Volumen 8 Nº 2
Julio 2026

ISSN: 2600-5573

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

http://doi.org/10.53358/ideas.v8i2

Google Scholar
RERCIE
Crossref
ORCID
MIAR
Matriz de Información para el Análisis de Revistas

Comité Editorial

Volumen 8, Número 2, 2026

EDITORA EN JEFE
Daisy Imbaquingo, Ph.D. deimbaquingo@utn.edu.ec

EDITOR GENERAL
Marco Ciaccia, Ph.D. mciaccia@utn.edu.ec

COMITÉ CIENTÍFICO NACIONAL
Fausto Salazar, Ph.D. fasalazar@utn.edu.ec
Cathy Guevara, Ph.D. cguevara@utn.edu.ec
Lissette Revelo, M.Sc. lgreveloc@utn.edu.ec
David Ojeda, Ph.D. daojeda@utn.edu.ec
Fernando Ramírez, PhD frramirez@utn.edu.ec
Brizeida Gámez, Ph.D. bngamez@utn.edu.ec
Miguel Vivert, Ph.D. mevivert@utn.edu.ec

Vladimir Bonilla Venegas, Ph.D. fbonilla@ute.edu.ec
Thalia San Antonio, Ph.D. t.sanantonio@uta.edu.ec
Mario Ron, Ph.D. mbron@espe.edu.ec
Laura Guerra, Ph.D. lrquerra@pucesi.edu.ec
Wilson Guachamín, Ph.D. wilson.guachamin@epn.edu.ec

COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL
Ana Cabrera, Ph.D. acabreratobar@unisa.it
Lilibeth Zambrano, Ph.D. zambranol@itcarlow.ie
Belkys Amador, Ph.D. bamador@unet.edu.ve
Vannessa Duarte, Ph.D. vannessa.duarte@unc.cl
Laura Saenz, Ph.D. decanatoingenieria@ujap.edu.ve
Luis Garza, Ph.D. luis_garza1@ucol.mx

Diagramador:
Pedro Cargua pdcargua@utn.edu.ec

Corrección de Estilo:
Dra. Silvia Arciniega srarciniega@utn.edu.ec

EDITORIAL

Volumen 8, Revista 2

La revista **Innovation & Development in Engineering and Applied Science** de la Universidad Técnica del Norte presenta su volumen 8, número 2, titulado "Inteligencia y gobernanza digital", una edición que reúne investigaciones centradas en dos grandes tendencias de la ingeniería contemporánea: la aplicación de la inteligencia artificial a problemas sociales y de salud, y el fortalecimiento de la gobernanza y gestión de las tecnologías de la información en organizaciones públicas y privadas.
En el primer eje, dedicado a la inteligencia artificial aplicada a la salud y el bienestar, se incluyen dos investigaciones que emplean herramientas tecnológicas para apoyar procesos de diagnóstico y cuidado: una orientada al análisis de dibujos infantiles como medio de detección temprana de patrones emocionales en niños, y otra centrada en el desarrollo de una aplicación móvil diseñada desde la experiencia del usuario para apoyar a cuidadores de personas con demencia.

Un segundo bloque temático agrupa estudios sobre inteligencia artificial y procesamiento avanzado de datos, que abordan tanto la extracción automatizada de información desde documentos no estructurados mediante técnicas de OCR, aprendizaje profundo y modelos de lenguaje, como el uso de redes neuronales para la predicción del consumo energético en redes IoT, con aplicaciones en la optimización de recursos y la sostenibilidad ambiental. A este eje se suma un estudio sobre el desempeño comparativo de controladores de redes definidas por software (SDN) en escenarios de tráfico de streaming multimedia.

Finalmente, el número reúne un conjunto de investigaciones orientadas a la gobernanza y gestión de las tecnologías de la información, que incluyen la evaluación de la madurez de procesos de TI en una institución pública rural mediante el marco COBIT 2019, la propuesta de un marco de referencia para la adopción de arquitecturas de microservicios en sistemas gubernamentales, y un estudio sobre la integración de enfoques ágiles y las prácticas de PMBOK en la gestión de la calidad y la satisfacción del cliente en el sector empresarial.

