – Colombia. Joven Investigadora, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Popayán, Colombia. ORCID: <https://0009-0001-4874-4952>. E-mail: cdvelascog@unimayor.edu.co. Popayán, Colombia.

³ Especialista en Educación Virtual, Centros de Altos Estudios Universitarios – Argentina. Docente Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Cauca, Popayán, Colombia. ORCID: <https://0000-0002-1745-0951>. E-mail: abravo@unimayor.edu.co. Popayán, Colombia.

⁴ Magister en Educación, Universidad de Manizales – Colombia. Docente Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Popayán, Colombia. ORCID: <https://0000-0003-2291-0534>. E-mail: dordonez@unimayor.edu.co. Popayán, Colombia.



tradicionales, la importancia del Laboratorio radica en que todos los productos software deben ser validados antes de ser entregados al usuario final. El objetivo de este proyecto es determinar el nivel de impacto que tiene el Laboratorio de usabilidad en el proceso de formación de los Ingenieros en Informática de la Facultad de Ingeniería de la Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, para ello se realizarán una serie de actividades incluyendo una revisión exhaustiva de conceptos como usabilidad, Experiencia de Usuario, Interacción Humano Computador, seguidamente de una clasificación de trabajos de grado, desarrollos informáticos y prácticas realizadas en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería, además se implementará un instrumento que permita la recolección de datos importantes para el análisis de este proyecto, finalmente se realizará un informe prospectivo sobre el uso, mejoras y actualización de este entorno.

Palabras clave: Usabilidad, Experiencia de Usuario, Interacción Humano Computador, Laboratorio de Usabilidad, Entorno Controlado.

17

Introducción

La usabilidad es una característica de calidad de los productos software definida en múltiples estándares a nivel internacional. Como característica debe ser medida, cuantificada y analizada de tal manera que las variables asignadas a la misma pueden ser gestionadas de la mejor manera posible. Uno de los espacios que se utilizan para realizar pruebas de usabilidad es conocido como Laboratorio de usabilidad, contexto en el cual los probadores con ayuda de usuarios pueden detectar fallos relacionados con el diseño, la interacción y la facilidad de uso de los productos software. Los estudiantes de Ingeniería informática pueden adquirir una competencia diferenciadora a nivel profesional entendiendo el manejo de este tipo de espacios destinados a las pruebas de aplicaciones web, móviles o de escritorio aplicando un proceso que determina paso a paso la secuencia de actividades precisas para

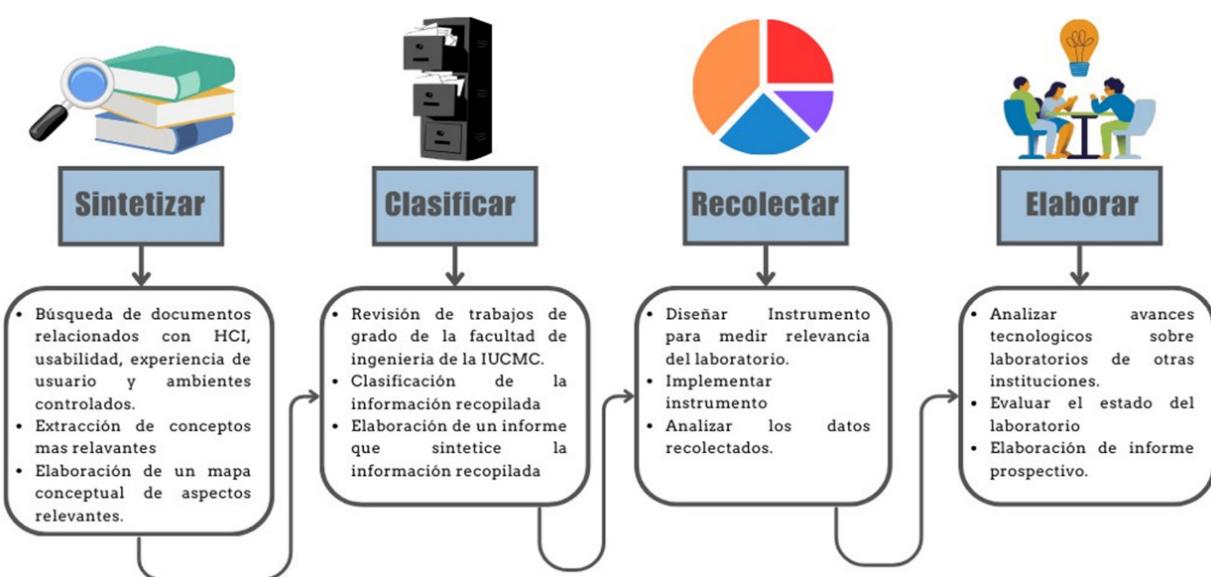
realizar este tipo de pruebas entre los cuales se puede citar el desarrollo de los instrumentos necesarios, la preparación del laboratorio y la selección de usuarios. De manera general se da por entendido que las pruebas en el desarrollo de aplicaciones informáticas juegan un papel preponderante en los procesos de ingeniería de software y que generan un amplio espacio para investigar, proponer y definir nuevas formas de evaluar aplicaciones informáticas de uso diario. La investigación que se propone luego de esta redacción se encuentra en curso, pero puede esbozar algunos resultados preliminares que de manera pertinente podrán contribuir al campo de conocimiento de la calidad de software.

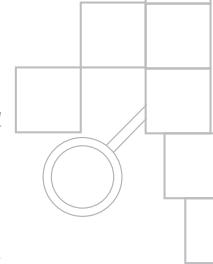
Metodología

La investigación se está desarrollando con la siguiente metodología que comprende cuatro fases, cada una ligada a los objetivos específicos propuestos

Figura 1.

Metodología utilizada para el desarrollo del proyecto de investigación.



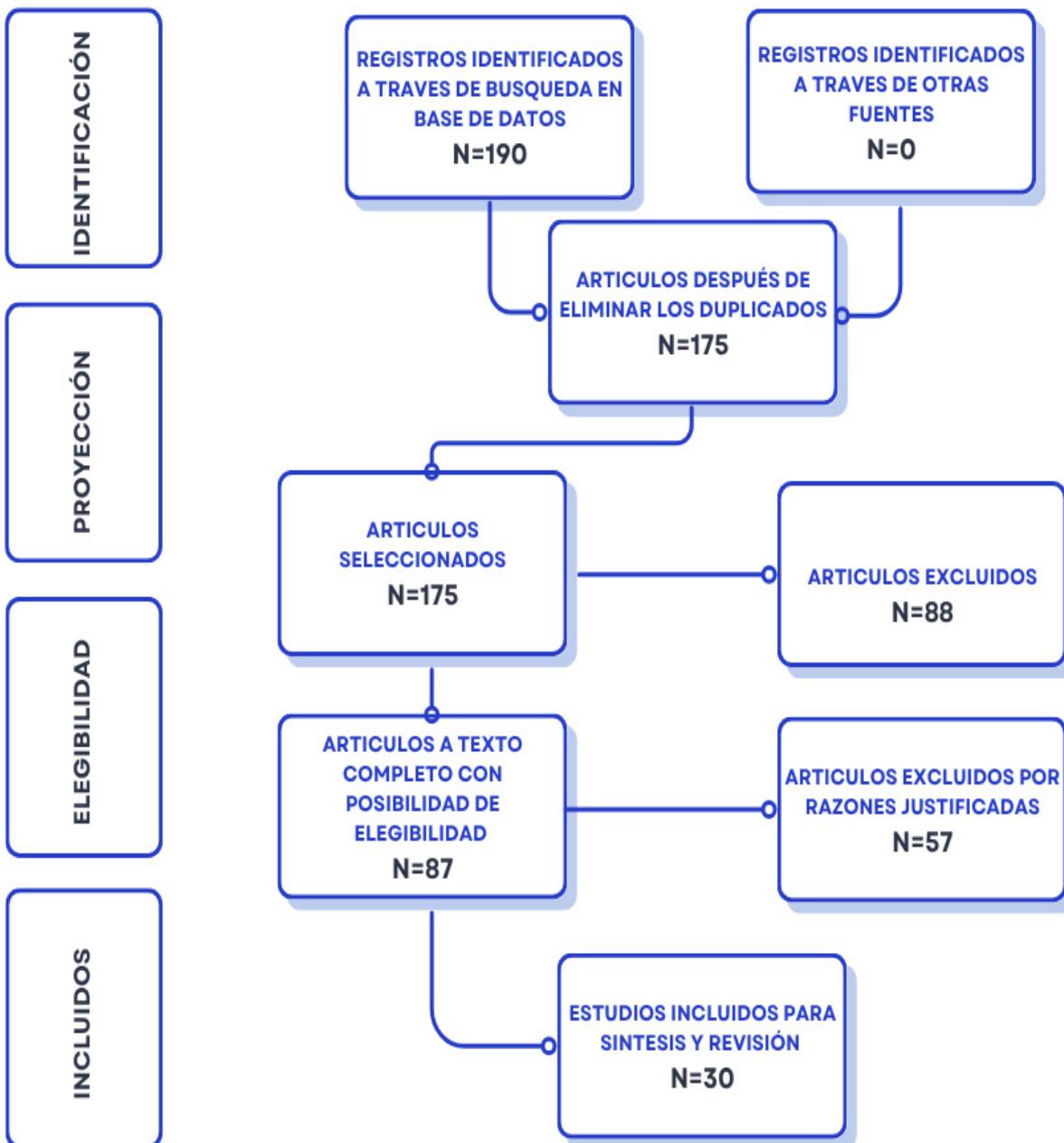


1. Sintetizar: Búsqueda y recopilación de documentos relacionados con usabilidad, experiencia de usuario, interacción humano computador y entornos controlados mediante la utilización del método prisma.
2. Clasificar: Revisión de trabajos de grado fundamentados en la utilización del Laboratorio de usabilidad de la Facultad de Ingeniería de la IUCMC.
3. Recolectar: Diseño y aplicación de instrumento para medir la relevancia del Laboratorio de usabilidad.
4. Elaborar: Análisis de avances tecnológicos sobre laboratorios de usabilidad y elaboración de un informe prospectivo.

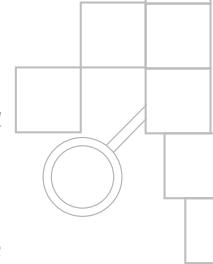
Resultados Preliminares

Para el desarrollo del primer objetivo se aplicó el método PRISMA (Liberati et al., 2009), un método similar al de Kitchenham (2004) y Okoli (2010) con el fin de realizar una revisión sistemática rigurosa y garantizar una selección objetiva de los estudios, basada en criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Como resultado de este proceso, se seleccionó un conjunto de 30 investigaciones que cumplieron con los criterios definidos y fueron consideradas pertinentes para el análisis teórico del estudio.

Figura 2.
Aplicación del método PRISMA.



El objetivo de aplicar el método PRISMA fue facilitar la realización de un análisis de cocitación de autores.



El Análisis de Cocitación de Autor (ACA) es una técnica bibliométrica que identifica coincidencias en las referencias de artículos científicos, permitiendo mapear la estructura intelectual de una disciplina. A través de los autores cocitados, se pueden inferir las conexiones conceptuales y la evolución del conocimiento en un campo de estudio (Córdoba, 2013).

El análisis de cocitación está conformado por tres fases (Culnan, 1986):

- Selección de autores
- Análisis factorial
- Redes Pathfinder

En la primera fase del análisis de cocitación, se identificó la lista de los autores más citados entre 2022 y 2025, utilizando los términos experiencia de usuario, HCI, entorno controlado y usabilidad en las bases de datos IEEE, Google académico y All EBSCO.

A partir de un total inicial de 190 artículos, se seleccionaron 30 utilizando los criterios tanto de inclusión como de exclusión, lo que resultó en un grupo de 117 autores semifinales que habían sido citados al menos 15 veces durante el período evaluado (Culnan, 1986).

Después se aplicaron los criterios de selección para conformar la matriz de cocitación, entre los criterios se encuentran:

- El autor ha realizado investigaciones en al menos uno de los cuatro conceptos clave: HCI, Usabilidad, UX o Entornos Controlados
- Número de citas de las investigaciones
- Relación con otro autor

Después de aplicar estos criterios se descartaron los autores que no cumplían con ninguno de ellos, como resultado se obtuvo un grupo final de 10 autores. En la tabla 1, se puede observar la lista de autores que presentaban cocitación con otros. Con estos datos, se construyó una matriz de cocitación de autor.

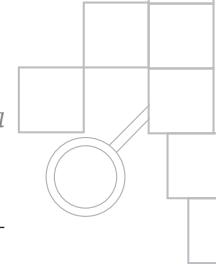
Tabla 1.*Autores Seleccionados.*

Autores	Trabajos Publicados
John M. Carroll	847
Jina Huh	91
Lena Mamykina	113
Leigh Clark	57
Baki Kocaballi	44
Zhang Zhang	44
Barbara Weber	296
Emre Sezgin	76
Ali Darvishi	8
Yungui Huang	95

La segunda fase consistió en el análisis factorial. Para ello, la matriz de cocitación de autor fue transformada en una matriz de correlación que permitió aplicar el análisis factorial. A esta matriz se le aplicó una rotación Varimax y la normalización de Kaiser, con el fin de identificar agrupamientos significativos entre los 10 autores seleccionados y determinar en qué factores se concentraban.

Tabla 2.*Análisis Factorial.*

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Carroll	0,93	Kocaballi 0,72	Huang 0,54
Mamykina	0,89	Zhang 0,71	Sezgin 0,52
Huh	0,87		Weber 0,37
Clark	0,76		Darvishi 0,27



Eigenvalue		
5,211	1,598	1,057
% Varianza Acumulada		
52,11%	68,09%	78,66%

El análisis resultó en una varianza acumulada del 78,66%, lo que indica que la mayor parte de la información relevante del estudio se encuentra contenida en los factores extraídos.

En la tercera fase, la matriz de correlación fue transformada en una matriz de distancias con el fin de aplicar el algoritmo Pathfinder. Este algoritmo permite reducir la complejidad de la red eliminando las conexiones menos relevantes entre los autores, conservando únicamente aquellas que representan relaciones significativas (Córdoba, 2013).

Inicialmente, la red contaba con 47 conexiones, pero tras la aplicación del algoritmo, se redujo a un total de 9 conexiones, lo que facilitó una visualización más clara de las conexiones importantes dentro del conjunto de autores analizados.

23

Figura 3.

Red antes de la aplicación del algoritmo de pathfinder.

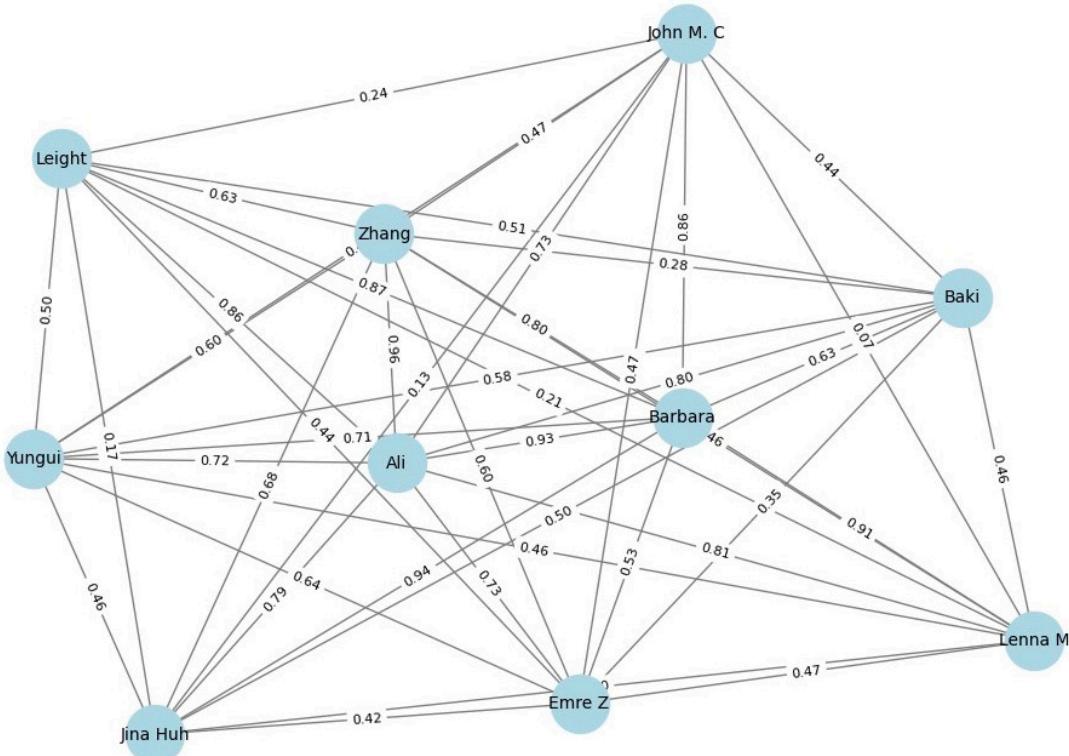
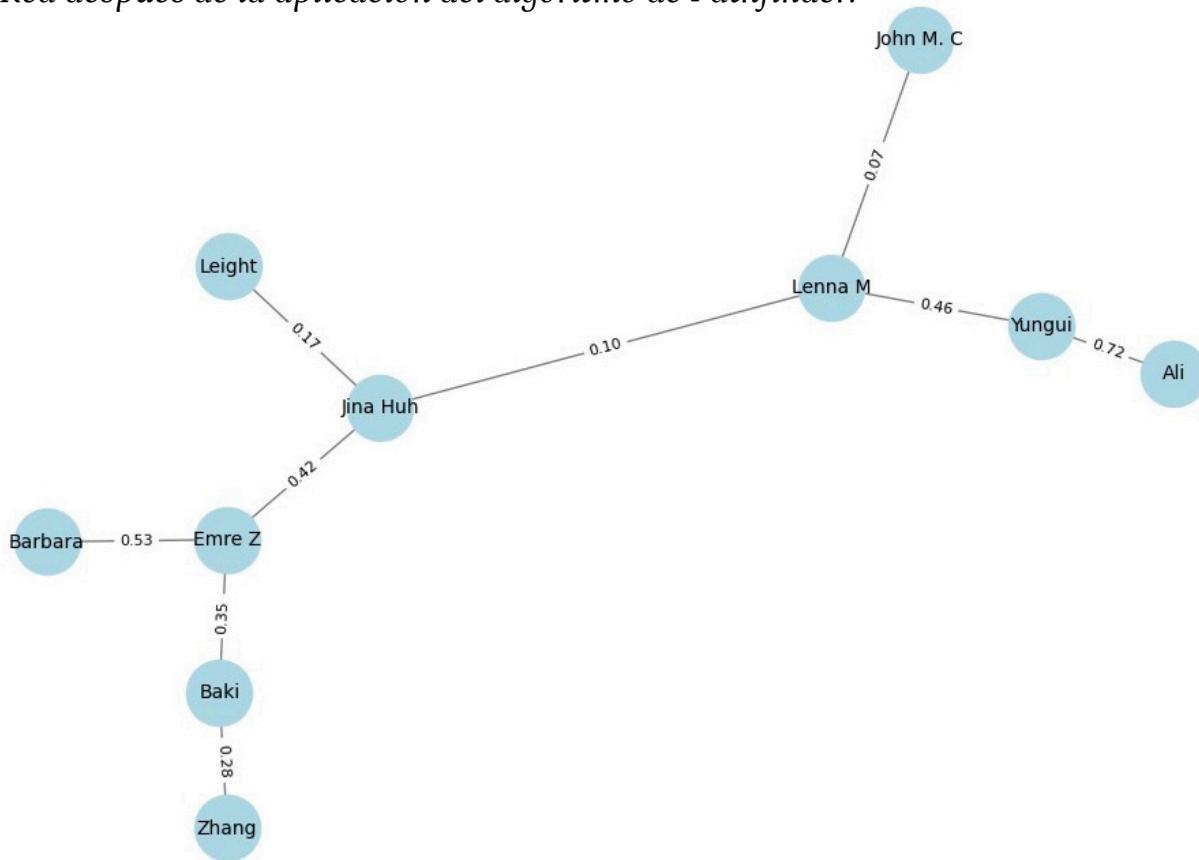


Figura 4.

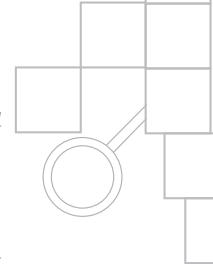
Red después de la aplicación del algoritmo de Pathfinder.



Conclusiones Preliminares

El análisis de cocitación realizado permitió identificar que las temáticas principales en el conjunto de autores están centradas en usabilidad, Interacción Humano-Computador y experiencia de usuario. Sin embargo, la investigación en entornos controlados o laboratorios de usabilidad no presento una cantidad significativa en los estudios analizados, lo que podría sugerir una posible brecha en la literatura sobre estos espacios en los últimos años.

A partir de la selección de autores y el análisis factorial, se identificó una relación destacada entre John M. Carroll, Lena Mamykina, Jina Huh y Leigh Clark, debido a que comparten un enfoque similar en sus líneas de investigación, centrado en HCI, UX y usabilidad.



Mediante la aplicación del algoritmo de Pathfinder se observa que Lenna M, Jinna Huh y Emre Z son los autores más relevantes de la red, su posición central podría sugerir que facilitan la relación entre distintos grupos de autores, ayudando a construir puentes en la investigación.

Referencias

- Córdoba Cely, M. A. (2013). *La experiencia de usuario extendida (UxE): Un modelo teórico sobre la aceptación tecnológica y un estudio de caso en entornos virtuales de aprendizaje* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial].
- Culnan, M. J. (1986). The intellectual development of management information systems, 1972–1982: A co-citation analysis. *Management Science*, 32(2), 156–172.
- Kitchenham, B. (2004). *Procedures for performing systematic reviews* (Technical Report TR/SE-0401). Keele University.
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: Explanation and elaboration. *BMJ*, 339, b2700. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>
- Okoli, C., & Schabram, K. (2010). A guide to conducting a systematic literature review of information systems research. *Sprouts: Working Papers on Information Systems*, 10(26). <https://doi.org/10.2139/ssrn.1954824>

Efecto de implementación y uso de un chatbot basado en PLN en la Oficina de Control, Registro Académico y Admisiones - OCARA como apoyo en el proceso de inscripción y admisión de aspirantes a programas académicos de pregrado en la Universidad de Nariño¹

Angulo Castillo Clariza Maribel²

Universidad de Nariño, Colombia

Angulo Meza Olga Vanessa³

Universidad de Nariño, Colombia



Rivera Jorge Albeiro⁴

Universidad de Nariño, Colombia

Barón Salazar Alexander⁵

Universidad de Nariño, Colombia

Autor de correspondencia: clarizacastillo@udenar.edu.co

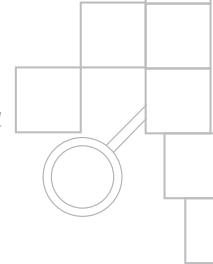
¹ Artículo derivado de la investigación “Análisis sobre el efecto del uso de un chatbot basado en PLN implementado en la Oficina de Control, Registro Académico y Admisiones - OCARA como apoyo en el proceso de inscripción y admisión de aspirantes a programas académicos de pregrado en la universidad de Nariño”.

² Estudiante de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Nariño, Tumaco, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8013-5434>. Colombia. E-mail: clarizacastillo@udenar.edu.co.

³ Estudiante de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Nariño, Tumaco, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1713-3343>. E-mail: angulovanessa63@udenar.edu.co.

⁴ Magíster en Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad de Nariño, Docente, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0092-8226>. E-mail: Jriverar@udenar.edu.co.

⁵ Doctor en Ingeniería – Sistemas e Informática, Universidad Nacional de Colombia, Docente Investigador, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6425-8041>. E-mail: abar-on_98@udenar.edu.co.



Resumen: Este proyecto de investigación propone el desarrollo de un chatbot para apoyar el proceso de admisión a programas de pregrado en la Universidad de Nariño. El problema de investigación se centra en la necesidad de una herramienta tecnológica que facilite el acceso a información precisa y actualizada sobre la matrícula y los programas disponibles, mejorando así la experiencia de los futuros estudiantes y la eficiencia del proceso administrativo.

El objetivo principal del proyecto es diseñar e implementar un chatbot basado en tecnologías de Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) que responda eficazmente a las consultas de los usuarios. La metodología propuesta incluye varias etapas: planificación y diseño del chatbot, desarrollo y configuración, recopilación de datos mediante encuestas y análisis de documentos, y, finalmente, análisis e interpretación de los datos para evaluar la eficacia de la herramienta.

Se espera que el chatbot mejore la accesibilidad y la calidad del servicio de admisión al proporcionar respuestas rápidas y precisas a las consultas de los solicitantes. Además, se pretende establecer un modelo de calidad en la atención al cliente digital en el contexto de la educación superior, reflejando el compromiso de la Universidad de Nariño con la innovación educativa.

Palabras clave: Admisiones universitarias, automatización de procesos, chatbot, Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN).

Introducción

El avance de la tecnología ha generado importantes cambios en el ámbito educativo, transformando la forma en que las instituciones interactúan con sus usuarios. En este contexto, el presente proyecto presenta el desarrollo de un chatbot destinado a facilitar el acceso a información sobre el proceso

de inscripción y admisión a los programas de pregrado de la Universidad de Nariño. Su propósito es responder con agilidad y precisión a consultas de los aspirantes a estudiar programas de pregrado, brindando una alternativa dinámica y fácil de usar. Este chatbot se basa en tecnologías de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN), lo que le permite comprender las preguntas de los usuarios y entregar respuestas pertinentes. A continuación, se expone la metodología empleada para dicho desarrollo e implementación en un entorno inicial de pruebas.

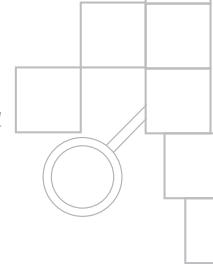
Con esta herramienta no solo busca optimizar el proceso de inscripción y admisión, sino también establecer un referente en el uso de inteligencia artificial en la educación superior, fortaleciendo el compromiso de la Universidad de Nariño con la mejora continua y la innovación en sus servicios.

Metodología

28

Este estudio aplica un enfoque positivista y cuantitativo para evaluar un chatbot en procesos de admisión, midiendo su eficiencia mediante datos numéricos (escala de Likert de 1-5) y análisis estadístico, así como lo demostraron (Jamanoy Bacca et al., 2023). La metodología es descriptiva, combinando encuestas y observaciones para caracterizar el proceso y la percepción de usuarios. Para el desarrollo del chatbot se emplea Scrum, permitiendo: Adaptación continua mediante los 5 sprints, implementación iterativa de mejoras e integración ágil de nuevos métodos de acuerdo con Martins (2025).

El diseño científico garantiza rigor mediante hipótesis, recolección estructurada de datos y validación estadística. Esta combinación de paradigma positivista, métodos descriptivo-cuantitativos y desarrollo ágil asegura una evaluación objetiva y flexible del chatbot institucional. Teniendo en cuenta esta metodología, se dio inicio con el desarrollo de la investigación



de la siguiente manera: Para cumplir los dos primeros objetivos, se aplicaron encuestas a funcionarios de la universidad, estudiantes activos de la misma y estudiantes de grado 11 de instituciones educativas de Tumaco, considerados potenciales aspirantes a inscribirse a la universidad (Arredondo Castillo, 2025). Los resultados permitieron identificar procesos factibles de automatización, lo que coincide con (Segovia-García, 2024), quien señala que muchas universidades priorizan la atención estudiantil y las admisiones en sus proyectos con chatbots. Además, la herramienta seleccionada por la mayoría de los encuestados para la implementación del sistema fue WhatsApp, reforzando lo expuesto por Cascavita Rodríguez y Useche Niño (2025), donde se evidencia la eficacia de estas tecnologías para responder consultas frecuentes.

En segundo lugar, para dar cumplimiento al segundo objetivo de este proyecto, se empleó la metodología ágil SCRUM, la cual permitió desarrollar el software mediante la ejecución de sprints. En cada uno de ellos se definieron y abordaron los requisitos necesarios para avanzar progresivamente en la construcción y culminación de las diferentes funciones del chatbot.

29

Avances

Teniendo en cuenta los objetivos de la investigación, se ha logrado un avance significativo en 2 de ellos. La Tabla 1 presenta un detalle de los progresos alcanzados en relación con cada objetivo específico

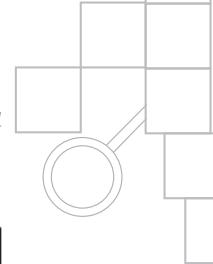
Tabla 1.*Avances con relación a los objetivos.*

Objetivos	Descripción	Porcentaje de avance
Caracterizar el proceso de inscripción y admisión de aspirantes a cursar programas académicos de pregrado en la Universidad de Nariño identificando actividades frecuentes que pueden automatizarse mediante un chatbot.	Se avanzó en este objetivo mediante encuestas a funcionarios de la universidad, estudiantes de grado 11 y estudiantes activos de la UDENAR, las cuales evidenciaron que WhatsApp es la herramienta más adecuada para implementar el chatbot y permitieron definir los procesos susceptibles de automatización.	100%
Desarrollar un Chatbot para automatizar los procesos más críticos de OCARA mediante el Api conectado con servicios de mensajería instantánea enlazados con un módulo de Procesamiento de Lenguaje Natural.	Con respecto al objetivo relacionado, se ha logró avanzar de manera significativa en cuando Api conectado con servicios de mensajería instantánea enlazados cumplen con todos las funciones y requisitos que definimos en los sprint de entregas del proyecto.	100%

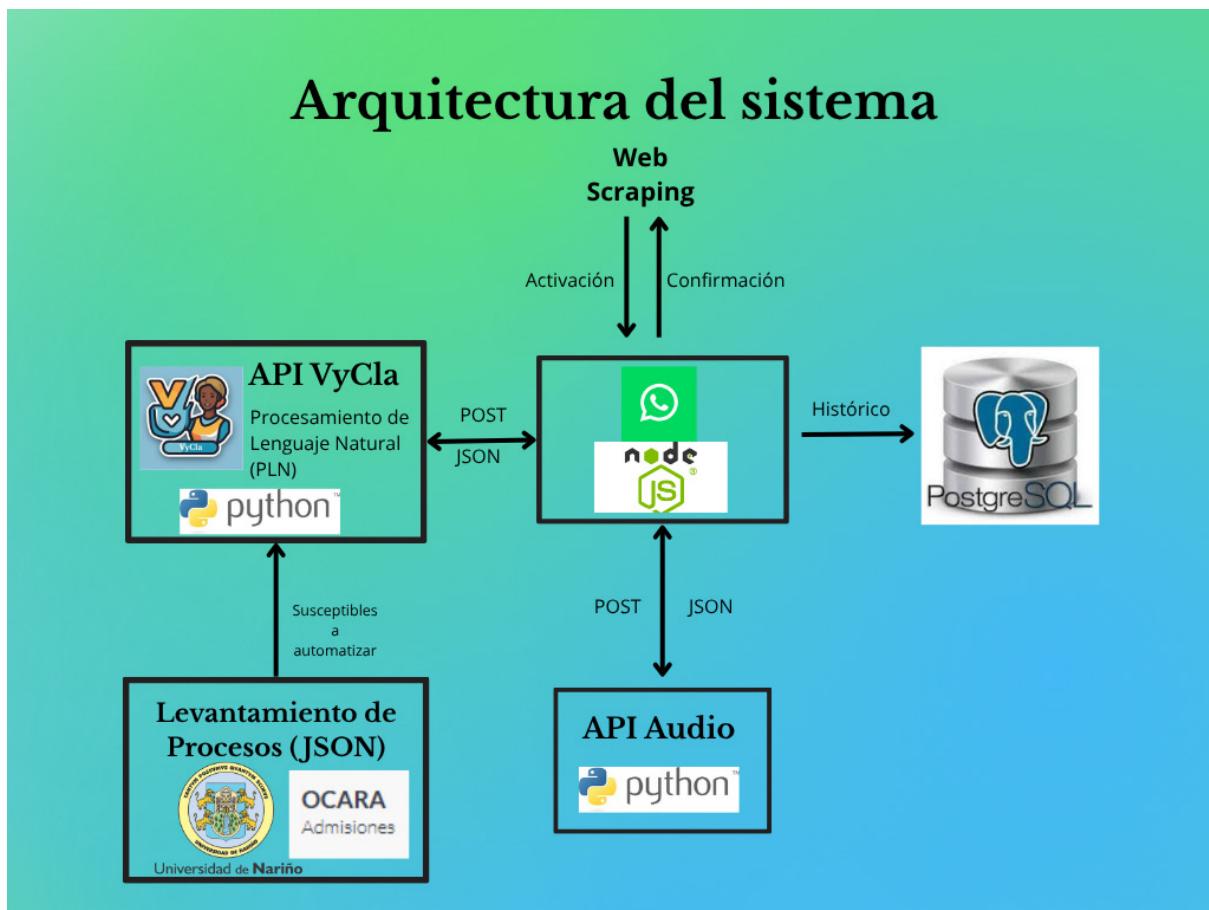
En tabla II se detalla los procesos factibles de automatización según el análisis realizado a los resultados de las encuestas aplicadas.

Tabla 2.*Procesos para automatizar*

No	Nombre del proceso	Pregunta del aspirante
1	Orientación Inicial	¿Qué programas de pregrado está ofertando la Universidad de Nariño? ¿Dónde encuentro información sobre los costos de inscripción? ¿Cuáles son los requisitos de inscripción? ¿Dónde o cómo realizo el cálculo de ponderados?
2	Gestión de Requisitos y Documentación	¿Cuáles son los documentos requeridos para la inscripción a un programa de pregrado? ¿Dónde genero el pin de inscripción? ¿Cómo conocer el estado del pago del pin?



3	Fechas y Plazos	¿Cuáles son las fechas importantes a tener en cuenta? ¿Cuándo se publicarán los resultados?
4	Resultados y Admisión	¿Qué debo hacer si soy admitido? ¿Cómo saber si fui admitido? ¿Cómo es el proceso de admisión?

Figura 1.*Arquitectura del sistema*

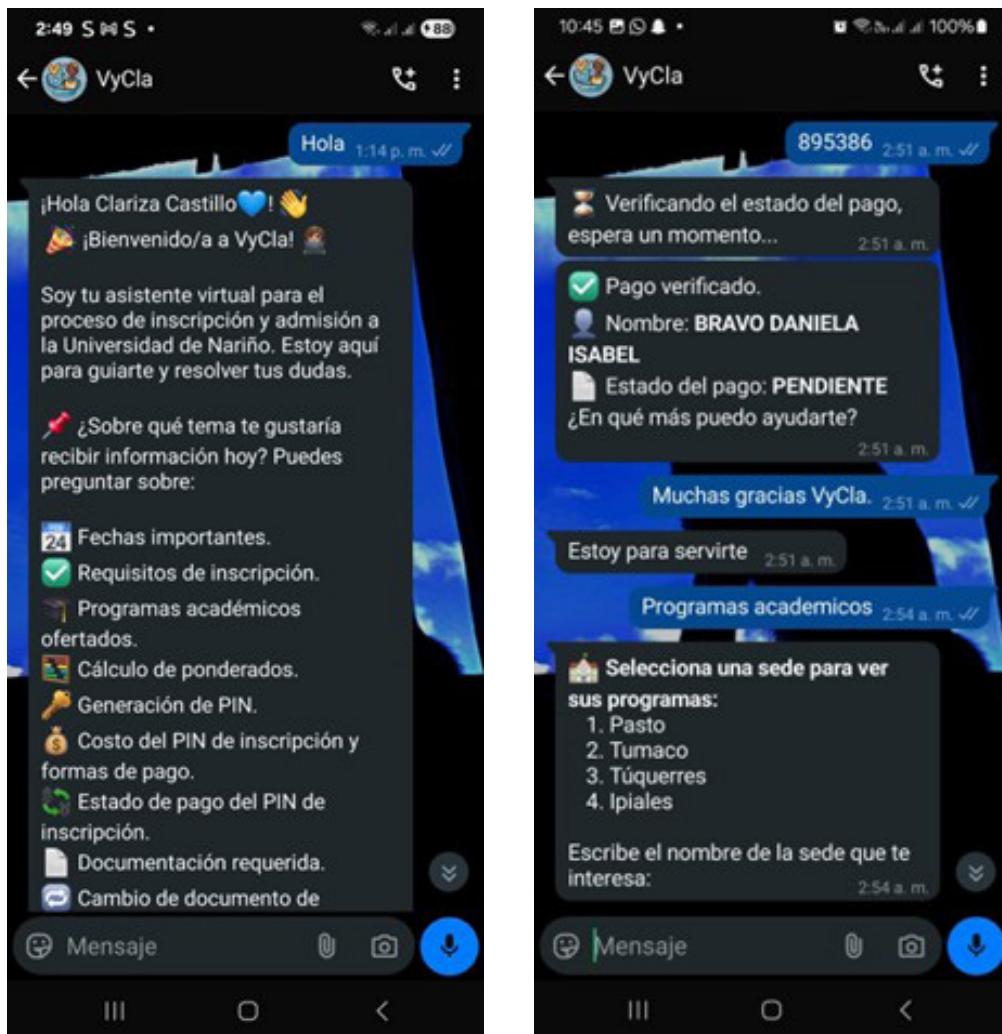
La arquitectura del sistema VyCla (nombre asignado al chatbot) se compone de tres módulos principales: la lógica conversacional en Node.js, que se comunica con WhatsApp mediante la biblioteca Baileys (Distrital et al., 2025), una API de procesamiento de lenguaje natural en Python (Van Rossum & Drake, 2009), y una API de transcripción de audio en Python utilizando Whisper (Sierra, s.f). La información se extrae de sitios web

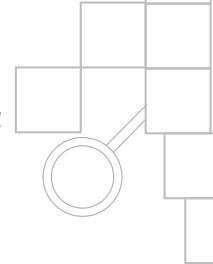
institucionales mediante web scraping con Axios y Puppeteer (Quinatoa Tipantocta, 2024), y todos los mensajes se almacenan en una base de datos PostgreSQL (*PostgreSQL Global Development Group, s. f.*). El comportamiento del chatbot se basa en un archivo JSON construido a partir del levantamiento de procesos de OCARA. Todo se detalla en la Figura 1.

En las Fig. 2 y 3 se aprecia la interacción de un usuario con el chatbot. Se observa cómo el sistema ofrece una respuesta clara y eficiente al consultar por el estado del pago del PIN, requisito esencial dentro de las funciones de esta herramienta.

Figura 2 y 3.

Interacción entre un usuario y VyCla





Conclusiones

El desarrollo del chatbot para la automatización del proceso de inscripción y admisión en la Universidad de Nariño ha logrado avances significativos en relación con dos primeros objetivos de los cuatro planteados. Como conclusión, hasta el momento se ha cumplido de manera satisfactoria con el primer objetivo logrando así definir la herramienta por la cual sería óptimo la implementación del chatbot lo cual fue WhatsApp, a su vez se logró caracterizar los procesos factibles de ser automatizados por medio de la herramienta. Por otro lado, se ha logrado desarrollar el chatbot cumpliendo con cada uno de los requisitos funcionales detallados en los sprint del proyecto.

Referencias

- Arredondo Castillo, C.C. (2020). *Inteligencia artificial en la educación: uso del chatbot en un curso de pregrado sobre investigación académica en una universidad privada de Lima*. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://repositorio.pucp.edu.pe/items/bea64a08-fe2f-4932-a90b-399bf8f77338>
- Distrital, U., Francisco, J., Caldas, D., & Bogotá, P. (2025). *Desarrollo de un chatbot, con la API de WhatsApp, que permita la gestión de propuestas de trabajo de grado (anteproyectos), en la facultad tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://hdl.handle.net/11349/96049>
- Jamanoy Bacca, B. C., Jamanoy Bacca, B. C., Montenegro Rosero, J. F., & Rosero, J. A. R. (2023). *Gestión de información académica de solicitudes estudiantiles y docentes en la jefatura de software de la UNICESMAG mediante Chatbot aplicando PLN*. Universidad CES-MAG. <http://repositorio.unicesmag.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/998>
- PostgreSQL Global Development Group. (s. f.). *PostgreSQL: The world's most advanced open source database*. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de <https://www.postgresql.org/>

Quinatoa Tipantocata, J. H. (2024). *Desarrollo de aplicación web para extracción de datos con web scrapping y herramienta de analítica de datos: desarrollo de un frontend*. [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional EPN. <https://bibdig-ital.epn.edu.ec/handle/15000/25583>

Martins, J. (2025, 15 de febrero). *Scrum: conceptos clave y cómo se aplica en la gestión de proyectos*. Asana. Recuperado el 9 de septiembre de 2025, de <https://asana.com/es/resources/what-is-scrum>

Segovia-García, N. (2024). Optimización de la atención estudiantil. Una revisión del uso de chatbots de IA en la educación superior. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1–20. <https://doi.org/10.31637/EPSIR-2024-324>

Sierra, E. A. (s. f.). *Cómo convertir audio a texto con Python*. Medium. Recuperado el 11 de septiembre de 2025, de <https://medium.com/@noyomedicen/como-convertir-audio-a-texto-con-python-c680ba1ac947>

Cascavita Rodríguez, C. A., & Useche Niño, Y. K. (2025). *Sistema inteligente para la automatización de procesos documentales usando IA, OCR y recuperación semántica de información* [Trabajo de grado, Universidad EAN]. Repositorio Universidad EAN. <https://hdl.handle.net/10882/15004>

Estimulación del pensamiento algorítmico mediante el software MiniLOGO¹

Edwin Insuasty Portilla²

Universidad de Nariño, Colombia

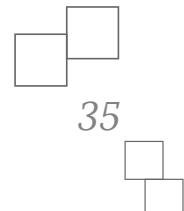


Jesús Insuasti³

Universidad de Nariño, Colombia

Autor de correspondencia: edwin@udenar.edu.co

Resumen: El pensamiento algorítmico es una habilidad fundamental para el desarrollo cognitivo de los niños, ya que promueve un enfoque lógico y secuencial en la resolución de problemas. No se limita a la programación, sino que es aplicable en diversas áreas del conocimiento y la vida cotidiana. El objetivo principal de la investigación es destacar el potencial educativo del software MiniLOGO, una herramienta adaptada al contexto iberoamericano, para el desarrollo de esta habilidad en la educación básica. La metodología del estudio se enmarca en un enfoque cualitativo con elementos cuantitativos, de tipo exploratorio-descriptivo. Se llevarán a cabo talleres didácticos de 90 minutos semanales con niños de 8 a 12 años, aplicando instrumentos de observación directa, rúbricas y pruebas diagnósticas antes y después de la intervención. Las actividades están basadas en los principios del constructivismo y el aprendizaje basado en proyectos. Los resultados preliminares y



¹ Artículo derivado del proyecto de investigación Cultura educativa sobre Pensamiento Computacional aplicado a Industria 4.0 en educación básica y media del municipio de Pasto

² Doctor en Espacios Virtuales, Universidad de Salamanca – España. Profesor Titular, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5844-9949>. E-mail: edwin@udenar.edu.co. Pasto, Colombia

³ Doctor en Ingeniería - Sistemas, Universidad Nacional – Colombia. Profesor Titular, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3233-3577>. E-mail: insuasti@udenar.edu.co. Pasto, Colombia.