En conjunto, los trabajos de esta edición evidencian cómo la inteligencia artificial y la gobernanza digital se consolidan como pilares complementarios para enfrentar los desafíos actuales de la sociedad, las organizaciones y las instituciones públicas.
Agradecemos profundamente a los autores por su valioso aporte investigativo, así como a los revisores por su compromiso con la calidad y el rigor científico de esta edición. Invitamos a la comunidad científica y de ingeniería a continuar contribuyendo con sus trabajos en futuras ediciones de la revista Innovation & Development in Engineering and Applied Science, fortaleciendo así este espacio de difusión del conocimiento y la innovación tecnológica.

EDITORIAL

Volume 8, Issue 2

The journal **Innovation & Development in Engineering and Applied Science** from the Universidad Técnica del Norte presents its Volume 8, Issue 2, titled **"Intelligence and Digital Governance."** This edition brings together research focused on two major trends in contemporary engineering: the application of artificial intelligence to social and healthcare challenges, and the strengthening of governance and management of information technologies in both public and private organizations.

In the first thematic track, dedicated to **artificial intelligence applied to health and well-being**, two studies are featured that employ technological tools to support diagnostic and caregiving processes: one oriented toward the analysis of children's drawings as a means for the early detection of emotional patterns in children, and another focused on the development of a mobile application designed from a user-experience (UX) perspective to support caregivers of people with dementia.

A second thematic block groups studies on **artificial intelligence and advanced data processing**. These address the automated extraction of information from unstructured documents using OCR techniques, deep learning, and language models, as well as the use of neural networks to predict energy consumption in IoT networks—with applications in resource optimization and environmental sustainability. Joining this track is a study on the comparative performance of Software-Defined Networking (SDN) controllers in multimedia streaming traffic scenarios.

Finally, the issue gathers research focused on **IT governance and management**. This includes an evaluation of IT process maturity in a rural public institution using the COBIT 2019 framework, a proposed reference framework for adopting microservices architectures in government systems, and a study on integrating agile approaches with PMBOK practices to manage quality and customer satisfaction in the corporate sector.

Taken together, the works in this edition demonstrate how artificial intelligence and digital governance are establishing themselves as complementary pillars to address the current challenges facing society, organizations, and public institutions.

We extend our deep gratitude to the authors for their valuable research contributions, as well as to the reviewers for their commitment to the scientific quality and rigor of this issue. We invite the scientific and engineering communities to continue contributing their work to future editions of the **Innovation & Development in Engineering and Applied Science** journal, thereby strengthening this platform for the dissemination of knowledge and technological innovation.

IDEAS

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

Journal homepage:
https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Herramienta basada en IA para apoyar el diagnóstico emocional infantil a través de dibujos

AI-Based tool to support emotional diagnosis in children through drawings

Pablo Cevallos-Cadena[a], Pamela Imbaquingo-Carlosama[a], Becker Velalcazar-Villota[a] Dennis Morales-Quespaz[a], Fabián Cuzme-Rodríguez[a]

[a]Universidad Técnica del Norte

Recibido/Received: 2025-05-10
Aceptado/Accepted: 2026-02-24
Publicado/Published: 2026-07-31
Autor de correspondencia: fgcuzme@utn.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1277
Copyright: CC BY 4.0

PALABRAS CLAVES:

Inteligencia artificial; Dibujos infantiles; Detección de emociones.

RESUMEN

El presente artículo expone el desarrollo de una herramienta tecnológica basada en inteligencia artificial para el análisis de dibujos infantiles, con el fin de apoyar a terapeutas en la detección de emociones en niños de 5 a 7 años. La solución se implementa a través de una aplicación móvil desarrollada en MIT App Inventor, la cual captura imágenes de los dibujos y las envía a un servidor Flask alojado en una Raspberry Pi para su procesamiento. La herramienta emplea el modelo de color HSV para analizar los colores utilizados por los niños y, mediante una API de ChatGPT (OpenAI), generar diagnósticos preliminares sobre su estado emocional. El sistema está diseñado para optimizar la detección temprana de patrones emocionales, facilitando el trabajo de terapeutas y padres en la comprensión del bienestar psicológico infantil. Este proyecto representa una contribución al ámbito de la comunicación multimedia y el procesamiento de datos aplicados a la salud mental infantil.

KEYWORDS:

Artificial intelligence; Children's drawings; Emotion detection.

ABSTRACT

This article presents the development of a technological tool based on artificial intelligence for the analysis of children's drawings, in order to support therapists in the detection of emotions in children aged 5 to 7 years. The solution is implemented through a mobile application developed in MIT App Inventor, which captures images of the drawings and sends them to a Flask server hosted on a Raspberry Pi for processing. The tool uses the HSV color model to analyze the colors used by children and, through the ChatGPT API (OpenAI), generate preliminary diagnoses about their emotional state. The system is designed to optimize the early detection of emotional patterns, facilitating the work of therapists and parents in understanding children's psychological well-being. This project represents a contribution to the field of multimedia communication and data processing applied to children's mental health.

Cómo citar

P. Cevallos–Cadena, P. Imbaquingo–Carlosama, B. Velalcazar–Villota, D. Morales–Quespaz y F. Cuzme–Rodríguez, "Herramienta basada en IA para apoyar el diagnóstico emocional infantil a través de dibujos," *Innovation & Development in Engineering and Applied Science*, vol. 8, no. 2, p. 18, 2026, https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1277

1. Introducción

La habilidad infantil para regular apropiadamente las emociones e interactuar positivamente con otros forma parte del desarrollo socioemocional y es clave para la construcción de vínculos saludables y el bienestar general [1]. Las primeras etapas de la vida, los niños aún no han desarrollado completamente su capacidad de expresar sus emociones verbalmente, lo que representa un desafío para padres, docentes y terapeutas a la hora de comprender y atender sus necesidades emocionales [2]. La capacidad de regulación emocional implica la habilidad para controlar comportamientos impulsivos y actuar sobre la base de objetivos y metas cuando se experimentan emociones [3]. En este sentido, el análisis de los dibujos infantiles ha sido una técnica utilizada ampliamente en el ámbito de la psicología infantil, ya que permite obtener información valiosa sobre el estado emocional del niño mediante la interpretación de los colores, formas y patrones utilizados [4].

Por otro lado, el concepto de arte fomenta la capacidad expresiva de los niños/as, fortaleciendo la creatividad y la imaginación, ya que estos juegan un rol fundamental en el proceso aprendizaje [5]. La digitalización y el avance de la inteligencia artificial (IA) han abierto nuevas oportunidades para optimizar este tipo de análisis, permitiendo automatizar el proceso y generar diagnósticos preliminares de forma rápida y accesible ya que, vivir en contextos de violencia de género afecta al ajuste psicosocial de los/las menores y deteriora las competencias parentales de las víctimas [2]. En este contexto, el presente proyecto busca desarrollar una herramienta tecnológica basada en IA que facilite el análisis de dibujos infantiles mediante el uso de un modelo de procesamiento de imágenes [4].

El desarrollo de la herramienta se centra en la implementación de una aplicación móvil que permite a los niños capturar sus dibujos a través de la cámara de un dispositivo móvil [6]. Estas imágenes se envían a un servidor alojado en una Raspberry Pi, donde se procesan utilizando el modelo de color HSV (*Hue, Saturation, Value*), una representación del color que facilita la identificación de tonalidades emocionales mediante la separación en tres componentes: matiz, saturación y brillo [7]. Posteriormente, la información es analizada mediante una API de ChatGPT (OpenAI), un servicio programático que permite generar diagnósticos emocionales preliminares a partir del análisis de colores, usando bases de datos entrenadas con interpretaciones basadas en la teoría del color [8].