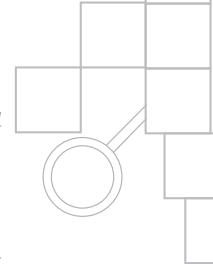
la discusión del artículo señalan que el uso de MiniLOGO puede demostrar que un lenguaje de comandos reducido y accesible, como el que ofrece este software en español, portugués e inglés, permite a los niños desarrollar estructuras de pensamiento lógico-secuencial y habilidades de descomposición algorítmica. Se espera que el estudio demuestre la aplicabilidad de la herramienta en escenarios educativos reales. Como conclusión, el estudio busca aportar una validación empírica del uso de MiniLOGO como herramienta formativa y una reflexión crítica sobre cómo diseñar propuestas tecnico-pedagógicas contextualizadas. Se anticipa que el trabajo con este software fomentará la creatividad, la autonomía y la confianza en los estudiantes para resolver problemas de forma estructurada.

Palabras clave: Pensamiento algorítmico, LOGO, MiniLOGO

Introducción

36

El pensamiento algorítmico es una habilidad fundamental en el desarrollo cognitivo de los niños, ya que les permite analizar problemas, planificar soluciones y estructurar procesos de manera lógica y secuencial. No se limita únicamente a la programación, sino que es aplicable en múltiples áreas, como matemáticas, ciencias, resolución de conflictos y toma de decisiones en la vida cotidiana. Como afirman Wing (2006) y Grover y Pea (2013), el pensamiento algorítmico o computacional promueve un enfoque sistemático de resolución de problemas aplicable más allá del ámbito de la informática. Fomentar esta capacidad desde edades tempranas tiene múltiples beneficios, entre ellos la mejor comprensión de problemas complejos al dividirlos en pasos más manejables, el desarrollo del razonamiento lógico y la creatividad, esenciales para la resolución de problemas, el fortalecimiento de habilidades matemáticas y científicas, al mejorar la comprensión de patrones y estructuras, y la preparación para el futuro digital, ya que la



tecnología y la programación juegan un papel clave en la sociedad moderna (Bers, 2018).

Existen diversas estrategias para desarrollar el pensamiento algorítmico en los niños, incluso sin necesidad de computadores. Algunas de las más efectivas son el uso de rompecabezas y laberintos, que ayudan a pensar en secuencias y lógica; los juegos de instrucciones, como seguir pasos para armar figuras o cocinar recetas, que enseñan el concepto de algoritmos; y juegos de mesa, como el ajedrez o el sudoku, que refuerzan la planificación. Además, el uso de herramientas computacionales y software educativo como Scratch, LOGO, Blockly y otros, permiten a los niños practicar con estructuras algorítmicas básicas de forma visual y divertida (Resnick et al., 2009; Papert, 1980).

En este trabajo, se busca destacar la potencialidad educativa del software MiniLOGO, una herramienta desarrollada en la Universidad de Nariño, basada en el lenguaje LOGO y diseñada para introducir a los niños en los fundamentos del pensamiento algorítmico y la programación de manera lúdica e interactiva. MiniLOGO cuenta con una versión simplificada de 25 comandos de lenguaje LOGO, permitiendo a los estudiantes experimentar con la secuenciación, la lógica y la resolución de problemas mientras aprenden a dar instrucciones precisas.

Una característica relevante de MiniLOGO es su accesibilidad lingüística, ya que los comandos pueden ejecutarse en español, portugués e inglés, los principales idiomas de los países iberoamericanos. Esto facilita su integración en entornos educativos diversos y promueve el aprendizaje de la programación en el idioma nativo de los niños, sin barreras idiomáticas.

El enfoque de MiniLOGO se basa en la interacción con una «tortuga» virtual, que responde a las órdenes del usuario para desplazarse y trazar figuras en la pantalla. Este método no solo introduce a los niños en la programación de manera intuitiva, sino que también fortalece su capacidad para descomponer problemas en pasos más pequeños, desarrollar el pensamiento estructurado

y visualizar los efectos de sus instrucciones en tiempo real (Papert, 1980).

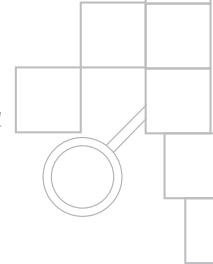
Además, MiniLOGO fomenta la creatividad y la exploración, ya que permite a los docentes diseñar actividades en las que los estudiantes pueden recrear figuras geométricas, patrones artísticos o incluso programar secuencias de movimientos que simulan animaciones básicas. Este enfoque constructivista facilita la comprensión de conceptos fundamentales en matemáticas elemental y geometría, a la vez que refuerza habilidades cognitivas esenciales como la planificación y el razonamiento lógico.

Metodología

El presente estudio se enmarca en un enfoque cualitativo con elementos cuantitativos, de tipo exploratorio-descriptivo, orientado a observar y analizar el impacto del uso del software MiniLOGO como herramienta pedagógica para el desarrollo del pensamiento algorítmico en niños de educación básica. Este enfoque se justifica por la necesidad de comprender fenómenos educativos en su contexto natural, observando directamente las interacciones de los estudiantes con el entorno de programación visual (Denzin & Lincoln, 2011).

La población objetivo estará compuesta por niños entre los 8 y 12 años, pertenecientes a una institución educativa pública, quienes participarán en sesiones organizadas bajo una modalidad de talleres didácticos. El diseño de estos talleres está basado en principios del constructivismo y el aprendizaje basado en proyectos (ABP), los cuales promueven que los estudiantes construyan su conocimiento a partir de experiencias prácticas y significativas (Thomas, 2000).

Durante la intervención, se llevará a cabo cuatro sesiones semanales de aproximadamente 90 minutos cada una, donde los estudiantes interactuarán con MiniLOGO a través de actividades diseñadas para desarrollar habilidades como la secuenciación lógica, la planificación de instrucciones,



el reconocimiento de patrones y la resolución de problemas simples. Estas actividades incluirán desafíos gráficos progresivos como la creación de figuras geométricas, patrones simétricos y creación de procedimientos sencillos.

Se aplicarán instrumentos de observación directa, rúbricas de desempeño y una prueba diagnóstica antes y después de la intervención para evaluar los avances en el pensamiento algorítmico. Los criterios de evaluación fueron adaptados de marcos propuestos en estudios sobre pensamiento computacional en la educación básica (Grover & Pea, 2013; Bers, 2018; Brennan & Resnick, 2012).

Adicionalmente, se registrarán percepciones y actitudes de los estudiantes mediante encuestas con preguntas abiertas y escalas tipo Likert, lo que permitirá explorar aspectos motivacionales, niveles de satisfacción y sentido de logro percibido. Este componente cualitativo permitirá complementar los datos numéricos y ofrecer una visión más integral del proceso de aprendizaje (Denzin & Lincoln, 2011).

El análisis de datos se llevará a cabo combinando técnicas estadísticas descriptivas (promedios, porcentajes y gráficos comparativos) con análisis cualitativo del contenido de las respuestas. Se prestará especial atención a indicadores como la capacidad para descomponer problemas, identificar secuencias correctas de pasos y anticipar el resultado de una serie de instrucciones, competencias clave en el pensamiento algorítmico (Wing, 2006; Grover & Pea, 2013).

La metodología implementada buscará no solo medir resultados, sino también fomentar una experiencia de aprendizaje significativa, en la que los estudiantes pudieran explorar, fallar, corregir y crear, principios centrales de los entornos de programación educativa como Scratch y LOGO (Resnick et al., 2009; Papert, 1980) y en particular MiniLOGO.

A continuación, se muestran tres figuras de la aplicación MiniLOGO ejecutando códigos LOGO en tres idiomas.

Figura 1.

MiniLOGO ejecutando el código en español de un fractal basado en pentágonos

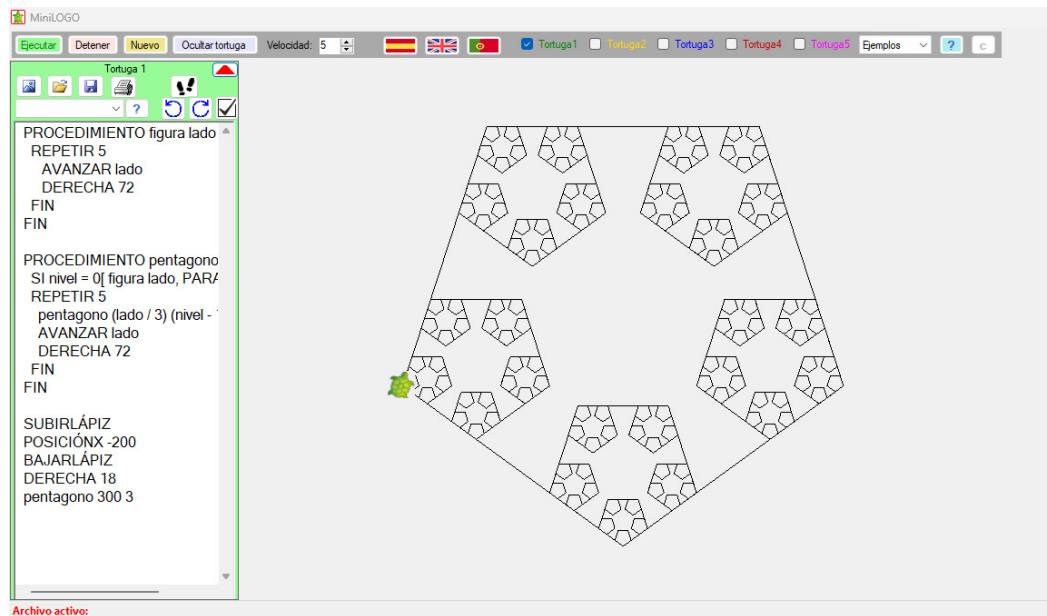
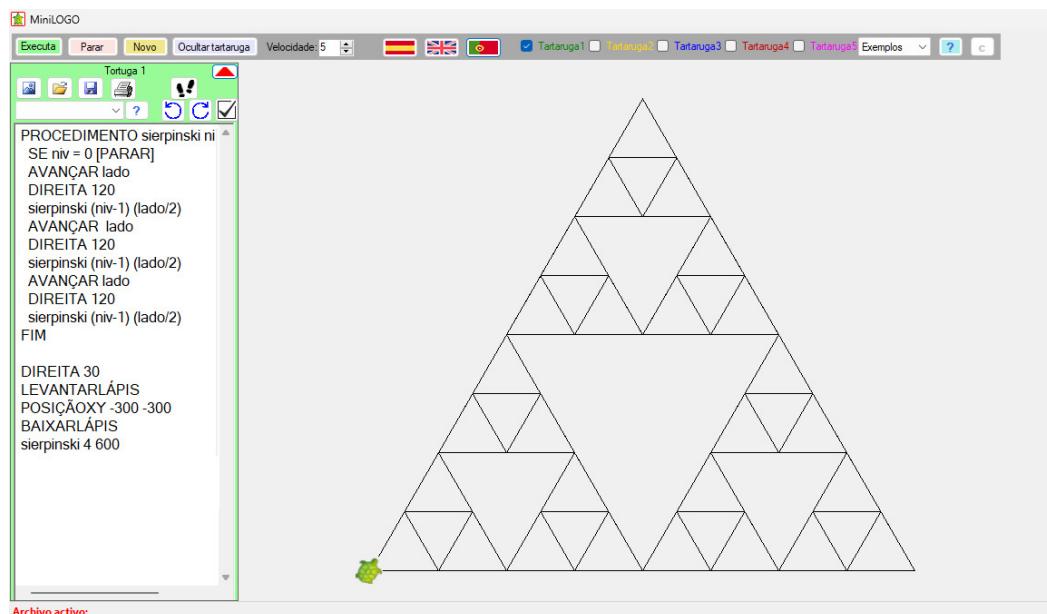
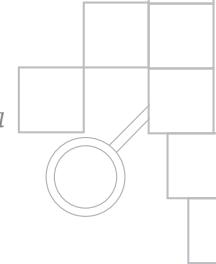


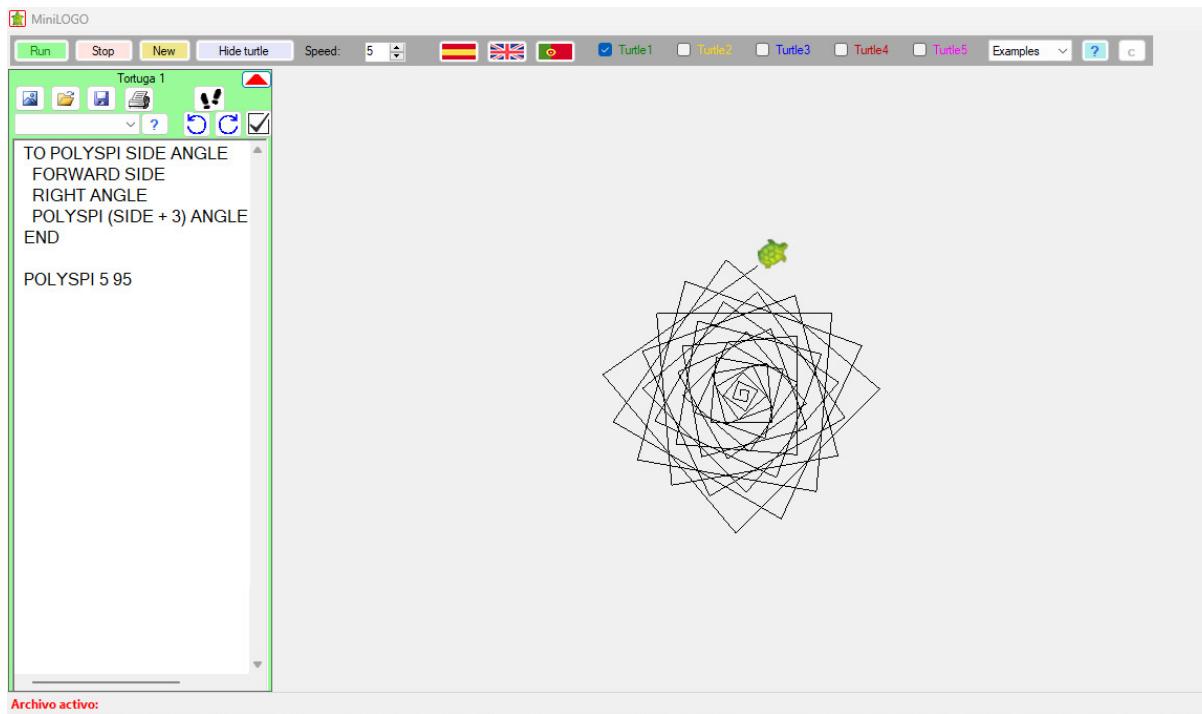
Figura 2.

MiniLOGO ejecutando el código en portugués del fractal de Sierpinski



**Figura 3.**

MiniLOGO ejecutando el código en inglés de un procedimiento recursivo



Conclusiones

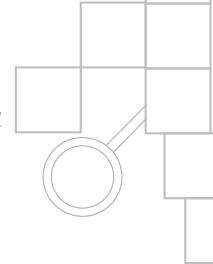
El estado actual de las investigaciones sobre el desarrollo del pensamiento algorítmico en la educación básica evidencia un creciente interés por incorporar enfoques pedagógicos que permitan a los niños adquirir habilidades computacionales desde edades tempranas, sin requerir conocimientos avanzados en programación. En particular, numerosos estudios han demostrado que el pensamiento algorítmico es una competencia transversal que puede fortalecerse mediante estrategias didácticas basadas en el juego, la exploración y la resolución de problemas, utilizando entornos de programación visual y actividades desescolarizadas (Wing, 2006; Grover y Pea, 2013; Resnick et al., 2009; Brennan & Resnick, 2012; Voogt et al., 2015).

Sin embargo, gran parte de las investigaciones existentes se han centrado en herramientas ampliamente difundidas como Scratch, Blockly o Code.org, mientras que el uso de entornos alternativos, diseñados en contextos educativos locales y multilingües, como MiniLOGO, ha sido escasamente documentado en la literatura científica. Esta ausencia representa tanto una limitación como una oportunidad para innovar en el campo de la enseñanza del pensamiento computacional adaptado a la realidad iberoamericana (Bers, 2018; Bell et al., 2009).

Se espera que el estudio propuesto con MiniLOGO contribuya a ampliar el espectro de experiencias documentadas sobre entornos de programación adaptados cultural y lingüísticamente, proporcionando evidencia sobre su aplicabilidad en escenarios educativos reales. En particular, se proyecta que la implementación de MiniLOGO podría demostrar que el uso de un lenguaje de comandos reducido, en un entorno accesible, permite a los niños desarrollar estructuras de pensamiento lógico-secuencial y habilidades de descomposición algorítmica, incluso en entornos con recursos limitados.

Asimismo, se anticipa que el trabajo con MiniLOGO fomentará en los estudiantes la creatividad, la autonomía y la confianza para resolver problemas de forma estructurada, alineándose con marcos pedagógicos constructivistas y metodologías activas como el aprendizaje basado en proyectos (Thomas, 2000; Bell et al., 2009).

En definitiva, esta investigación buscará aportar no solo una validación empírica del uso de MiniLOGO como herramienta formativa, sino también una reflexión crítica sobre cómo diseñar propuestas tecno-pedagógicas contextualizadas, inclusivas y sostenibles para el desarrollo del pensamiento algorítmico desde la educación básica.



Referencias

- Bell, T., Alexander, J., Freeman, I., & Grimley, M. (2009). Computer science unplugged: School students doing real computing without computers. *The New Zealand Journal of Applied Computing and Information Technology*, 13(1), 20–29. <https://csunplugged.org/en/resources/articles/computer-science-unplugged/>
- Bers, M. U. (2018). *Coding as a playground: Programming and computational thinking in the early childhood classroom*. Routledge.
- Brennan, K., & Resnick, M. (2012, abril). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. En *Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association (AERA)*, Vancouver, Canadá.
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (Eds.). (2011). *The SAGE handbook of qualitative research* (4th ed.). SAGE Publications.
- Grover, S., & Pea, R. (2013). Computational thinking in K–12: A review of the state of the field. *Educational Researcher*, 42(1), 38–43. <https://doi.org/10.3102/0013189X12463051>
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.
- Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernández, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., & Kafai, Y. (2009). Scratch: Programming for all. *Communications of the ACM*, 52(11), 60–67. <https://doi.org/10.1145/1592761.1592779>
- Thomas, J. W. (2000). A review of research on project-based learning. The Autodesk Foundation. <https://www.asec.purdue.edu/lct/HBCU/documents/AReviewofResearchonProjectBasedLearning.pdf>
- Voogt, J., Fisser, G., Good, J., Mishra, P., & Yadav, Y. (2015). Computational thinking in compulsory education: Towards an agenda for research and practice. *Education and Information Technologies*, 20(4), 715–728. <https://doi.org/10.1007/s10639-015-9412-6>
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>

Marco de trabajo para pruebas de rendimiento en entornos de integración y despliegue continuos para API REST

Cristian Seguro Gallego¹

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia

Hernando Recaman Chaux²

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia

Autor de correspondencia: cristian_seguro54232@elpoli.edu.co

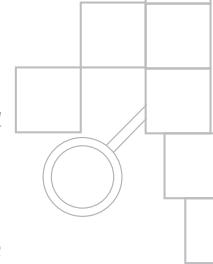


Resumen: El proyecto se centra en establecer un marco de trabajo para la automatización de pruebas de rendimiento para microservicios basados en Interfaces de Programación para Aplicaciones de Transferencia de Estado Representacional (API REST), en entornos de integración y despliegues continuos.