De esta manera, se busca proporcionar un soporte adicional a terapeutas, educadores y padres en la identificación de posibles alteraciones emocionales en los niños, lo que permitiría una intervención temprana a los familiares que suponen desafíos que pueden poner en riesgo el bienestar psicológico [9].

Este proyecto es de especial importancia en el contexto actual, donde el uso de herramientas tecnológicas ha cobrado protagonismo en diversos campos, incluyendo la salud mental [10]. Con el auge de la digitalización y el acceso a dispositivos móviles, contar con aplicaciones accesibles y eficientes para el monitoreo del bienestar infantil representa un gran avance en la psicología infantil. Además, la propuesta se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, particularmente con el ODS 3: Salud y Bienestar [11]. Al contribuir con una solución innovadora que mejora la detección y comprensión de las emociones en la infancia [12].

A lo largo de este artículo, se presentarán los fundamentos teóricos que respaldan el uso de la IA en el análisis de dibujos infantiles, así como la metodología utilizada para el desarrollo de la herramienta [13]. Se abordarán también los desafíos técnicos que conlleva la implementación de este sistema, incluyendo la integración de modelos de IA con procesamiento de imágenes y bases de datos locales [1]. Finalmente, se discutirán los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas, con el objetivo de evaluar la efectividad y precisión del sistema en el diagnóstico emocional de los niños [14].

2. Materiales y métodos

Para garantizar un desarrollo ordenado y estructurado, se seguirá un modelo en cascada, que contempla las siguientes etapas.

En la primera fase, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura sobre el uso de los colores en los dibujos infantiles como herramienta de análisis emocional, así como su integración con tecnologías de IA. Este análisis permitió establecer una base teórica sólida sobre la relación entre los colores y las emociones en los niños, además de explorar cómo la tecnología puede automatizar este proceso. Asimismo, se investigaron metodologías similares aplicadas en contextos terapéuticos, incluyendo avances recientes en procesamiento de imágenes y aprendizaje automático. Se analizaron estudios previos y casos de uso que respaldan la viabilidad del sistema propuesto,

garantizando que el enfoque utilizado esté alineado con investigaciones existentes en el área.

En la segunda fase, se definieron los requisitos técnicos necesarios para la implementación del sistema, abarcando tanto hardware como software. A nivel de hardware, se seleccionó una Raspberry Pi 3 como servidor encargado de procesar las imágenes y gestionar la comunicación con la aplicación móvil. En cuanto al software, se optó por Flask para la implementación del servidor, encargado de recibir, procesar y analizar las imágenes enviadas desde la aplicación. Para el almacenamiento de datos, se utilizó TinyDB, una base de datos ligera que permite guardar imágenes convertidas a Base64 junto con los resultados del análisis. Además, se establecieron protocolos eficientes de comunicación entre la aplicación y el servidor, garantizando una transmisión fluida y compatible de imágenes mediante el formato Base64. Durante esta fase también se definieron métricas de evaluación que permitirían medir la precisión del análisis de colores y la fiabilidad de la interpretación emocional generada por la API de ChatGPT.

En la tercera fase, se procedió con el diseño e implementación del sistema. La aplicación móvil, desarrollada en MIT App Inventor, permite a los usuarios capturar dibujos infantiles y adjuntar metadatos como el nombre del niño y la fecha del análisis. Posteriormente, la imagen es enviada al servidor Flask, donde se procesa en busca de colores predominantes utilizando el modelo de color HSV, previamente descrito en la introducción. Una vez extraída la información cromática, los datos son enviados a la API de ChatGPT, que genera una interpretación emocional según la teoría del color. Toda la información es almacenada en TinyDB, permitiendo la consulta de análisis previos para un seguimiento del desarrollo emocional infantil. Esta fase incluyó la integración de todos los componentes tecnológicos, asegurando la interoperabilidad entre la aplicación móvil, el servidor y la base de datos.

Finalmente, en la cuarta fase, se realizaron pruebas piloto en un entorno controlado para evaluar el funcionamiento extremo a extremo del sistema. Se midieron: (i) la tasa de éxito en la captura y transmisión de imágenes desde la aplicación móvil al servidor, (ii) el tiempo de respuesta extremo a extremo, captura $\rightarrow$ procesamiento $\rightarrow$ interpretación $\rightarrow$ almacenamiento, (iii) la consistencia de la extracción de colores predominantes en HSV comparada con la verificación manual, y (iv) la usabilidad de la interfaz mediante retroalimentación guiada. A partir de estos ensayos se identificaron oportunidades de mejora relacionadas con la normalización de iluminación, el manejo de fallos de conectividad y la optimización del procesamiento concurrente.

Es importante destacar que este proyecto no pretende reemplazar la labor de los terapeutas, sino proporcionar una herramienta complementaria que facilite la identificación de patrones emocionales en los niños a través del análisis de sus dibujos. Con futuras optimizaciones, esta herramienta podría convertirse en un recurso valioso para su aplicación en entornos terapéuticos y educativos, mejorando el acceso a evaluaciones emocionales tempranas mediante el uso de tecnología.

La Figura 1 muestra el diagrama de bloques del sistema propuesto, en el cual se detallan las fases de captura de la imagen, preprocesamiento cromático, análisis mediante inteligencia artificial, procesamiento en el servidor y visualización de resultados en la aplicación móvil.

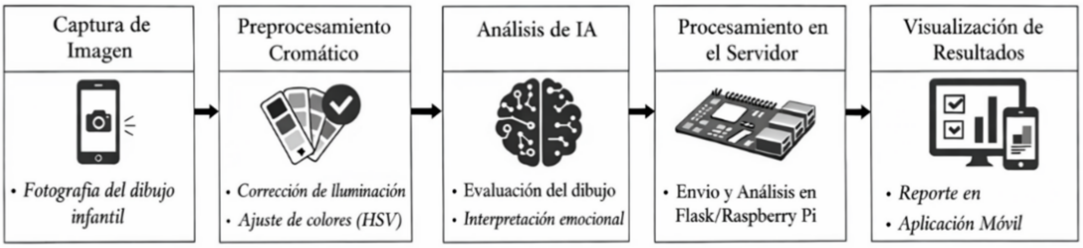

Figura 1: Diagrama de bloques del sistema

2.1. Diseño del sistema

Para el desarrollo del diseño físico del prototipo, se considera la construcción de una carcasa que protegerá la Raspberry Pi, también se utiliza una base de tríplex de 50 cm de ancho y 50 cm de altura que soportará a la imagen juntamente con el soporte de la cámara. La cámara debe ubicarse a una altura de 40 cm para garantizar una centralización dando como resultado un enfoque óptimo al capturar la fotografía.

Diseño de la carcasa para la Raspberry Pi: Para el desarrollo de la carcasa se utiliza el software FUSION 360, el cual permite el desarrollo de objetos en tres dimensiones. Las medidas referenciales del modelado son de 7

cm de ancho, 3 cm de altura y 9 cm de profundidad. Se contempla dejar un espacio disponible para la instalación de un ventilador de un radio de 3 cm, en caso de que la placa se sobrecaliente debido al procesamiento. También se deja el espacio para las conexiones de los pines de 6 cm ancho por 1 cm de profundidad. A su vez se deja el espacio de 3 cm ancho por 4 cm de profundidad para las 4 entradas USB un HDMI. En la Figura 2 se puede apreciar el diseño para la Raspberry.