Inicialmente se identifican cuáles herramientas de prueba de rendimiento existentes en el mercado (open source o licenciadas) tiene las mejores características para el desarrollo del proceso automático. Para esta selección, se consideran también las métricas de rendimiento del microservicio, el nivel de adherencia con las herramientas de integración y despliegues continuos (CI/CD). Una vez seleccionada la herramienta de prueba se desarrolla una aplicación automática, usando la especificación OpenAPI (Swagger) que

¹Estudiante de Maestría en Ingeniería, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid – Colombia. Especialista de Calidad de software, Sistecrédito S.A.S, Medellín, Colombia. E-mail: cristian_seguro54232@elpoli.edu.co. Medellín, Colombia.

² Magíster en Ingeniería área ciencias de la computación, Universidad Industrial de Santander – Colombia. Docente de Planta, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6909-0492>. E-mail: hrecaman@elpoli.edu.co. Medellín, Colombia.



genere el script para la ejecución de las pruebas automáticas. Finalmente se probarán los resultados del trabajo en un entorno real para validar el marco de trabajo e identificar posibles mejoras.

El proyecto de investigación aplicada, registrado en el programa de Maestría en Ingeniería pretende una mejora significativa en la calidad y eficiencia del proceso de desarrollo de software. Favoreciendo solucionar en forma temprana problemas de rendimiento, como cuellos de botella, fugas de memoria, latencias altas, concurrencia, errores de configuración, saturación de recursos, entre otros. Lo anteriormente mencionado es información valiosa para la toma de decisiones y sus correcciones.

La implementación exitosa de este marco contribuirá con la entrega consistente de productos de software robustos y eficientes, alineándose con las mejores prácticas de pruebas de software, integración y despliegue continuo para el desarrollo ágil.

Palabras clave: Automatización de pruebas, Rendimiento de software, Microservicios, API REST, Integración y despliegue continuo

45

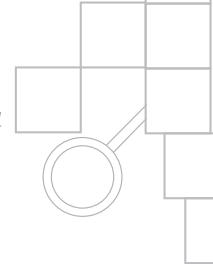
Introducción

El objetivo general de esta investigación es establecer un marco de trabajo para la automatización de pruebas de rendimiento para API REST en entornos de integraciones y despliegues continuos (CI/CD). A partir de este propósito, se definen objetivos específicos como elegir una herramienta que evalúe el desempeño de soluciones desarrolladas como API REST para automatizar las pruebas de rendimiento en entornos de integraciones y despliegues continuos; construir la arquitectura y prototipo de un generador de scripts compatible con la herramienta seleccionada, creado a partir de un contrato de API REST; y evaluar el marco de trabajo propuesto en un entorno real para validar sus resultados e identificar posibles mejoras.

El planteamiento del problema parte de comprender que el ciclo de vida de desarrollo de software (SDLC, por sus siglas en inglés) es un conjunto de pasos lógicos que se utilizan en la industria para desarrollar productos de software como respuesta a problemas o necesidades identificadas. Que estos productos sean de la mayor calidad posible resulta de gran importancia, ya que se debe garantizar que lo construido pueda solucionar el problema o la necesidad para la cual fueron diseñados. Dentro del ciclo de vida del desarrollo se encuentra la planificación, donde se definen los objetivos del sistema, los requisitos y el plan de desarrollo del software. Luego, en el análisis, se profundiza en los requisitos que debe cumplir la solución y se inicia con el diseño de la arquitectura que soportará el software. En la etapa de diseño se detallan la arquitectura y se documenta todo acerca de la misma. La implementación corresponde a la fase en la que se materializa la solución mediante la codificación y las pruebas unitarias. Posteriormente, en la fase de pruebas, se garantiza, mediante actividades propias de verificación, que la calidad del producto es la esperada. Finalmente, se da paso al despliegue o la entrega de la solución a los usuarios finales, quienes podrán utilizarla para resolver un problema o necesidad previamente identificada.

En la actualidad, este proceso de desarrollo se ejecuta con el propósito de realizar entregas en períodos de tiempo más cortos y con mayor frecuencia, lo que se conoce como metodologías ágiles. Dichas metodologías introducen la necesidad de optimizar los procesos dentro del desarrollo, sin que estas optimizaciones afecten el resultado final. En este contexto, se utilizan conceptos como DevOps, que representa la sincronización entre los equipos de desarrollo y operaciones para trabajar de forma cohesionada y minimizar los problemas que tradicionalmente se presentaban cuando se entregaban desarrollos al área de operaciones para su despliegue.

De esta manera, cobran relevancia la integración continua (CI) y los despliegues continuos (CD), que buscan automatizar los procesos para integrar cambios o nuevas funcionalidades dentro del desarrollo principal y entregar dicho desarrollo en el ambiente de producción o en el entorno donde la



aplicación prestará sus funcionalidades. Sin embargo, en este punto surge la complejidad de implementar pruebas que se integren en flujos de trabajo con mínima intervención manual. Entre estas pruebas se encuentran las funcionales, que verifican y validan que el software cumpla con los objetivos para los cuales fue creado; las de seguridad, que garantizan el cumplimiento de regulaciones y aspectos relacionados con la protección de la información; y las pruebas de rendimiento, cuyo propósito es evaluar factores como el rendimiento, la disponibilidad, la durabilidad, la estabilidad, la adaptabilidad, la capacidad y la integridad de los datos.

El problema identificado en este proyecto está relacionado con las pruebas no funcionales, en particular con las pruebas de rendimiento que buscan asegurar que la solución sea capaz de atender la demanda en un entorno de producción. Dichas pruebas requieren un marco de trabajo que permita su integración en entornos de CI/CD, de modo que se logre un aporte significativo a la industria. A partir de esto, surge la pregunta de investigación: ¿Cómo puedo automatizar las pruebas de rendimiento para API REST en entornos con integración y despliegues continuos?

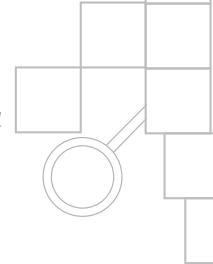
La justificación de esta investigación se fundamenta en que actualmente las empresas de software, o aquellas con departamentos dedicados a su construcción, reconocen la imperiosa necesidad de desarrollar productos con altos estándares de calidad, en donde el rendimiento y la eficiencia juegan un papel esencial. Esta eficiencia se entiende como el rendimiento relativo a la cantidad de recursos utilizados bajo condiciones establecidas, lo que incluye la capacidad de aprovechar de manera adecuada los recursos de hardware y software de otros sistemas. Según Yorkston (2021), esta eficiencia se compone de tres subcaracterísticas principales: el comportamiento temporal, la utilización de recursos de hardware y la capacidad para procesar la demanda necesaria.

En el ámbito de la calidad del software, la definición de criterios de aceptación, la elaboración de escenarios de pruebas, la comprensión de la

arquitectura, la gestión de datos de prueba, la administración de entornos, el análisis de resultados y el monitoreo de recursos se consideran elementos críticos para garantizar un nivel sobresaliente en las soluciones. En consecuencia, la investigación surge de la necesidad de diseñar un marco de trabajo integral que permita implementar pruebas de rendimiento integradas a un esquema DevOps con CI/CD, donde la estandarización de procesos sea clave para garantizar la medición continua del rendimiento.

Con esta estandarización se espera aportar a la industria una herramienta o implementación que consolide la evaluación de rendimiento en API REST, optimizando el proceso y asegurando la calidad de los desarrollos. Una implementación exitosa permitirá reducir el uso de recursos temporales, humanos y económicos. De hecho, la automatización integral de las pruebas, desde la definición de criterios de aceptación hasta la validación de resultados, se considera esencial para lograr eficiencia y brindar soporte al cumplimiento automático de estándares de calidad en cada entrega de software.

En este sentido, el marco teórico respalda la importancia de las pruebas de rendimiento como medio para evaluar la capacidad de respuesta, la estabilidad, la velocidad y la eficiencia de un sistema bajo diferentes condiciones de carga y estrés (Javed et al., 2022). Estas pruebas implican la ejecución de escenarios y datos variados para identificar problemas y optimizar el rendimiento, asegurando que el software soporte la carga esperada y funcione eficientemente en contextos reales. De nuevo, la eficiencia se relaciona con el comportamiento temporal, la utilización de recursos y la capacidad de procesar la demanda (Yorkston, 2021). A su vez, es necesario considerar la concurrencia como la habilidad del sistema para manejar múltiples procesos y transacciones simultáneamente en diferentes niveles: aplicación, procesos de negocio y transacciones. Evaluar la concurrencia es crucial para garantizar un rendimiento robusto, el cual se mide con base en criterios de aceptación claros, concisos, comprensibles y



orientados a resultados verificables desde la perspectiva del usuario. Dichos criterios, relacionados con tiempos de respuesta, capacidad y uso de recursos, proporcionan la base para evaluar el éxito de las pruebas de rendimiento (Yorkston, 2021).

En cuanto a métricas específicas, Akbulut y Perros (2019) destacan indicadores como el tiempo de respuesta medio, el percentil 95, el throughput y la eficiencia en el uso de recursos como esenciales para evaluar sistemas basados en microservicios. Además, estas pruebas garantizan la medición de requerimientos no funcionales, que representan restricciones críticas para el desarrollo y el comportamiento de un sistema, tales como seguridad, rendimiento, disponibilidad, extensibilidad y portabilidad. A diferencia de los requerimientos funcionales, los no funcionales se centran en las propiedades del sistema que determinan su éxito, y aunque deberían especificarse desde las etapas iniciales del análisis, suelen descubrirse de manera tardía, lo que complica la implementación (Cleland-Huang et al., 2007).

Dentro de las herramientas disponibles, Apache JMeter se ha consolidado como una de las más utilizadas en la medición de rendimiento de aplicaciones (Dowling & McGrath, 2015). Estudios recientes han mostrado su utilidad en la evaluación de capacidad de respuesta, throughput y escalabilidad, identificando cuellos de botella en la gestión de hilos, contención en bases de datos y uso de CPU/memoria (Alnuhait et al., 2024).

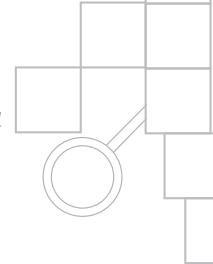
En paralelo, las tendencias en equipos de trabajo se inclinan hacia metodologías ágiles como Scrum y Kanban, que buscan aumentar la productividad mediante la entrega continua y la colaboración (Hernández et al., 2019). En esta línea, DevOps se presenta como un enfoque que integra equipos de desarrollo y operaciones, fomentando la automatización, la colaboración y la mejora continua de calidad y rendimiento (Eramo et al., 2024). Autores como Idowu y William (2025) evidencian que su implementación incrementa la frecuencia de despliegues hasta un 80 % y

reduce el time-to-market hasta un 35 %, además de mejorar la calidad del producto final.

La integración continua y el despliegue continuo (CI/CD), según Lee y Liu (2023), son prácticas recomendadas que automatizan el desarrollo y permiten entregas rápidas e iterativas. Estudios empíricos demuestran que las pruebas de rendimiento suelen integrarse tras superar las pruebas iniciales, como parte de los procesos posteriores en el pipeline (SKA Janani, 2019). Además, capacidades técnicas como CI (C20), CD (C21) y automatización de pruebas (C22), junto con el monitoreo (C08), han sido identificadas como fundamentales en múltiples fases del ciclo de vida de software, de acuerdo con los estándares IEEE 2675-2021 e ISO/IEC 12207/15288 (Amaro et al., 2025).

Estas tareas se logran mediante la construcción de pipelines, es decir, secuencias de acciones automatizadas que incluyen pruebas, análisis de código, despliegues y otras actividades relacionadas con el desarrollo y la seguridad (Lee & Liu, 2023). Asimismo, se han propuesto enfoques para automatizar el análisis de resultados de pruebas de rendimiento mediante gráficos de control estadístico (Nguyen et al., 2011), modelos de Machine Learning para detectar puntos de cambio (Bauer et al., 2022) e incluso técnicas avanzadas como inferencia causal, con el fin de identificar causas raíz de degradaciones de rendimiento en arquitecturas complejas de microservicios (Wu et al., 2021).

En conclusión, la investigación se centra en establecer un marco de trabajo para la automatización de pruebas de rendimiento en API REST dentro de entornos CI/CD, construyendo un generador de scripts a partir de contratos de API REST y evaluando su efectividad en un entorno real. Su importancia radica en la optimización de procesos, la reducción de costos y la garantía de calidad en cada entrega de software, con un alcance que responde a las demandas actuales de la industria y aporta a la consolidación de prácticas de desarrollo más eficientes y confiables.



Metodología

Objetivo Específico 1

El aumento de la adopción de arquitecturas orientadas a microservicios, así mismo el uso de API REST en sistemas distribuidos, aumentan el riesgo de degradación del rendimiento y la complejidad operativa en los ciclos de marcos agiles de entrega de software. Sin embargo las prueba rendimiento siguen siendo, en su mayoría, pruebas manuales o pruebas que no están cohesionadas con los entornos de automatización continuas (Bezemer et al., 2019)

La validación de la calidad no funcional presenta cuellos de botella debido a los desafíos significativos relacionados con la falta de integración de las pruebas de carga y estrés en los pipelines de CI/CD (SKA Janani, 2019). La necesidad de encontrar herramientas que sean ligeras, adaptables y automatizables dentro de los flujos de DevOps han motivado trabajos como: (Idowu & William, 2025), (Pulasthi Perera et al., 2017), (Amaro et al., 2025). El marco de trabajo propuesto en este trabajo se alinea con este objetivo, introduciendo mecanismos de pruebas orquestables por medio de herramientas de automatización como GitHub Actions, Azure Pipelines, Jenkins entre otros.

Así mismo, (Amaro et al., 2025) destaca la importancia de tener en cuenta las capacidades técnicas y de medición en entornos de DevOps como: la automatización de pruebas, monitoreo, observabilidad y contenerización. Todos elementos esenciales para la implementación de un framework eficiente y escalable. Estos elementos se han tenido en cuenta en estándares internacionales dentro del proceso de ciclo de vida del software como ISO/IEC/IEEE 12207 y 15288, lo que permite justificar la incorporación del marco desde una perspectiva metodológica y normativa.

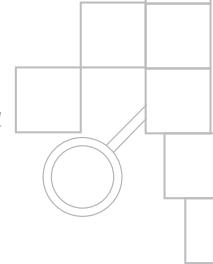
Desde la disciplina de la Ingeniería de Rendimiento de Software, se ha promovido una visión integradora que combine pruebas empíricas automatizadas con análisis continuos para garantizar el cumplimiento de los requisitos no funcionales (Woodside et al., 2007). Esta perspectiva respalda el enfoque del marco propuesto, basado en mediciones reales sobre la infraestructura objetivo y centrado en métricas clave como tiempo de respuesta, throughput, percentiles de latencia y escalabilidad (Alnuhait et al., 2024).

El marco se fundamenta también en principios de aseguramiento de la calidad del software (SQA), en los cuales se establece que las actividades de prueba deben ser integradas de forma transversal a lo largo del ciclo de desarrollo (Vukašinović, 2023). En particular, se incluyen como pruebas de benchmark y estrés, necesarias para comparar el comportamiento del sistema en condiciones reales de operación.

Por último, incorporar este marco en pipelines CI/CD responde a una necesidad explícita de aumentar la eficiencia de validación en entornos con alta frecuencia de cambios (commits) y despliegues. Se han propuesto incluso estrategias complementarias para optimizar su ejecución, como el uso de análisis estático para priorizar commits de alto riesgo (Huang et al., 2014), o el uso de aprendizaje automático para analizar resultados y detectar puntos de cambio significativos en el rendimiento (Bauer et al., 2022) (Dileepkumar & Mathew, 2025).

En consecuencia, el marco de trabajo diseñado no solo contribuye con la automatización de un aspecto crítico del proceso de calidad, sino que también se integra de forma natural en las prácticas modernas de desarrollo ágil y DevOps, permitiendo mantener la estabilidad del rendimiento en ciclos rápidos de entrega y cambios frecuentes del sistema.

Para la implementación del marco de trabajo, se realizó un análisis cuyo objetivo fue: Evaluar y seleccionar la herramienta de pruebas de rendimiento que mejor satisface los criterios definidos, buscando un equilibrio óptimo entre: Versatilidad Técnica (25%) para soportar arquitecturas modernas y



futuras; Escalabilidad Operativa (20%) para manejar pruebas a gran escala; Facilidad de Adopción (20%) para una implementación eficiente en los equipos; Integración Estratégica (20%) con pipelines CI/CD (especialmente GitHub Actions, Azure DevOps) y sistemas de observabilidad; y un Modelo de Costos y Accesibilidad (15%) adecuado a las necesidades organizacionales.»

Las herramientas evaluadas fueron: JMeter, Gatling, k6, Locust, BlazeMeter, JMeter DSL, Silk Performer, Taurus y Load Runner.

Para la selección se usó un proceso de toma de decisiones multi-criterio (MCDA) justificado en el Contexto 2 y respaldado metodológicamente por los artículos (Cardenas, 2018), (Kaur et al., 2016), (Verma et al., 2023) y (Sushil Kumar Sahoo & Shankha Shubhra Goswami, 2023). La herramienta elegida se alinea con los criterios evaluados como más relevantes, tales como eficiencia de ejecución, escalabilidad, extensibilidad y compatibilidad con entornos CI/CD.

Tabla 1.

Tabla comparativa de herramientas.

Herramienta	Versatilidad Técnica (25%)	Escalabilidad Operativa (20%)	Facilidad de Adopción (20%)	Integración Estratégica (20%)	Modelo de Costos y Accesibilidad (15%)	Puntaje Total
K6	3	3	3	3	3	3,00
BlazeMeter	3	3	3	3	2	2,85
JMeter	3	2	3	3	3	2,80
Gatling	3	2	3	3	3	2,80
Taurus	3	2	3	3	3	2,80
Locust	2	3	3	3	3	2,75
LoadRunner	3	3	2	3	2	2,65
Silk Performer	3	3	2	3	2	2,65
Jmeter DSL	3	2	2	3	3	2,60
Promedio Total por Criterio	2,89	2,56	2,67	3,00	2,67	

Nota. En la tabla se reúnen los resultados de la evaluación realizada a diferentes herramientas que miden el rendimiento.

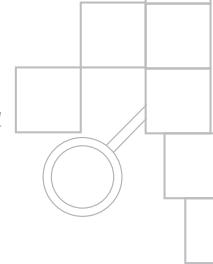
K6 es una herramienta de código abierto enfocada en las pruebas de rendimiento. Fue desarrollada en 2017 por LoadImpact tomando el mismo nombre de su empresa propietaria. Su objetivo principal era proporcionar a los desarrolladores una herramienta eficiente y moderna para evaluar el rendimiento de API's, microservicios y sitios web. En 2021, cambia su nombre a k6 y cambia de propietario a Grafana Lab lo que fortaleció su desarrollo. K6 fue diseñada con un enfoque en la simplicidad y la eficiencia, los scripts de prueba son desarrollados en JavaScript que es un lenguaje familiar para los desarrolladores. K6 está desarrollada en Go (Golang) gestado en Google como un lenguaje de programación que se caracteriza por su simplicidad, eficiencia, escalabilidad y por su bajo consumo de recursos.

Dentro de la fortalezas de K6 encontramos: facilidad de uso, integración con CI/CD, eficiencia, comunidad activa. Sin embargo tiene algunos puntos por mejorar como: limitación de soporte nativo en algunos protocolos (gRPC, FTP) aunque los soporta con extensiones y ausencia de interface gráfica que facilitaría el uso por personas no técnicas.

Objetivo Específico 2

Generar scripts de pruebas de forma automática ha sido un tema de común interés en diversos estudios debido a que en el contexto de las metodologías agiles la entrega de software se realiza con una mayor velocidad lo que exige métodos que disminuyan el esfuerzo manual y que garanticen una cobertura y validación constante de la calidad de nuevos desarrollos o de cambios introducidos como mantenimientos, correcciones o nuevas funcionalidades. En el caso de API REST, que es ampliamente utilizado en las arquitecturas modernas, cobra relevancia esta actividad.

(Arcuri, 2019) aborda directamente la generación de casos prueba de forma automática haciendo uso de contratos de API como OpenAPI/Swagger.



En este estudio se propone mecanismos que permiten generar solicitudes validas a partir de procesamiento del contrato. Esto genera una base sólida para implementar herramientas que reduzcan el esfuerzo humano y mejoran la trazabilidad de los escenarios de prueba.

En el marco del presente proyecto, se propone una estrategia basada en inteligencia artificial y procesamiento automático de contratos OpenAPI para generar scripts de prueba de rendimiento compatibles con herramientas como k6, seleccionada anteriormente.

La relevancia de los contratos API como fuente estructurada para la automatización ha sido reforzada por el análisis empírico en (Neumann et al., 2021), documenta que más del 87% de las APIs estudiadas siguen un estilo RESTful, y que Swagger/OpenAPI es utilizado como mecanismo de documentación en más del 45% de los casos analizados, además se señala que este contrato también fue obtenido de forma automática usando herramientas que permiten esto. Adicionalmente, dicho estudio resalta la heterogeneidad en el uso de métodos o verbos HTTP, estructuras de URIs y esquemas de autenticación, lo cual justifica la necesidad de un generador de scripts capaz de interpretar correctamente estas variaciones.