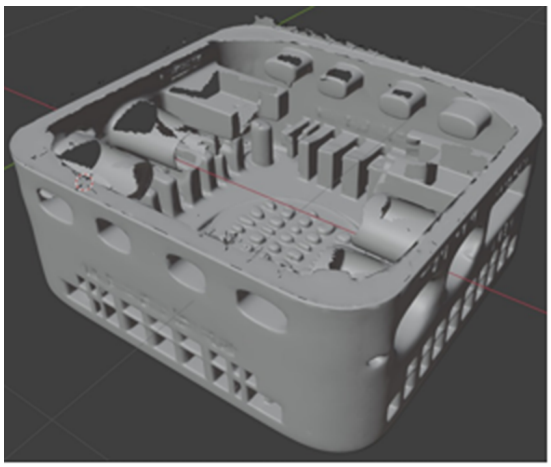

Figura 2: Diseño de la carcasa para la Raspberry

De esta manera, es posible incorporar un soporte para la placa de procesamiento, asegurando que se mantenga fija al soporte en una posición estable. Esto permite una disposición ordenada de los componentes, evitando movimientos que entorpezcan o puedan afectar el funcionamiento. En la Figura 3 se presenta el diseño incorporado con la Raspberry.



Figura 3: Diseño incorporado con la Raspberry

También se requiere una base donde se colocará la imagen. Para garantizar una posición precisa, se delimitarán los bordes, permitiendo centrar la imagen correctamente. Esto asegurará que la cámara capture la fotografía con un mejor enfoque y resultados más precisos. Además, la base deberá ser estable y resistente para evitar movimientos que puedan afectar la calidad de la captura. En la Figura 4, se puede apreciar el lugar en el que se debe colocar el dibujo para tener un mejor enfoque.

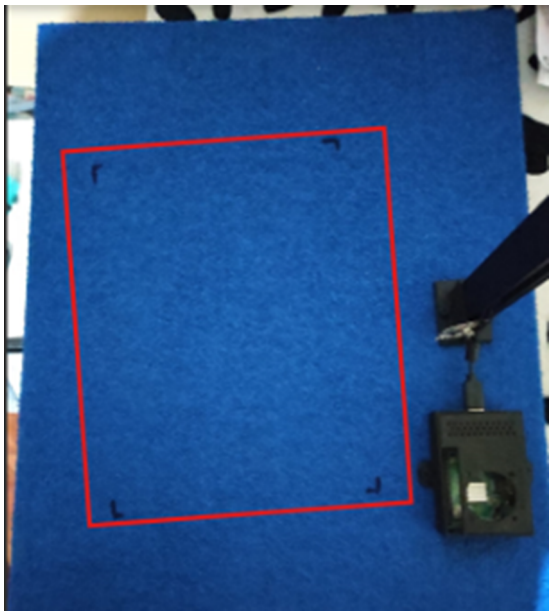

Figura 4: Espacio requerido para la ubicación del dibujo

En la Figura 5 se puede observar el enfoque y la orientación de la imagen. Se coloca unas marcas referenciales donde la imagen debe ser colocada, en la posición indicada para ser capturada correctamente por la cámara.



Figura 5: Fotografía del dibujo

Finalmente, se debe asegurar que la cámara esté ubicada fijamente en el soporte, a una altura adecuada, para lograr un enfoque óptimo de la imagen, estableciendo esta altura en 40 cm.



Figura 6: Altura de la ubicación de la cámara

2.2. Identificación de la API de inferencia basada en IA (ChatGPT)

En este trabajo, el término “API de IA” se refiere específicamente a la API del modelo de lenguaje ChatGPT (OpenAI), utilizada para generar una interpretación textual a partir de variables cromáticas cuantificadas. La imagen no se envía a la API: el servidor procesa localmente la fotografía, segmenta el área de interés y extrae características, por ejemplo, porcentaje de predominancia de colores y componentes HSV. Con estas variables se construye un prompt estructurado y la respuesta se limita a una descripción orientativa para apoyo al terapeuta; por tanto, su uso introduce dependencias de conectividad, latencia y disponibilidad del servicio, discutidas en la sección de limitaciones.

2.3. Descripción del contenido: lógica de eventos y acciones en App Inventor

Para el desarrollo de la aplicación móvil, se ha utilizado la herramienta MIT App Inventor, una plataforma de programación visual que permite crear aplicaciones de manera intuitiva mediante bloques de código.

La lógica de la aplicación se implementó en MIT App Inventor mediante programación por bloques para gestionar los eventos de captura, validación, codificación Base64 y envío de la imagen al servidor. La Figura 7 muestra la programación en bloques utilizada para el desarrollo de la aplicación, donde cada bloque cumple una función específica que permite que la interfaz sea interactiva y responda de manera dinámica a las acciones del usuario.