Se identificó también la importancia de que el producto generado por el mecanismo de generación automática de scripts, priorice la legibilidad, alineación con escenarios realistas de uso y una lógica transparente con el fin de facilitar su adopción y mantenimiento ya que (Shamshiri et al., 2018) identificó que la percepción de los desarrolladores sobre la generación de scripts es un aspecto critico a pesar que estos demostraron ser tan efectivos como los desarrollados de forma manual. Se menciona la dificultada para entenderlos debido a la falta de claridad o realismo.

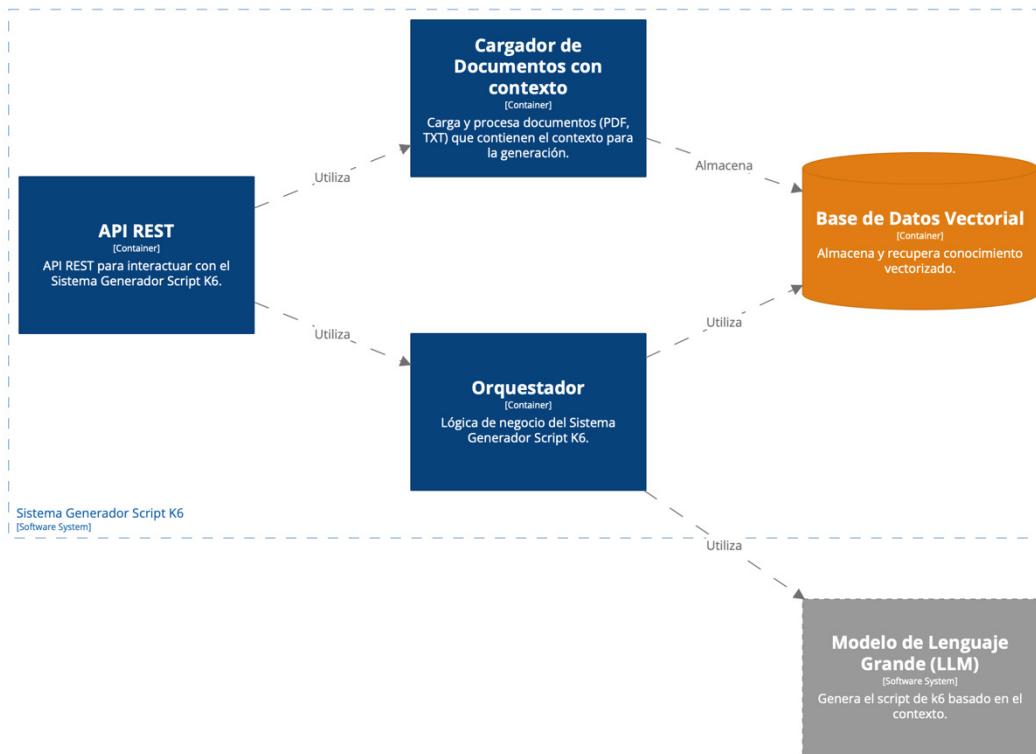
Desde el punto de vista metodológico, el generador implementado emplea técnicas de inteligencia artificial haciendo un análisis sintáctico y semántico sobre los contratos OpenAPI permitiendo extraer los parámetros clave como las rutas, métodos http, cabeceras, cuerpos de las solicitudes y demás

configuraciones necesarias para la generación del script de prueba. Todos estos insumos son transformados en un script de k6 listo para ser integrado en pipelines CI/CD.

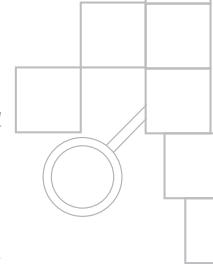
En suma, la estrategia de generación automatizada de scripts propuesta no solo responde a los requerimientos de eficiencia y escalabilidad propios del contexto DevOps, sino que también se fundamenta en prácticas respaldadas por la literatura y considera elementos clave para su aceptación y utilidad práctica en entornos reales de desarrollo continuo.

Figura 1.

Arquitectura de la solución propuesta



La solución propuesta, expone dos funcionalidades, una para agregar contexto para ser usado en la solicitud al modelo de lenguaje grande o LLM y otro para solicitar la generación del script de k6 a partir de OpenApi. A alto



nivel, primero se debe agregar contexto que genere valor para la generación del script relacionada con el contexto de negocio, dependencias, características de los datos, entre otros para que cuando se haga la solicitud de generación, se recupere este contexto, se extraigan los parámetros necesarios del OpenApi y se envíen juntos al LLM con unas instrucciones precisas para obtener un script de prueba que cumpla con los requisitos esperados.

Objetivo Específico 3

Para evaluar la propuesta tratada en este trabajo orientado a la automatización de pruebas de rendimiento se debe tener en cuenta no solo la capacidad técnica de la ejecución, sino también, el impacto en el ciclo de vida del software y la eficiencia operativa. En este sentido, se han realizado estudios que señalan que una evaluación integral debe incluir métricas técnicas, de proceso y de valor organizacional, facilitando el análisis tanto de la calidad del producto como la efectividad del marco dentro del contexto DevOps

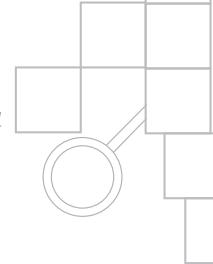
En (Idowu & William, 2025) se plantea una perspectiva empírica de la adopción de prácticas de CI/CD, dentro de las que se incluyen las pruebas automatizadas, identifica que con ellas se introduce mejoras sustanciales en métricas clave como la frecuencia de despliegue (incrementada en 80%), la reducción del time-to-market (35%) y la disminución de defectos (30%). Estas métricas constituyen indicadores fundamentales para evaluar el impacto de un marco de pruebas en la agilidad y calidad del proceso de desarrollo. De forma complementaria, (Pulasthi Perera et al., 2017), al presentar el marco CAMS de DevOps (Cultura, Automatización, Medición, Compartir), enfatiza que las mediciones deben ser accesibles, significativas y estar alineadas con los objetivos estratégicos del negocio y tecnología, lo cual refuerza la necesidad de incorporar indicadores claves de desempeño o KPIs relevantes en la evaluación del marco.

La efectividad del marco también se analiza en función de su capacidad para detectar regresiones de rendimiento de forma eficiente. (Huang et al., 2014) introduce el concepto de Análisis de Riesgo de Rendimiento (PRA) como mecanismo para priorizar qué versiones o commits deben ser evaluados en profundidad, con el fin de reducir el costo de ejecución manteniendo alta cobertura de detección. Este principio fue integrado como opción dentro del marco para mejorar su escalabilidad, inspirando además la integración de técnicas ligeras de priorización como las presentadas en (Alcocer et al., 2016) y (Bauer et al., 2022).

La automatización del análisis posterior a la prueba también es crítica. Artículos como (Bauer et al., 2022) y (Nguyen et al., 2011) proponen técnicas basadas en machine learning y control estadístico (gráficos de control) respectivamente, que permiten clasificar de forma automática los resultados como normales o anómalos. Estas propuestas son útiles para disminuir la intervención manual y acelerar la retroalimentación dentro del conjunto de tareas automáticas o pipeline.

La evaluación general del marco se estructura en tres niveles: 1. Nivel técnico: mide métricas como latencia, throughput, tasa de error, percentiles, utilización de CPU/memoria y consumo de recursos de los scripts generados. 2. Nivel de proceso: analiza métricas del pipeline como duración de la etapa de pruebas, frecuencia de ejecución, tasa de éxito/fallo de builds con pruebas de rendimiento, y detección temprana de regresiones. 3. Nivel organizacional: considera indicadores estratégicos como frecuencia de despliegue, lead time y satisfacción del equipo técnico con los resultados entregados.

Este enfoque se encuentra alineado con los lineamientos de evaluación propuestos en artículos como el (Idowu & William, 2025), 4(SKA Janani, 2019), (Dileepkumar & Mathew, 2025) y (Amaro et al., 2025), y permite evidenciar el valor agregado del marco dentro de un entorno de desarrollo ágil y automatizado.



En síntesis, la evaluación del marco se fundamenta en un conjunto robusto de métricas extraídas de la literatura y alineadas con las prácticas de DevOps, asegurando no solo su efectividad técnica, sino también su impacto positivo en los objetivos del negocio asociados a calidad, eficiencia y capacidad de respuesta del equipo de desarrollo.

Resultados

Se analizó diferentes herramientas con 5 criterios. La herramienta con mejores características para el desarrollo del proyecto fue K6 desarrollada por Grafana LAB. Esta selección se hace principalmente por su facilidad de uso, por su gran acogida y comunidad activa en la que se puede apoyar cualquier persona en busca de soluciones a posibles problemas, y su adherencia con las integraciones y despliegues continuos.

Para la herramienta de generación de scripts se construyó un desarrollo propio que hace uso de la inteligencia artificial con apoyo de contextos propios para la generación eficiente y exitosa de scripts de prueba.

Finalmente durante la implementación del marco, se evidencio una disminución de tiempos de entrega de los productos gracias a la identificación temprana de regresiones en el rendimiento de las API.

59

Conclusiones

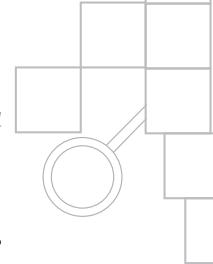
- Con la automatización del proceso de pruebas de rendimiento se aporta a la velocidad del ciclo de vida del desarrollo de software de calidad debido a que se disminuye la dependencia de intervenciones durante las pruebas de rendimiento continuas.
- Utilizar Modelos de lenguaje grandes dentro de la generación de los scripts de pruebas y complementando con contextos propios del entorno.

no del desarrollo de la API, contribuye a eliminar el desarrollo manual de estos scripts con beneficios en el tiempo empleado para tal fin.

- En comparación con el método tradicional, se espera que la implementación de este marco de trabajo disminuya los tiempos de prueba de 8 horas a menos de 20 minutos.

Referencias

- Akbulut, A., & Perros, H. G. (2019). *Performance analysis of microservices design patterns*.
- Alcocer, J. P. S., Bergel, A., & Valente, M. T. (2016). *Learning from source code history to identify performance failures*. En *ICPE 2016 – Proceedings of the 7th ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering* (pp. 37–48). ACM. <https://doi.org/10.1145/2851553.2851571>
- Alnuhait, H., Alzyadat, W., Althunibat, A., Kahtan, H., Zaqaibeh, B., & Al-Khawaja, H. A. (2024). *Web application performance assessment: A study of responsiveness, throughput, and scalability*. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 11(9), 214–226. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2024.09.023>
- Amaro, R., Pereira, R., & da Silva, M. M. (2025). *Mapping DevOps capabilities to the software life cycle: A systematic literature review*. *Information and Software Technology*, 177. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2024.107583>
- Arcuri, A. (2019). *RESTful API automated test case generation*. <https://doi.org/10.1109/QRS.2017.11>
- Bauer, A., Straesser, M., Beierlieb, L., Meissner, M., & Kounev, S. (2022). *Automated triage of performance change points using time series analysis and machine learning*. En *ICPE 2022 – Companion of the 2022 ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering* (pp. 29–32). ACM. <https://doi.org/10.1145/3491204.3527486>
- Bezemert, C. P., Eismann, S., Ferme, V., Grohmann, J., Heinrich, R., Jamshidi, P., Shang, W., Van Hoorn, A., Villavicencio, M., Walter, J., & Willnecker, F. (2019). *How is performance addressed in DevOps? A survey on industrial practices*. En *ICPE 2019 – Proceedings of the 2019 ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering* (pp. 45–50). ACM. <https://doi.org/10.1145/3297663.3309672>



Cardenas, Y. P. (2018). *Application of multi-criteria decision analysis to the selection of software measures*. *Computación y Sistemas*, 22(1), 203–213. <https://doi.org/10.13053/CyS-22-1-2765>

Cleland-Huang, J., Settimi, R., Zou, X., & Solc, P. (2007). *Automated classification of non-functional requirements*. *Requirements Engineering*, 12(2), 103–120. <https://doi.org/10.1007/s00766-007-0045-1>

Dileepkumar, S. R., & Mathew, J. (2025). *Optimizing continuous integration and continuous deployment pipelines with machine learning: Enhancing performance and predicting failures*. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 19(3), 108–120. <https://doi.org/10.12913/22998624/197406>

Dowling, P., & McGrath, K. (2015). *Using free and open source tools to manage software quality*. *Communications of the ACM*, 58(7), 51–55. <https://doi.org/10.1145/2755503>

Eramo, R., Tucci, M., Di Pompeo, D., Cortellessa, V., Di Marco, A., & Taibi, D. (2024). *Architectural support for software performance in continuous software engineering: A systematic mapping study*. *Journal of Systems and Software*, 207, 111833. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2023.111833>

Hernández, G., Martínez, Á., Jiménez, R., & Jiménez, F. (2019). *Métricas de productividad para equipo de trabajo de desarrollo ágil de software: una revisión sistemática*. *TecnoLógicas*, 22, 63–81. <https://doi.org/10.22430/22565337.1510>

Huang, P., Ma, X., Shen, D., & Zhou, Y. (2014). *Performance regression testing target prioritization via performance risk analysis*. En *Proceedings of the International Conference on Software Engineering* (pp. 60–71). ACM. <https://doi.org/10.1145/2568225.2568232>

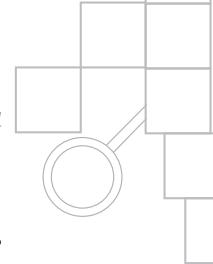
Idowu, M., & William, B. (2025). *Driving efficiency with DevOps: Optimizing agile practices for continuous delivery*. <https://www.researchgate.net/publication/390182354>

Javed, O., Singh, P., Reger, G., & Toor, S. (2022). *To test, or not to test: A proactive approach for deciding complete performance test initiation*. <http://arxiv.org/abs/2205.14749>

Kaur, S., Singh, Y., & Kaur, N. (2016). *Applications of multi-criteria decision making in software engineering*. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(7). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2016.070765>



- Lee, W. T., & Liu, Z. W. (2023). *Microservices-based DevSecOps platform using pipeline and open source software*. *Journal of Information Science and Engineering*, 39(5), 1117–1128. [https://doi.org/10.6688/JISE.202309_39\(5\).0007](https://doi.org/10.6688/JISE.202309_39(5).0007)
- Neumann, A., Laranjeiro, N., & Bernardino, J. (2021). *An analysis of public REST web service APIs*. *IEEE Transactions on Services Computing*, 14(4), 957–970. <https://doi.org/10.1109/TSC.2018.2847344>
- Nguyen, T. H. D., Adams, B., Jiang, Z. M., Hassan, A. E., Nasser, M., & Flora, P. (2011). *Automated verification of load tests using control charts*. *Proceedings - Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*, 282–289. <https://doi.org/10.1109/APSEC.2011.59>
- Pulasthi Perera, R., Silva, R., & Perera, I. (2017). *Improve software quality through practicing DevOps*. IEEE.
- Shamshiri, S., Rojas, J. M., Galeotti, J. P., Walkinshaw, N., & Fraser, G. (2018). *How do automatically generated unit tests influence software maintenance?* *Proceedings - 2018 IEEE 11th International Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST 2018)*, 250–261. <https://doi.org/10.1109/ICST.2018.00033>
- SKA Janani, Y. P. (2019). *A study and analysis of continuous delivery, continuous integration in software development environment (Vol. 6)*. JETIR. www.jetir.org96
- Sushil Kumar Sahoo, & Shankha Shubhra Goswami. (2023). *A comprehensive review of multiple criteria decision-making (MCDM) methods: Advancements, applications, and future directions*.
- Verma, A., Agarwal, A., Rathore, M., Bisht, S., & Singh, D. (2023). *Preferential selection of software quality models based on a multi-criteria decision-making approach*. *International Journal of Software Innovation*, 11(1). <https://doi.org/10.4018/IJSI.315739>
- Vukašinović, M. (2023). *Software quality assurance*. <https://www.researchgate.net/publication/374755430>
- Woodside, M., Franks, G., & Petriu, D. C. (2007). *The future of software performance engineering*.



Wu, L., Tordsson, J., Elmroth, E., & Kao, O. (2021). *Causal inference techniques for microservice performance diagnosis: Evaluation and guiding recommendations*. Proceedings - 2021 IEEE International Conference on Autonomic Computing and Self-Organizing Systems (ACSOS 2021), 21–30. <https://doi.org/10.1109/ACSOS52086.2021.00029>

Yorkston, K. (2021). *Performance testing: An ISTQB certified tester foundation level specialist certification review*. Apress Media LLC. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7255-8>



Relacionando inteligencia artificial y educación en la industria 5.0 para construir una cultura científica popularizando la Ciencia Verde¹

José Gabriel Pérez Canencio²

Unidad Central del Valle del Cauca, Colombia.



Mary Luz Ojeda Solarte³

Unidad Central del Valle del Cauca, Colombia.

Jorge Enrique Guevara Bejarano⁴

Unidad Central del Valle del Cauca, Colombia.

Autor de correspondencia: jperez@uceva.edu.co

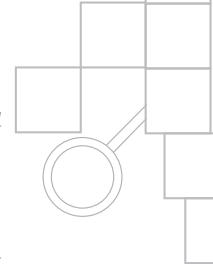
Resumen: La Industria 5.0 marca un cambio hacia la colaboración armónica entre humanos y máquinas inteligentes, enfatizando valores humanos, ambientales y sociales, lo cual permite mejorar la creatividad, la adaptabilidad y la resolución de problemas. En este contexto, la inteligencia artificial generativa emerge como una herramienta clave en la educación ambiental, permitiendo la creación de simulaciones y modelos de ecosistemas para el

¹ Artículo derivado de una investigación sobre construcción de una cultura científica mediante la popularización de la Ciencia Verde

² Especialista en Ingeniería de Software – Universidad Antonio Nariño – Colombia. Docente, Unidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, Colombia. 0000-0001-8399-4669. E-mail: jperez@uceva.edu.co. Tuluá, Colombia

³ Especialista en Ingeniería de Software – Universidad Antonio Nariño – Colombia. Docente, Unidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, Colombia. [0000-0002-4798-8269. E-mail: mojeda@uceva.edu.co. Tuluá, Colombia

⁴ Magíster en Derecho Administrativo – Universidad Libre Seccional Cali – Colombia. Docente, Unidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, Colombia. 0000-0002-2432-1584. E-mail: jguevara@uceva.edu.co. Tuluá, Colombia



estudio y la comprensión de la biodiversidad. Este artículo explora cómo la inteligencia artificial generativa, integrada en la Industria 5.0, puede transformar la educación ambiental. Se analiza el diseño de proyectos interdisciplinarios que fomenten la comprensión de la protección de la biodiversidad y el cuidado del ambiente desde edades tempranas, impulsando una cultura científica que popularice la Ciencia Verde. El estudio se basa en una revisión sistemática de literatura sobre la Industria 5.0, la inteligencia artificial generativa y su aplicación en la educación ambiental. Se analizaron casos de estudio en los que se han implementado tecnologías de IA para la enseñanza de la protección de la bio-diversidad y la sostenibilidad. Las conclusiones muestran como estas tecnologías pueden ser herramientas clave para superar barreras regulatorias, económicas y técnicas, incentivando la producción sustentable y la creación de contenidos educativos personalizados.

Palabras clave: industria 5.0, inteligencia artificial generativa, sostenibilidad educativa, tecnologías emergentes en educación, ciencia verde

65

Introducción

La Industria 5.0 representa una evolución paradigmática en la relación entre tecnología y sociedad, promoviendo una sinergia efectiva entre la inteligencia humana y las capacidades de las máquinas. A diferencia de la Industria 4.0, centrada principalmente en la automatización y la eficiencia, la Industria 5.0 pone en el centro valores humanos, éticos, sociales y ambientales, abogando por un desarrollo tecnológico al servicio del bienestar colectivo y la sostenibilidad del planeta.

Este cambio de enfoque tiene profundas implicaciones para el ámbito educativo, especialmente en la educación ambiental, donde se vuelve imprescindible no solo transmitir conocimientos, sino también fomentar la conciencia crítica, la empatía ecológica y la acción transformadora.

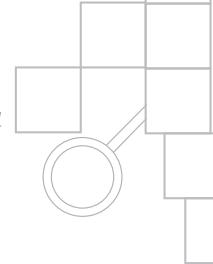
En este contexto, la inteligencia artificial generativa (IAG) se posiciona como una herramienta estratégica capaz de revolucionar los procesos pedagógicos tradicionales. Gracias a su capacidad para generar contenidos personalizados, simular escenarios ecológicos complejos y crear modelos interactivos de aprendizaje, la IAG permite a los estudiantes explorar dinámicas ambientales en entornos inmersivos, comprender los efectos del cambio climático y valorar la importancia de conservar la biodiversidad desde una perspectiva emocional y cognitiva. Así, la convergencia entre Industria 5.0, IAG y educación ambiental no solo mejora la eficacia del aprendizaje, sino que también contribuye a formar ciudadanos más conscientes, resilientes y comprometidos con la construcción de un futuro sostenible.

Metodología

66

El presente artículo se desarrolló mediante una metodología de carácter cualitativo, basada en la revisión documental y el análisis crítico de fuentes académicas, científicas y técnicas relacionadas con la Industria 5.0, la inteligencia artificial generativa (IAG) y su aplicación en el ámbito educativo, especialmente en el contexto de la educación ambiental.

Para la recopilación de la información se utilizó una estrategia de búsqueda sistemática en bases de datos académicas empleando palabras clave que facilitaron la búsqueda. Los criterios de inclusión consideraron publicaciones recientes (entre 2018 y 2024), revisadas por pares, con enfoque en el análisis de impacto educativo y ambiental de la transformación tecnológica. La estructura del texto se organizó de manera progresiva, comenzando con una contextualización teórica, seguida del desarrollo argumentativo centrado en la relación entre tecnología, educación y sostenibilidad y finalizando con un análisis crítico-discursivo de los resultados obtenidos. Esta metodología permitió una exploración profunda y reflexiva del fenómeno educativo en la era de la Industria 5.0.



Integración de tecnologías en la educación.

En un mundo cada vez más interconectado, las tecnologías emergentes están transformando la manera en que aprendemos y vivimos. Desde el Internet de las Cosas (IoT) hasta la Realidad Virtual (VR), estas herramientas no solo están revolucionando la educación, sino también promoviendo prácticas sostenibles.

En la educación, IoT facilita la conexión de dispositivos como pizarras inteligentes, sensores y tabletas, creando aulas interactivas. Esto permite personalizar el aprendizaje y monitorear el progreso de los estudiantes en tiempo real. Con la Inteligencia Artificial (IA) se impulsan sistemas de tutoría personalizados, análisis predictivo para identificar áreas de mejora y herramientas de aprendizaje adaptativo.

Con tecnologías de Big Data se pueden analizar grandes volúmenes de datos para personalizar la enseñanza, predecir el desempeño de los estudiantes y reducir el abandono escolar. Estas ventajas se pueden aplicar para identificar patrones ambientales y diseñar estrategias efectivas para la conservación de recursos naturales. El auge de los Cobots (Robots Colaborativos) es aprovechado para facilitar el aprendizaje práctico en laboratorios, permitiendo a los estudiantes interactuar con tecnología avanzada, al tanto que permiten apoyar procesos de manufactura sostenible al trabajar junto a humanos en tareas que optimizan el uso de recursos ambientales.

Un caso especial es la utilización de la Realidad Virtual (VR) creando experiencias inmersivas, como simulaciones de laboratorio y recorridos virtuales por lugares históricos, mejorando la comprensión y el interés de los estudiantes de igual forma como se puede simular escenarios ambientales para educar sobre el impacto del cambio climático y fomentar comportamientos responsables.

Con recursos como la IAG se logra crear contenido educativo personalizado, tales como guías, tutoriales, explicaciones, ejercicios y simulaciones

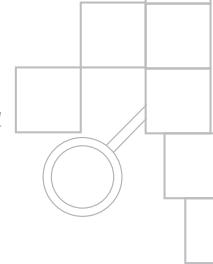
adaptadas a las necesidades de cada estudiante, fomentando la creatividad al permitir la generación de proyectos únicos utilizando herramientas avanzadas.

Educar con I.A.G.

Cuando se aborda el papel de la IAG en la educación, como señalan (Wang X., et al. 2024), en un estudio realizado en la China con estudiantes universitarios, uno de los aspectos más destacados es su capacidad para personalizar el aprendizaje, enfoque que se logra alineándolo estrechamente con los principios de la Industria 5.0, la cual promueve una integración armoniosa entre las capacidades tecnológicas avanzadas y la dimensión humana del conocimiento, orientando los procesos educativos hacia una formación más centrada en el estudiante. En este escenario emergen herramientas como tutores inteligentes, asistentes virtuales, sistemas de aprendizaje adaptativo y experiencias inmersivas, las cuales permiten crear entornos educativos dinámicos, interactivos y ajustados a las necesidades individuales de aprendizaje.

La información de los procesos de aprendizaje recopilada en grandes volúmenes de datos y analizada mediante procesos de learning analytics (analíticas de aprendizaje) no solo permite monitorear el desempeño estudiantil en tiempo real, sino también anticipar riesgos de abandono escolar, detectar patrones y estilos de aprendizaje y ofrecer retroalimentación personalizada tanto para estudiantes como para docentes.

De esta manera, la IAG se convierte en un aliado estratégico para los educadores al facilitar la toma de decisiones pedagógicas basadas en evidencia, permitiendo transitar de un modelo educativo generalizado hacia uno altamente personalizado y orientado al desarrollo integral del estudiante (Cornell University, 2023).



La Industria 5.0 y su impacto transformador en la educación

La Industria 5.0 representa una evolución significativa en la interacción entre la tecnología y la sociedad, al enfocarse en la colaboración entre humanos y sistemas inteligentes con énfasis en valores como el humanismo, la sostenibilidad y la resiliencia tal como se ha estudiado, especialmente en Europa y publicado en (European Commission, 2021). La Industria 5.0 se orienta hacia el bienestar humano y el respeto por el medio ambiente, proponiendo un uso ético y consciente de las tecnologías emergentes. Esta visión trae consigo profundas implicaciones en el ámbito educativo, donde se hace necesario transitar de modelos estandarizados hacia enfoques centrados en el estudiante, adaptativos, inclusivos y comprometidos con los desafíos sociales y ambientales del siglo XXI (Supriya et al., 2024).

Integrando la IAG, los sistemas educativos pueden analizar el progreso de cada estudiante y adaptar en tiempo real el contenido, la metodología y el ritmo del aprendizaje. Este tipo de tecnologías permiten abordar las diferencias individuales, promoviendo trayectorias formativas únicas que responden a las necesidades, intereses y estilos de aprendizaje particulares (Holmes, Bialik, & Fadel, 2021). Además, se vuelve necesario un rediseño curricular que aporte elementos de IAG en los planes de estudio escolares (Luckin et al., 2016).

Es preciso mencionar que, con especial atención la Industria 5.0 también promueve el fortalecimiento de competencias en ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas (STEAM), fundamentales para la innovación y la resolución de problemas complejos en un mundo interconectado. En este contexto, la educación incorpora proyectos interdisciplinarios que integran el pensamiento lógico con la creatividad, así como el uso de simulaciones interactivas que permiten comprender fenómenos abstractos de manera experiencial (Akçayır & Akçayır, 2017). Además, la Industria 5.0 propone una educación humanista, donde la tecnología se pone al servicio del desarro-

llo emocional, ético y social del ser humano. Esto se traduce en el fomento de valores como la empatía, la solidaridad y la responsabilidad social, así como en el desarrollo de habilidades blandas como la comunicación efectiva, el trabajo en equipo y la autorregulación emocional (Ozmen Garibay et al., 2023).

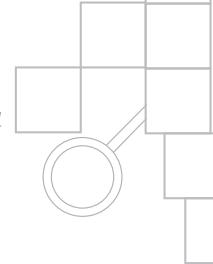
Con la IAG se fortalece la creación de simulaciones ecológicas mediante experiencias inmersivas sobre biodiversidad y modelos interactivos de gran interés. Estas herramientas hacen posible una educación ambiental conectada con la realidad y orientada a la acción transformadora desde la aplicación de conceptos como la ciencia verde, a pesar de los grandes retos y desafíos que enfrentan estas disciplinas en escenarios latinoamericanos, tal como lo mencionan (Ojeda et al., 2024). (Wangoo & Reddy, 2021) (Chang & Kidman, 2023).

El uso de plataformas virtuales con diseño universal, tecnologías de asistencia, traducción automática y adaptación de contenidos garantiza que estudiantes con discapacidades o en contextos vulnerables puedan participar activamente en los procesos educativos que atiendan las recomendaciones de UNESCO (Sandoval Mena, 2023)

Resultados

Los hallazgos del análisis bibliográfico y la reflexión teórica evidencian que la convergencia entre la Industria 5.0, la inteligencia artificial generativa (IAG) y la educación ambiental ha comenzado a transformar las prácticas pedagógicas en diversas regiones del mundo. Se identifican seis dimensiones clave donde estas transformaciones son más evidentes:

Personalización del aprendizaje: Plataformas educativas basadas en IAG que permiten adaptar los contenidos y estrategias pedagógicas a los ritmos, estilos y necesidades particulares de los estudiantes, favoreciendo trayecto-



rias de aprendizaje más inclusivas y efectivas (Holmes, Bialik & Fadel, 2021; Wang et al., 2024). La IAG puede ser utilizada para crear material educativo personalizado. Esto permite una experiencia de aprendizaje mucho más eficiente que se ajusta en tiempo a las fortalezas y debilidades del estudiante.

Innovación didáctica y competencias STEAM: Se promueve la enseñanza interdisciplinaria a través de simulaciones, proyectos colaborativos, laboratorios virtuales y modelados digitales, integrando habilidades científicas, tecnológicas y artísticas (Akçayır & Akçayır, 2017; Supriya et al., 2024). La IAG promueve la innovación pedagógica, permitiendo una enseñanza más creativa y atractiva.

Sostenibilidad y conciencia ambiental: La IAG permite construir entornos virtuales y simulaciones de ecosistemas que sensibilizan sobre los impactos ambientales, fomentando una ciudadanía ecológica desde la educación básica hasta la superior (Chang & Kidman, 2023). Una preocupación de la sostenibilidad ambiental en la educación es la cantidad de recursos físicos que se consumen: papel, libros, materiales impresos, energía utilizada en las infraestructuras educativas, etc. La IAG puede reducir la huella ecológica mediante la creación digital de contenido reduciendo la necesidad de materiales impresos y el transporte de libros disminuyendo la huella de carbono asociada.

Enseñanza de la Ciencia Verde: La IAG puede ayudar a simular los efectos de diferentes prácticas científicas o políticas sobre el medio ambiente, creando escenarios dinámicos que permitan a los estudiantes explorar y aprender en entornos de simulación realistas generando materiales educativos (artículos, informes, estudios de caso, infografías) sobre temas como la biodiversidad, el cambio climático o la gestión de residuos, adaptados al nivel de conocimiento individual.

Transformación institucional: Las instituciones que integran tecnologías de la Industria 5.0 están rediseñando sus planes de estudio, incorporando competencias digitales avanzadas, alfabetización ecológica y pensamiento

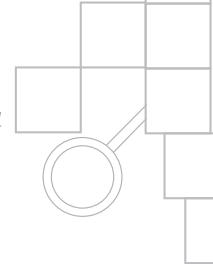
crítico, preparando a los estudiantes para enfrentar los retos sociales y ambientales del siglo XXI (European Commission, 2021).

Equidad e inclusión educativa: El diseño universal de plataformas digitales, junto con el uso de tecnologías accesibles, ha ampliado el acceso a poblaciones tradicionalmente excluidas, respondiendo a los principios de equidad defendidos por organismos internacionales como UNESCO (Sandoval Mena, 2023), la IAG se puede ayudar a superar las barreras sociales, culturales y geográficas, ofreciendo educación de alta calidad a personas de todos los rincones del mundo, igualmente puede traducir automáticamente contenidos educativos a diferentes idiomas, adaptar los materiales a las necesidades de estudiantes con discapacidades (por ejemplo, generando texto a voz para personas con discapacidades visuales). Un resumen del enfoque de la industria 5.0 se presenta en la figura siguiente. (ver Fig. 1)

Figura 1.
Enfoque de la industria 5.0 y la educación

Enfoque de la Industria 5.0





Discusión

Los resultados obtenidos permiten argumentar que la implementación de la Industria 5.0 en el campo educativo no solo es viable, sino necesaria, para responder a las demandas de una sociedad en transformación. A diferencia del paradigma anterior enfocado en la eficiencia tecnológica y la estandarización de procesos, la Industria 5.0 introduce un enfoque ético, inclusivo y humanista que resignifica el rol de la educación como motor de desarrollo sostenible y justicia social.

La IAG, debe ser entendida como una aliada que amplifica las capacidades del educador para diseñar experiencias de aprendizaje significativas, personalizadas y orientadas a la resolución de problemas. Esta perspectiva coincide con los planteamientos de autores como (Luckin et al. 2016), quienes advierten que la clave no está en sustituir al docente, sino en potenciar su labor mediante tecnologías éticamente integradas.

Asimismo, la adopción de enfoques educativos centrados en STEAM permite superar la tradicional separación entre ciencias y humanidades, favoreciendo una formación integral que responde a los desafíos complejos del mundo actual.

Las tecnologías digitales pueden transformar la forma en que se enseña y se vive la relación con la naturaleza, facilitando procesos de concienciación y acción ecológica a gran escala. Tal como lo indica Chang y Kidman (2023), la sostenibilidad no puede enseñarse únicamente desde la teoría, sino a través de experiencias formativas que involucren el pensamiento crítico, la empatía y la acción responsable.

Conclusiones

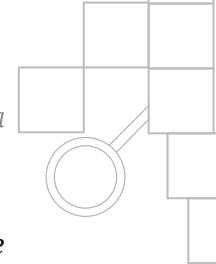
La convergencia entre la Industria 5.0, la IAG y la educación representa una oportunidad histórica para rediseñar el sistema educativo bajo principios de equidad, sostenibilidad y personalización. Las tecnologías emergentes, si se implementan con criterios pedagógicos sólidos y marcos éticos adecuados, pueden enriquecer profundamente la práctica educativa, permitiendo no solo una mayor eficacia en la enseñanza, sino también una formación más integral y humanista del estudiantado.

Esta transformación exige un compromiso multisectorial: desde políticas públicas que fomenten la inclusión digital hasta instituciones educativas que innoven en sus currículos, pasando por comunidades académicas dispuestas a construir conocimiento colaborativamente. La escuela del futuro debe ser un espacio donde la tecnología esté al servicio del desarrollo humano y donde la educación ambiental no sea una asignatura más, sino un eje transversal para la construcción de una ciudadanía global y comprometida con el planeta. En síntesis, educar en la era de la Industria 5.0 no es solo enseñar con tecnología, sino enseñar para un mundo mejor: más justo, más empático y más sostenible.

Referencias

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). *Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature*. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>

Cornell University. (2023). *CU Committee report: Generative artificial intelligence for education and pedagogy*. Center for Teaching Innovation. Recuperado de <https://teaching.cornell.edu/generative-artificial-intelligence/cu-committee-report-generative-artificial-intelligence-education>



- Chang, C. H., & Kidman, G. (2023). *The rise of generative artificial intelligence (AI) language models: Challenges and opportunities for geographical and environmental education*. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 32(2), 85–89. <https://doi.org/10.1080/10382046.2023.2194036>
- European Commission. (2021). *Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. https://ec.europa.eu/info/publications/industry-50_en
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning* (1.^a ed.). Center for Curriculum Redesign.
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. Pearson Education.
- Ojeda Solarte, M. L., Pérez Canencio, J. G., Guevara Bejarano, J. E., Cuero Gamboa, C. A., & Pérez Ojeda, M. A. (2024). *Desafíos y oportunidades para la popularización de la ciencia verde en Latinoamérica y el Caribe*. *Journal Boliviano de Ciencias*, 20(56), 81–93. <https://doi.org/10.52428/20758944.v20i56.1210>
- Ozmen Garibay, O., Winslow, B., Andolina, S., Antona, M., Bodenschatz, A., Coursaris, C., & Xu, W. (2023). *Seis grandes desafíos de la inteligencia artificial centrada en el ser humano*. *Revista Internacional de Interacción Persona-Ordenador*, 39(3), 391–437. <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2153320>
- Sandoval Mena, M. (2023). *Diagnóstico de necesidades docentes para implementar la educación inclusiva*. UNESCO. Recuperado el 15 de abril de 2025, de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386803>
- Supriya, Y., Bhulakshmi, D., Bhattacharya, S., Gadekallu, T. R., Vyas, P., Kaluri, R., & Mahmud, M. (2024). *Industry 5.0 in smart education: Concepts, applications, challenges, opportunities, and future directions*. *IEEE Access*, 12, 81938–81967. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3401473>
- Wang, X., Xu, X., Zhang, Y., Hao, S., & Jie, W. (2024). *Exploring the impact of artificial intelligence application in personalized learning environments: Thematic analysis of undergraduates' perceptions in China*. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-024-04168-x>
- Wangoo, D. P., & Reddy, S. R. N. (2021). *Artificial intelligence applications and techniques in interactive and adaptive smart learning environments*. *Artificial Intelligence and Speech Technology*, 427–437.

Conjunto de datos en construcción como base para la detección de avenidas torrenciales en ríos de montaña por medio de aprendizaje automático¹

Olger Ferledy Erazo De La Cruz²

Universidad del Cauca, Popayán, Colombia



Pablo Emilio Jojoa Gomez³

Universidad del Cauca, Popayán, Colombia

Jorge Edison Mora Arroyo⁴

Universidad del Cauca, Popayán, Colombia

Autor de correspondencia: olger@unicauca.edu.co

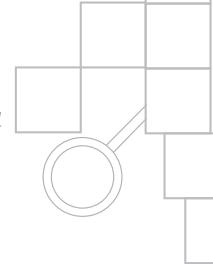
Resumen: Los sistemas de Alerta Temprana monitorean el nivel de aguas de los ríos para determinar la presencia de una creciente súbita o una avenida torrencial, para detectar los cambios de nivel se utilizan sensores de ultrasonido cuyas mediciones se ven afectadas ante los cambios del cauce del río o por su destrucción ante este fenómeno natural; sin embargo, no existen conjuntos de datos, dataset, que contengan audios que permitan analizar el

¹ Artículo derivado de la tesis doctoral “Reconocimiento automatizado de señales acústicas y microsísmicas en las riberas de los ríos de montaña para la detección de avenidas torrenciales, basado en aprendizaje automático multimodal”

² Magister en 2020, Universidad del Cauca – Colombia. Estudiante de doctorado, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2995-648X>. E-mail: olger@unicauca.edu.co. Pasto, Colombia.

³ Doctor en 2003, Universidad del Cauca – Colombia. Profesor asociado Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0002-8461-4063>. E-mail: pjojoa@unicauca.edu.co. Popayán, Colombia.

⁴ Magister en 2020, Universidad del Cauca – Colombia. Estudiante de doctorado, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3850-4506>. E-mail: jorgemora@unicauca.edu.co. Pasto, Colombia.



sonido subaéreo generado en un río. Esta contribución describe el hardware y software necesario para construir un dataset, emulando un fenómeno natural de este tipo en un canal de pendiente variable de 0 a 6 grados y canal fijo de 5 grados de inclinación; los experimentos se realizan con diferentes caudales, inclinación y superficie del cauce. Como resultado de la investigación se obtiene un dataset que contiene audios de extensión wav monofónicos de 5 s de duración y segmentos de videos que pueden ser empleados para aplicar técnicas de clasificación basadas en aprendizaje automático. Tras el análisis de los audios se encuentran diferencias en algunas características del dominio temporal y frecuencial en audios clasificados como nivel normal y caudaloso; se identifica la necesidad en etapas posteriores de la investigación el registrar señales microsísmicas generadas por el desplazamiento de piedras o materiales vegetales en el cauce del río.

Palabras clave: Dataset, Canal de Pendiente, Avenida Torrencial, Machine Learning

77

Introducción

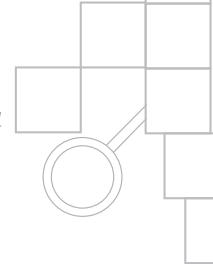
En la actualidad se presentan una serie de desastres naturales como terremotos, tsunamis, tormentas, temperaturas extremas, inundaciones y sequías que colocan en riesgo la vida de las personas, generando pérdidas económicas y ambientales. La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (2017), realizó un estudio para un periodo comprendido entre 1998 a 2017, los resultados indican que los desastres climáticos y geofísicos en el mundo ya cobraron la vida de 1,3 millones de personas y 4.400 millones han resultado heridas. Se destaca que los desastres de naturaleza climática predominan con respecto a los geofísicos, siendo las inundaciones quienes representan el 43% de todos los eventos registrados.

La UNGRD (2021) denomina avenida torrencial a un flujo formado por una mezcla de sedimentos y agua en diferentes proporciones, transportán-

dose a altas velocidades a lo largo del cauce; generando crecientes súbitas o aumento rápido del nivel de un río que afecta los territorios entorno a una cuenca de alta pendiente, el flujo es consecuencia de las precipitaciones, sismos, enjambres de movimientos en masas, grandes volúmenes de agua por deshielo, roturas de presas naturales o artificiales.