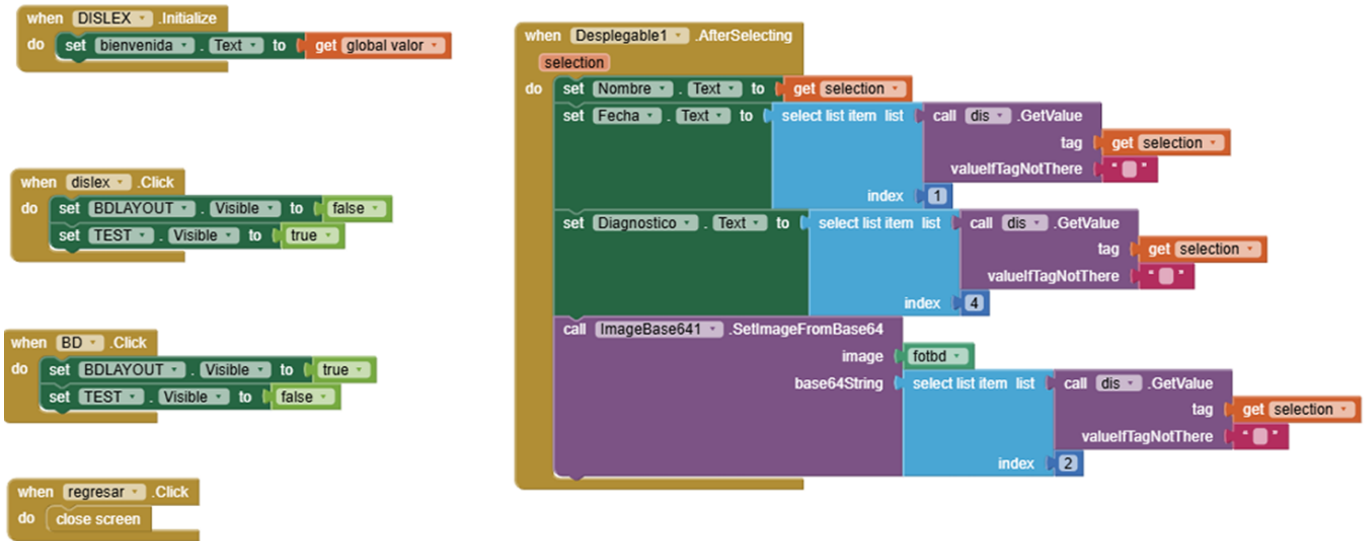

Figura 7: Código de bloques en App Inventor para manejar eventos y acciones

La aplicación sigue una serie de acciones para facilitar su uso e interacción. Al iniciarse, establece los valores iniciales necesarios para su funcionamiento. Cuando el usuario selecciona la opción “DISLEX” o “EQ”, la interfaz muestra secciones adicionales con información relevante para continuar con el proceso. Si el usuario elige “Regress”, la pantalla actual se cierra, permitiendo regresar a la vista anterior.

Además, la aplicación permite seleccionar opciones en un menú desplegable, asignando automáticamente la elección realizada a un sistema de monitoreo. También procesa imágenes, convirtiéndolas a un formato especial (Base64) para su almacenamiento y uso dentro de la aplicación. Todo esto garantiza que la información se gestione correctamente y que el usuario pueda interactuar de manera fluida con la herramienta.

2.4. Descripción del contenido: inicialización de variables globales en App Inventor

El siguiente contenido muestra la inicialización de diversas variables globales en App Inventor, las cuales son esenciales para el almacenamiento y gestión de datos dentro de la aplicación. Estas variables permiten guardar listas vacías y valores iniciales que serán utilizados en la lógica de funcionamiento del sistema.

Entre las variables definidas se incluyen identificadores, nombres, rutas, diagnósticos y otros datos clave para el correcto desempeño de la aplicación. Su correcta inicialización garantiza una adecuada manipulación de la información y optimiza el procesamiento de datos durante la ejecución del programa.