Los fenómenos como las avenidas torrenciales y crecientes súbitas en ríos se han incrementado, para Colombia según datos generados por La Unidad de Gestión de Riesgos de Desastres, UNGRD, existen 301 cuencas priorizadas, de las cuales 78 presentan prioridad alta de presentar este tipo de fenómeno; según Aristizábal et al. (2020) en el año 2018 el Departamento Administrativo Nacional de Estadística en Colombia, DANE, indica que el total de personas afectadas equivale al 2,5% de la población. Para minimizar las perdidas según Mendoza et al. (2016), la UNGRD, es la encargada de dirigir la implementación de la gestión de riesgo del desastre; entre una de sus funciones se encuentra el diseño y la puesta en marcha de los Sistemas de Alerta Temprana, SAT, herramientas que se han desarrollado para mitigar las pérdidas y riesgos generados por fenómenos naturales.

Los SAT cuentan con cuatro componentes, uno de ellos es el encargado del pronóstico y detección de amenazas. Los sensores que más se emplean en un SAT para la detección de amenazas como las avenidas torrenciales corresponden a la medición del nivel de los ríos por ultrasonido, por lo anterior en países como Reino Unido, Khalaf et al. (2015) desarrollan sistemas de detección de inundaciones donde integran sensores de este tipo, acoplados a microcontroladores con comunicación GSM/GPRS y en el servidor central se ejecutan algoritmos de Machine Learning para clasificar este tipo de fenómeno natural. Técnica similar es empleada por Septina (2018), al detectar inundaciones en Indonesia. Osborne (2022) en su tesis doctoral integra el sonido subaéreo generado por el río para determinar el nivel de sus aguas, encontrando que existen diferencias en las mediciones al ubicar micrófonos en diferentes puntos de un río que cuenta con variaciones morfológicas que generan remansos y rápidos, en los cuales el sonido se ve alterado.



Sin embargo, no existen dataset que contengan audios de ríos de montaña con diferentes niveles de caudal que generen sonidos balbuceantes o sonidos atronadores. Audios que deben ser analizados y extraídas sus características para clasificar e identificar el estado de un río como normal o presencia de avenida torrencial.

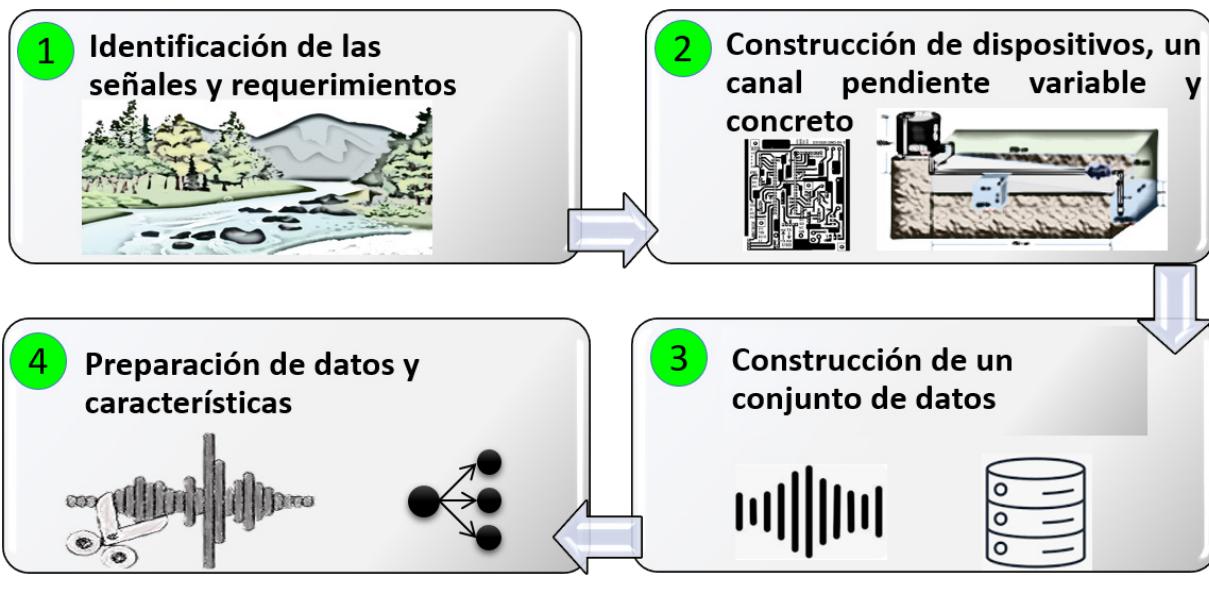
Metodología

Es una investigación de tipo cuantitativa ya que se utilizan datos numéricos generados por los sensores de sonido subaéreo y se emplean las herramientas de extracción de características en el dominio temporal y frecuencial para describir, así como para explicar un fenómeno natural como la avenida torrencial. Por otra parte, la investigación es experimental ya que se manipula variables independientes como el caudal, el tipo de superficie y la inclinación para observar el efecto sobre el sonido subaéreo generado en un canal de pendiente variable o fija.

Una avenida torrencial se presenta de forma esporádica y generalmente en temporada invernal, por ello un canal de pendiente variable y fija es necesario ya que en diferentes tipos de estudios se construyen estructuras a escala para generar datos producidos por fenómenos naturales como puede ser un terremoto, tsunami, erupciones volcánicas, inundaciones, entre otros; ejemplo de ello, los canales de oleaje utilizados por Benítez (2016), los cuales hacen parte del laboratorio de costas y puertos, perteneciente al Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

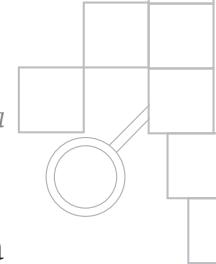
En la figura 1 se encuentra la metodología lineal secuencial ordenada en 4 etapas de ejecución y cada una de ellas se describe a continuación.

Figura 1.
Metodología empleada por etapas



En la primera etapa que corresponde a la identificación de señales y requerimientos se establecen los requerimientos de hardware, firmware y software para construir dispositivos de adquisición de señales. Se describen las herramientas de diseño y construcción a utilizar en las etapas de: simulación, el desarrollo de software, la administración de datos y diseño del hardware.

En la segunda etapa se construye el firmware y software de un dispositivo electrónico para la captura de las señales acústicas generadas en un canal de pendiente variable y fija, en la cual se incorporan sensores de sonido subaéreo y subacuático; también se diseña la base de datos que permita almacenar las señales digitalizadas. Finalmente, en esta etapa se realiza el diseño y construcción de un canal de pendiente variable, así como de pendiente fija.



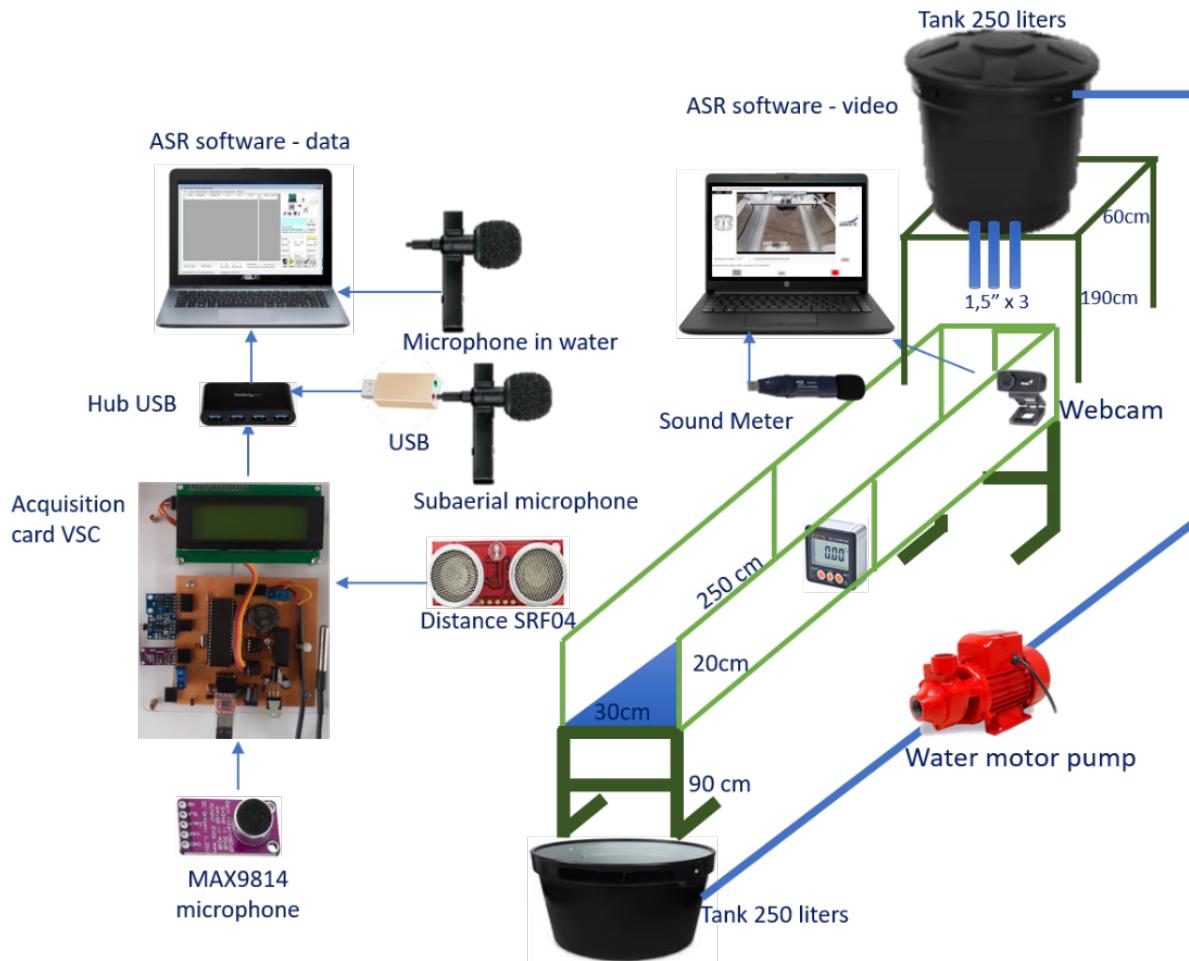
En la tercera etapa se realiza la construcción de conjuntos de datos, para ello en el canal de pendiente variable de laboratorio se prueban diferentes escenarios relacionados con: diferencias de caudal, pendiente, rugosidad y obstáculos en el lecho; condiciones que afectan las señales de sonido subaéreo y subacuático. Se adquieren señales acústicas con los dos canales. Se conforman colecciones de señales para identificar las características de los ríos de bajo caudal y en escenarios torrentosos.

En la cuarta etapa se encuentra la preparación de datos y la extracción de características, para ello se realiza la limpieza y preparación de los datos obtenidos de las señales acústicas; se recortan a 5 segundos segmentos de audio tipo wav muestrados a 44100 muestra por segundo y a una profundidad de 32 bits y recorte de videos con la misma duración de tiempo que los audios; se etiqueta cada uno de ellos como normal o desplazamiento de piedras como precursor de avenida torrencial. Posteriormente se normalizan los datos generados por los audios y se extraen por medio de script en Matlab, así como en Python características en el dominio temporal y frecuencial.

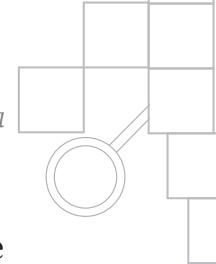
81

Avances

Debido a que la presencia de avenidas torrenciales son eventos fortuitos en la naturaleza, para el proceso de adquisición de señales de sonido subaéreo se hace necesario la construcción de un canal de pendiente variable como el descrito en la figura 2, que integra un sensor de captura de video, captura de audio por medio de micrófono subaéreo y un hidrófono, más otros parámetros físicos como la intensidad de sonido y el nivel del canal por ultrasonido.

Figura 2.*Componentes hardware y software en canal pendiente variable*

En el canal de pendiente variable, en adelante CPV, se implementa la primera versión de la tarjeta de adquisición que trabajaba a una velocidad de 115200 bps, su núcleo se basa en un PIC18F4550, a este se conectan un sensor micrófono y de distancia por ultrasonido, pantalla LCD alfanumérica acoplada a un PIC16F84A, memoria serial, reloj de tiempo real y comunicación USB. Como se requiere realizar la adquisición de datos en situ el sistema cuenta como centro de procesos con un computador y un computador adicional para captura de video, los dos equipos ejecutan sistema operativo Windows 10, al igual que programas como: Matlab, Visual Studio 2022, manejador de bases de datos MySQL, Python y conexión por puertos USB para la conexión de entrada/salida digital.



Debido a que la superficie del canal de pendiente variable se construye en policarbonato y metal se decide construir un canal de pendiente fija en concreto, en adelante CPF, en el cual se puedan desplazar piedras, el choque de las mismas contra las paredes y la base permitan obtener señales acústicas más cercanas a las generadas por un río de montaña. En la figura 3 se describe como el canal de concreto que presenta una inclinación de 5 grados, cuenta con un tanque plástico de carga de 250 l, tanque en concreto de descarga de 290 l, depósito en concreto de 67 l para sumergir un hidrófono, tubería en PVC, motobomba y demás componentes.

Figura 3.

Estructura y tarjeta de adquisición en canal pendiente fija CPF



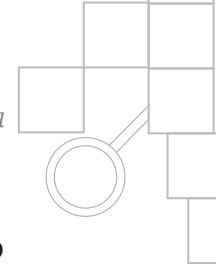
En los experimentos con el canal de pendiente variable se demostró la necesidad de muestrear las señales a una mayor velocidad y en ese caso fue necesario diseñar una nueva tarjeta de adquisición basada en un núcleo de procesamiento DSPIC fabricado por Microchip con referencia DS-PIC30F4013; permite medir la altura del agua en el canal por medio de un sensor de distancia por ultrasonido de referencia SRF04; un sensor de temperatura DS18B20 que se conecta al DSPIC por medio de un bus de una línea; el sonido se muestrea a una tasa de 1850 muestras/s con el micrófono

amplificado MAX9814; cuenta con un canal digital para verificar el estado de cuerda, en este caso una forma para determinar la presencia de una avenida torrencial cuando el circuito se abre en ríos de riachuelos en los cuales el lecho del río es inferior a 5 m y no es navegable.

Una vez se realizan diferentes experimentos los dos canales de pendiente, se conforma un dataset de 356 audios que corresponden a un nivel normal y 345 audios que corresponden a desplazamiento de piedras en el cauce del canal por exceso de caudal. Los videos y audios capturados por medio de la tarjeta desde los canales de pendiente variable y canal fijo en concreto, se encuentran disponibles parcialmente en Google Drive con el enlace <https://bit.ly/4bLAPt1>

La segmentación de una señal hace referencia a la extracción de características de la señal en el tiempo, propiedades que se pueden utilizar para el reconocimiento de voz, el indicador del nivel de un río o en este caso la presencia de una avenida torrencial. La ventana consiste en definir una secuencia de duración limitada en el tiempo, las cuales se solapan sucesivamente para obtener la coincidencia; una de las ventajas radica en que un análisis de este tipo permite identificar tramos en los cuales el valor medio de la señal se incrementa por ruido producido por truenos, viento, un vehículo, el canto de un pájaro, el grito de una persona o cualquier otro fenómeno acústico.

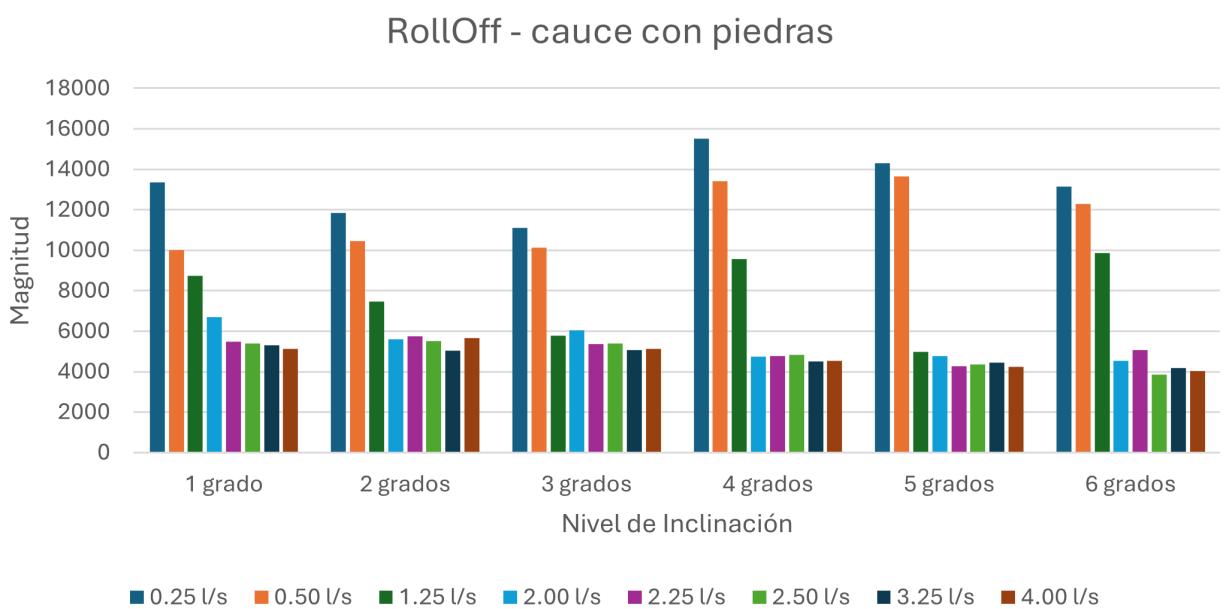
El canal de pendiente variable y en el canal fijo en concreto se generan audios en los cuales se debe desplazar una ventana de 2048 muestras de forma sucesiva sobre la señal para extraer las propiedades en el dominio temporal y frecuencial. Entre las características del dominio temporal extraídas de los audios se encuentran: cruce por cero, magnitud de la señal, energía de la señal y entropía; en el dominio frecuencial se extraen: el centroide, el flujo espectral, el RollOff, dispersión espectral, la curtosis, la asimetría, la pendiente espectral, el decaimiento espectral y la variación espectral. Encontrando marcadas diferencias en algunas características; la figura 4 muestra como el 90% de la energía de la señal en un caudal 0.25



l/s se expande hasta 13345 Hz, esto se debe a que el sonido tipo arroyo balbuceante tiene un rango mayor de frecuencias; mientras que el RollOff en el nivel de caudal 4 a 2 l/s se reduce hasta los 6709 Hz, indica en este caso que a mayor caudal el sonido es similar a un río torrentoso y por ello el rango de frecuencias se reduce. Por otra parte, se evidencia que el RollOff en las diferentes inclinaciones se reduce a medida que el caudal es mayor, desciende desde un promedio de 10541 Hz en 0.25 l/s a 4778 Hz a 4 l/s. Luego se puede concluir que esta característica también es válida para clasificar una señal de audio de este tipo.

Figura 4.

RollOff al 90% en señal de audio en CPV



Conclusiones

Fue necesario construir el firmware, hardware y software para generar señales similares a las producidas por una avenida torrencial, debido a la ausencia de dataset relacionados con este tipo de eventos. El sistema dise-

ñado permite en cada experimento la captura de forma simultánea de datos generados por un hidrófono, micrófonos muestreados a 1000 Hz a 12 bits y 44.100 Hz a 32 bits de resolución, así como el respectivo vídeo.

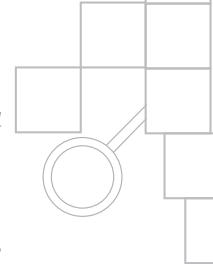
En un río de montaña tras analizar características en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia existen marcadas diferencias del sonido producido por un río de bajo caudal con respecto a un alto caudal que produce el desplazamiento de piedras y detritos.

Las pruebas en los canales en laboratorio indican que los sensores como los micrófonos subaéreos se deben ubicar cerca de las fuentes de sonido como son los rápidos, mientras que en los remansos la intensidad del sonido es baja y se dificulta la extracción de características.

Se recomienda integrar al dataset los microsismos que se generan en los desplazamientos de piedras por incremento de caudal, para que se conformen características adicionales a las obtenidas con el sonido subaéreo.

Referencias

- Aristizábal E., Carmona Arango M. I., and López García I. K., “Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos,” *Cuad. Geogr. Rev. Colomb. Geogr.*, vol. 29, no. 1, pp. 242–258, 2020, doi: 10.15446/rcdg.v29n1.72612.
- Benítez V., “El Canal de Oleaje del Laboratorio de Costas y Puertos,” *Gac. Inst. Ing. UNAM*, vol. 1, no. 47, pp. 18–19, 2016.
- Khalaf M., Hussain A. J., Al-Jumeily D., Fergus P., and Idowu I. O., “Advance flood detection and notification system based on sensor technology and machine learning algorithm,” *2015 22nd Int. Conf. Syst. Signals Image Process. - Proc. IEEE*, vol. 0, no. 0, pp. 105–108, 2015, doi: 10.1109/IWSSIP.2015.7314188.
- Mendoza A., González H., Buelvas J., and Rueda Martínez S. L., *Guía para la Implementación de Sistemas de alerta temprana*, 9th ed. Bogotá, Colombia, 2016.



Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del riesgo de desastres, “Pérdidas Económicas, pobreza y desastres 1998-2017,” vol. 0, no. 0, p. 36, 2017

Osborne, A. (2022). Listening to Rivers Using sound to monitor rivers (Vol. 0) [Durham University]. <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.853025>

Septiana Y., “Design of prototype decision support system for flood detection based on ultrasonic sensor,” MATEC Web Conf., vol. 197, p. 03017, 2018, doi: 10.1051/matecconf/201819703017.

UNGRD, “La Avenida Torrencia es Real - boletín de prevención es de todos,” vol. 1, no. 0, p. 36, 2021, [Online]. Available: <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bit-stream/handle/20.500.11762/32902/BoletinAvenidasTorrenciales.pdf>



Implementation of digitalization strategies in energy distribution systems: an analysis based on optimization scenarios

Edgar Dario Obando Paredes
Universidad Nacional de Colombia

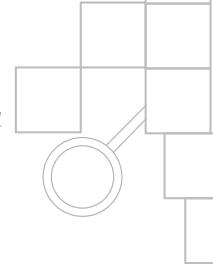


Sandra Ximena Carvajal Quintero
Universidad Nacional de Colombia

Autor de correspondencia: edobandop@unal.edu.co

Abstract: Integrating non-conventional energy sources and distributed energy resources (DERs) into the current distribution system presents challenges, particularly regarding active demand management and the emergence of the prosumer figure. The transition from a classic distribution system to a transactive distribution system that can manage a more significant number of actors and is resilient requires tools ranging from enabling infrastructure to management with user data. The 3Ds, decarbonization, digitalization, and decentralization, provide a frame of reference on the direction the distribution system should follow. In the topic of digitalization, the distribution system must be able to evolve and become a fully automated intelligent Microgrid; however, there are challenges. The first is to understand the concept of a transactive system, the existing relationship with active demand, and the emergence and definition of the prosumer figure. This work analyzes the challenges and opportunities for integrating active demand in distribution systems under digitalization scenarios. Planning dynamics are addressed as a guide in transitioning from classic networks to active and transactional systems, and the scenarios are defined.

Keywords: Digitalization, Distributed Energy Resources, Demand, Prosumer.



Introduction

Planning in active distribution systems is fundamental in transitioning from a passive and centralized energy system to a decentralized, dynamic, and digitized environment. In the context of active demand integration, planning defines the roadmaps that the distribution system must follow to adapt to the incorporation of new technologies, actors, and distributed generation sources. This process seeks to maintain the stability and efficiency of the network and establishes the basis for users to become active participants through the figure of the prosumer (Liu et al., 2015).

In classical distribution systems, planning was limited to expanding the physical infrastructure and ensuring the network's reliability from a hierarchical structure in a single direction (Ai et al., 2020). However, with the increasing penetration of DERs and the advancement of enabling technologies such as advanced metering (AMI), digitalization, and automation, the focus has evolved towards a transactional environment, where planning must consider multiple actors, bidirectional energy flows, and real-time decisions. This transition represents a significant challenge, as the grid must be prepared to manage variations in generation and consumption, adapt its operating strategies, and ensure resilience to contingencies (Ma et al., 2020), (Zomorodi Moghadam & Javidi, 2022).

The main objective of planning in a distribution system with active demand integration is to maximize the integration of renewable resources and distributed generation while facilitating users' participation as prosumers and minimizing operational costs. In this context, planning must be flexible and adapt to unexpected changes in network conditions (Xie et al., 2020). It must also consider new business models that allow prosumers to trade surplus energy and generate an efficient, autonomous, and decentralized system. The above elements guide the evolution of distribution systems towards a transactive environment, promoting the digital use of electricity.

infrastructure and encouraging the adoption of renewable generation technologies.

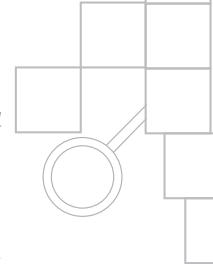
The evolution of planning in distribution systems can be divided into different stages that reflect the maturity and complexity of the system (Marcelo et al., 2024). In the classical stage, planning focused exclusively on expanding infrastructure and satisfying growing demand. In the next stage, with the introduction of DERs, planning focused on safely and efficiently integrating these distributed sources, considering their variability and effects on grid stability. Subsequently, with the automation of the grid and the implementation of advanced control systems, planning was adapted to manage fluctuations in generation and demand in real-time. Finally, in the transactional stage, strategic planning must allow the implementation of a system capable of managing energy transactions between multiple actors in a decentralized way, using technologies such as IoT and Blockchain to facilitate interactions between supply and demand (Qiu et al., 2021).

90

An essential component in active systems planning is the integration of enabling technologies, which will allow real-time decision-making and dynamic network management. The implementation of advanced metering systems (AMI) (Haslund & Johnson, n.d.), with artificial intelligence and data analysis tools, facilitates precise grid control and allows consumption and generation patterns to be anticipated. The work aims to exemplify scenarios that provide the possibility of evaluating evolution in a controlled and transitory way to assess the insertion of enabling technologies and the monitoring carried out on active demand. The document is structured as follows: section II presents the methodology, section III presents the research progress, section IV contains the methods, and finally, the conclusions and references.

Materials and Methods

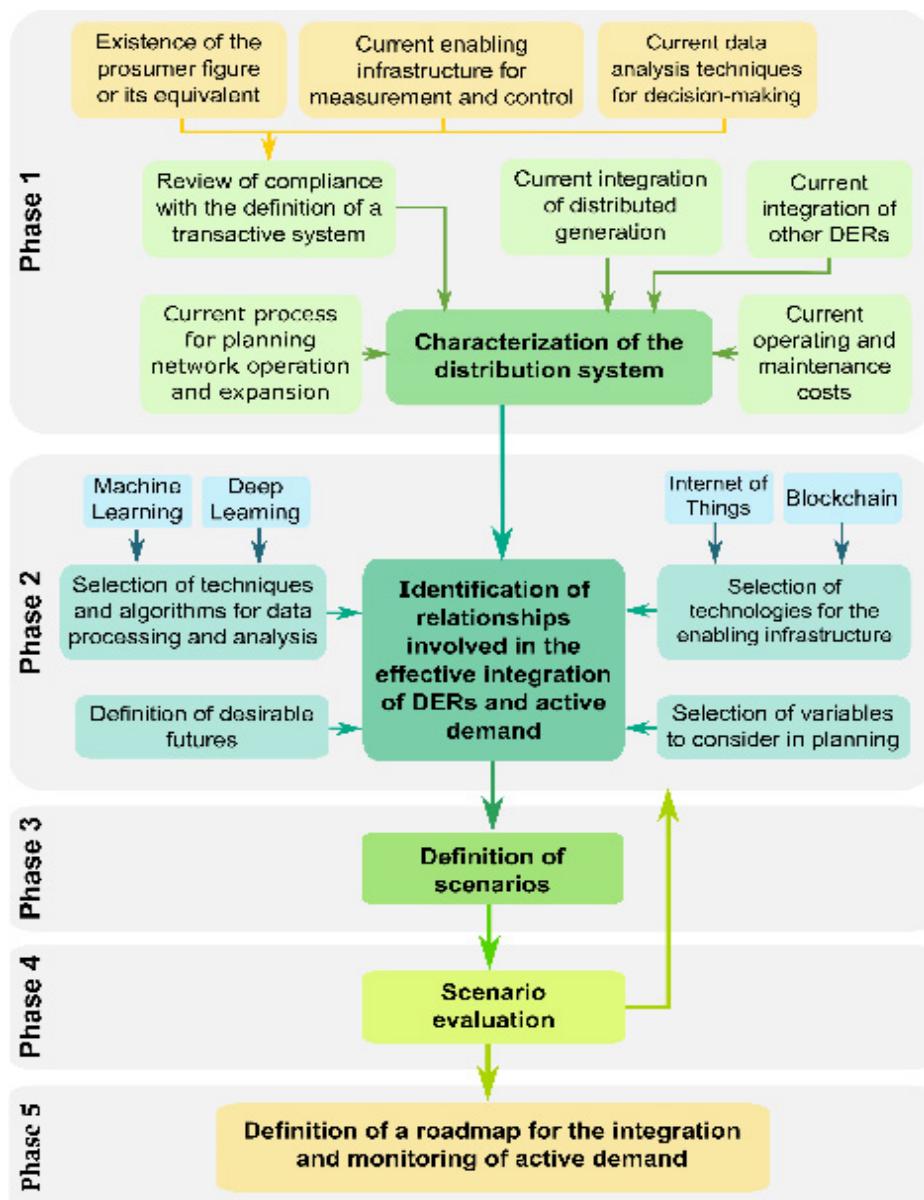
The proposed strategy focuses on characterizing the existing system as a fundamental step. Subsequently, the objective is to identify the causal



relationships between the various system components. This identification process is crucial to effectively integrating active demand and DERs into distribution systems. The strategy is based on a comprehensive understanding of the system's complexities, paving the way for informed decisions and successful integration efforts. The proposed methodology, illustrated in Fig 1, consists of five distinct phases (Obando-Paredes et al., 2024).

Figure 1.

Proposed methodological diagram. Fountain: (Obando-Paredes et al., 2024)



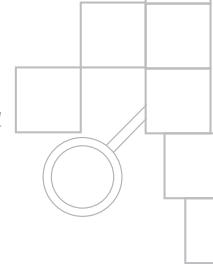
In the initial phase, the objective is to characterize the distribution system. Essential considerations at this stage include the presence of prosumers or equivalent entities and the enabling infrastructure needed for measurement and control. This phase also involves the acquisition of data inputs to facilitate analysis through decision and prediction techniques. The characterization stage includes evaluating costs and the planning associated with the operation and expansion, considering the existence of distributed resources and DERs.

The second phase is dedicated to identifying the relationship between the DERs and the deployment of active demand within the distribution system. ML and DL algorithms are used for data analysis, processing, and definition of desired futures. The Internet of Things (IoT) is an integral part of this phase and is the enabling infrastructure complemented by Blockchain technology.

Building on the knowledge gained in phases 1 and 2, the third phase focuses on defining integration scenarios for active demand. This involves meteorological techniques and considerations of the enabling infrastructure.

Phase 4 is the evaluation stage, providing feedback on the chosen techniques, IoT combinations, and data needed to optimize integration based on predefined scenarios.

In the final phase, Phase 5, the roadmap or roadmaps are established for integrating active demand within the distribution system. These stages collectively make up a dynamic methodology capable of adapting and modifying scenarios, allowing the evaluation of the proposed scenarios and their effectiveness over time. Each phase builds on the results of the previous phase, ensuring a systematic and consistent approach. Below are the advances in terms of the definition of the scenarios considering the application of the proposed methodology.



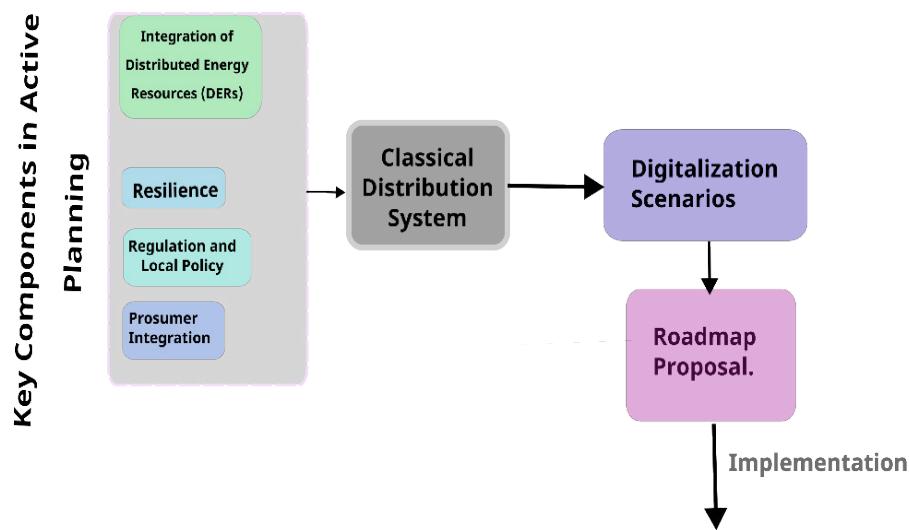
Advances

Strategic planning of active demand in distribution systems involves identifying and managing several fundamental components determining the success of integrating and operating a modern and digitized electrical system. These components focus on technical, regulatory, economic, and user participation factors, which must be carefully evaluated to ensure the transition to an active and flexible distribution system. The main components that should be considered when defining an active demand integration plan are proposed and described below.

In Fig 2, the main variables are diagrammed, each with the main relationship with active demand. The first component integrates distributed energy resources (DERs), including renewable generation sources such as solar and wind energy, storage systems, and demand response mechanisms. The penetration of DERs significantly impacts the stability of the grid and its ability to respond to changes in demand and generation effectively. Planning must consider how these resources are spatially distributed in the system, their energy injection capacity, and the generation variability, especially in areas with high potential for renewable resources. In addition, integrating DERs requires a regulation and control framework that allows the safe injection of energy into the grid and ensures voltage and frequency stability.

Figure 2.

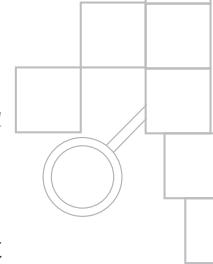
Main variables to consider in defining a roadmap for active demand integration—own source.



The second component is *network responsiveness* related to contingency *resilience*. An active distribution system must operate efficiently even under adverse conditions, such as sudden variations in demand, extreme weather events, or infrastructure failures. Resilience in planning involves designing control strategies that allow for rapid grid recovery and continuity of power supply. This includes implementing advanced automation schemes that monitor and reconfigure the grid in real time and integrating storage systems to support the grid during high demand or generation shortages (Liu et al., 2015), (Xie et al., 2014).

Another critical component is *local regulation and policies*, which define the regulatory framework under which active demand develops. Planning should consider existing incentives for distributed generation, tariff schemes, renewable integration policies, and guidelines that facilitate end users' participation as prosumers. A favorable regulatory environment is indispensable to incentivize the adoption of enabling technologies, such as smart metering (AMI) and peer-to-peer (P2P) energy exchange platforms, which allow a dynamic and competitive energy market.

The *cost structure and the business model* are also determining factors in planning. Integrating active demand requires assessing the costs associated with modernizing infrastructure, implementing digital technologies, and creating a market environment that allows prosumers to realize a tangible economic benefit. This includes a detailed analysis of initial investments and operational costs, as well as an estimation of expected returns for the different actors in the system (distributors, operators, prosumers, and end users). A clear and transparent business model is essential to ensure the economic sustainability of the system. Finally, the *participation of end users* is a fundamental pillar in planning active demand. The transition to a digitized and transactional distribution system depends on the acceptance and involvement of users in the process. Users must have access to real-time consumption information and have tools that allow them to manage their demand autonomously, such as monitoring platforms and mobile



applications. In addition, it is essential to design incentive schemes that promote flexible and adaptive consumption behaviors aligned with the system's needs.

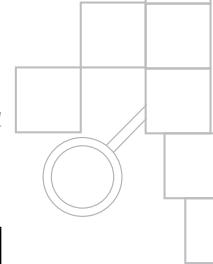
Integrating active demand into the distribution system requires analyzing scenarios that reflect levels of digitalization, prosumer participation, and penetration of DERs. Each scenario proposed in this research allows us to explore conditions under which the system can operate, from minimal automation-smart conditions to highly digitized and decentralized systems. Table 1 provides an outline of the definitions of the scenarios.

Table I.

Definition of scenarios, strengths, weaknesses, and key elements. Own Elaboration

Scenario	Description	Objective	Key Elements
Scenario 0: Traditional distribution system	The distribution system operates passively, without real-time data collection. Electricity flows unidirectionally from generation to consumers, with low or no distributed generation (less than 20% of total demand) or prosumers. Operational decisions are reactive and manual, with no monitoring systems, AMI, or automation.	To illustrate the operation of the distribution system in its most basic form, lacking digitization, monitoring, or real-time control capabilities.	<ul style="list-style-type: none"> -Limited monitoring: Periodic inspections and preventative maintenance without real-time systems. -Manual operation: Corrective actions rely on human intervention. -One-way energy flow: No AMI or feedback from consumption points.

Scenario	Description	Objective	Key Elements
Scenario 1: Basic Digitalization - Supervision and Monitoring	The system focuses on supervision and monitoring, without active controls. It includes basic measurement infrastructure for real-time data collection but lacks automation. Smart meters and instrumentation are installed to monitor energy consumption, distributed generation, and basic operating conditions such as voltage and current.	To provide visibility into the system's operation, enabling operators to understand system behavior without direct intervention.	<ul style="list-style-type: none"> -Smart meters: Installed at consumption and generation points. -Real-time monitoring: Visualizes network status without automatic intervention. -Data warehousing: Stores system behavior data for trend analysis.
Scenario 2: Advanced Digitalization - Active Control and Automation	The system evolves to include active control and automation capabilities. Technologies allow for dynamic management of both demand and distributed generation.	To optimize operational efficiency, monitor losses, improve stability, and facilitate greater integration of renewables using automation and predictive tools.	<ul style="list-style-type: none"> - Network automation: Automatic control systems for voltage, frequency, and power. -Prediction and optimization: Data-driven models anticipate demand and generation. -Prosumer management: Automated systems integrate distributed generation and respond dynamically to demand.



Scenario	Description	Objective	Key Elements
Scenario 3: Total Digitalization - Smart Grid	<p>The system becomes a fully interconnected and autonomously managed smart grid. All components (consumption, generation, storage) are digitized and managed using metaheuristic techniques and Blockchain. Metaheuristic techniques enable advanced predictions and optimization, while Blockchain ensures reliable energy transactions between prosumers.</p>	<p>Maximizing efficiency and reliability through full automation and the interaction of advanced digital technologies creates a dynamic and secure energy environment.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Metaheuristic techniques and Blockchain: TMH manages predictions, optimization, and real-time control; Blockchain ensures transaction transparency.
			<ul style="list-style-type: none"> - Dynamic energy transactions: Real-time energy trading optimizes DERS use.
			<ul style="list-style-type: none"> - Resilience and flexibility: The network dynamically adapts to changes, failures, or unexpected events.

The proposed scenarios provide a framework to evaluate how performance and stability criteria vary depending on enabling infrastructure integration and active user participation levels. The scenarios defined below seek to identify strengths, limitations, and specific challenges associated with each level of digitalization, thus facilitating a more strategic and adapted model implementation according to the distribution system's objectives. Below are the conclusions of the preliminary work.

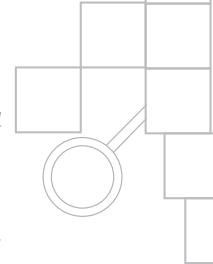
Conclusions

Implementing a distribution system with active demand requires strategic planning that considers different time horizons and allows a progressive transition toward a transactive and decentralized system. This paper proposes digitalization scenarios, each responding to the distribution system's needs

and characteristics. Through these proposed scenarios, it seeks to establish a path for the gradual adoption of technologies and policies that maximize the participation of prosumers, optimize the system's operation, and promote a dynamic and participatory distribution system.

References

- Ai, X., Wu, J., Hu, J., Yang, Z., & Yang, G. (2020). Distributed congestion management of distribution networks to integrate prosumers energy operation. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 14(15), 2988–2996. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2019.1110>
- Haslund, C., & Johnson, S. R. (n.d.). *AMI demand response: The opportunity and challenges of mass market dynamic pricing*.
- Liu, J., Gao, H., Ma, Z., & Li, Y. (2015). *Review and prospect of active distribution system planning*. <https://doi.org/10.1007/s40565-015-0170-7>
- Ma, G., Lyu, J., Wang, Y., Zhang, J., & Xu, J. (2020). The prosumer energy management method based on smart load. *IEEE Access*, 8, 117086–117095. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3004557>
- Marcelo, J. A., Muñoz-Delgado, G., Rupolo, D., Contreras, J., & Mantovani, J. R. S. (2024). Multistage planning for active power distribution systems with increasing penetration of prosumers and electric vehicles. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2024.101280>
- Obando-Paredes, E. D., López-García, D., & Carvajal-Quintero, S. X. (2024). Integrating active demand into the distribution system using metaheuristic techniques. *The Journal of Engineering*, 2024(11). <https://doi.org/10.1049/tje2.70005>
- Qiu, C., Song, X., Qi, X., Han, Y., Fan, H., & Yang, N. (2021, April). Analysis of multi-stage active distribution network planning based on golden section Fibonacci tree optimization method. *China International Conference on Electricity Distribution (CICED)* (pp. 742–746). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CICED50259.2021.9556789>



Xie, Q., Cheng, H., Xiangzhang, Y. Z., & Jiao, S. (2014). *Active distribution network planning based on active management.*

Xie, S., Hu, Z., Yang, L., & Wang, J. (2020). Expansion planning of active distribution system considering multiple active network managements and the optimal load-shedding direction. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105451>

Zomorodi Moghadam, A., & Javidi, M. H. (2022). Designing a two-stage transactive energy system for future distribution networks in the presence of prosumers' P2P transactions. *Electric Power Systems Research*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108202>





EDITORIAL

UNIVERSIDAD CESMAG