La Figura 8 muestra la definición de las variables y los tipos de datos asignados a cada una, permitiendo una estructura clara y organizada dentro de la aplicación.



Figura 8: Lógica de guardado de datos en App Inventor

En el desarrollo de la herramienta, se incorporan componentes clave que garantizan su funcionamiento óptimo, aunque no sean visibles para el usuario. Uno de estos es el sistema de seguridad, que se encarga de la autenticación de los usuarios, asegurando que solo las aplicaciones legítimas puedan acceder a la plataforma.

Otro elemento fundamental es el procesamiento de imágenes, que permite analizar los dibujos infantiles extrayendo información relevante para su interpretación. Además, la herramienta cuenta con servicios de comunicación multimedia, los cuales gestionan el intercambio de datos entre la aplicación y el servidor, asegurando una transmisión eficiente y estable. Estos componentes trabajan en segundo plano para garantizar un rendimiento fluido y confiable del sistema. A continuación, se especifica como:

El sistema de seguridad implementado en esta aplicación se basa en el uso de autenticación mediante Bearer Token en la cabecera de las solicitudes HTTP. Para ello, se utiliza el componente Web1 de App Inventor, que envía peticiones HTTP aseguradas con un encabezado de autorización. Este mecanismo garantiza que solo los clientes autenticados puedan interactuar con el servidor Flask, protegiendo el acceso a los recursos y datos sensibles.

A través de una aplicación móvil desarrollada en MIT App Inventor, se capturan imágenes de dibujos infantiles, que luego se envían a un servidor Flask alojado en una Raspberry Pi mediante comunicación HTTP, optimizando la transferencia con el formato Base64.

Este proyecto está estrechamente vinculado con los sistemas de comunicaciones multimedia, ya que integra diversas tecnologías para la captura, procesamiento y transmisión de datos en un entorno digital. El análisis de estas imágenes se realiza utilizando el modelo de color HSV en conjunto con una API de ChatGPT, lo que permite identificar patrones emocionales en los dibujos. Además, el sistema almacena los datos en TinyDB, facilitando el acceso rápido y eficiente a la información procesada.

2.5. Arquitectura del sistema

La arquitectura presentada en la Figura 9, representa el flujo de trabajo y los componentes clave involucrados en el análisis de los dibujos realizados por niños, utilizando tecnologías como Flask, procesamiento con Raspberry Pi y modelos de IA.

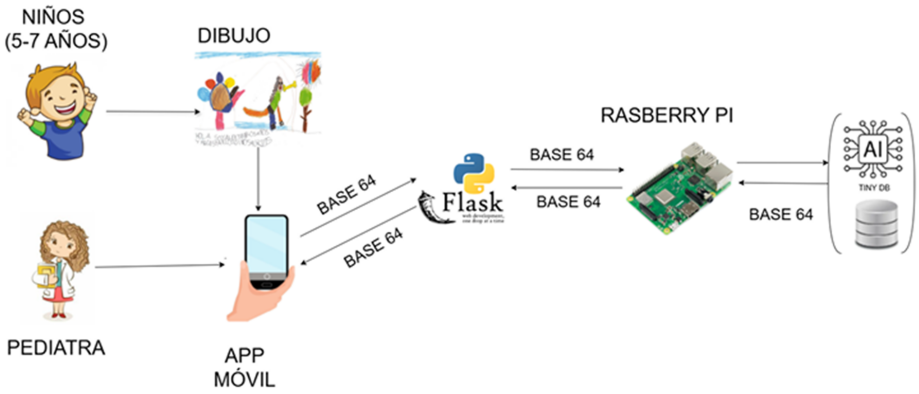

Figura 9: Arquitectura de la herramienta

Niños (5-7 años): Los niños son el núcleo del sistema, ya que su bienestar emocional es el objetivo principal. En este contexto, se considera que los niños de 5 a 7 años aún no poseen la capacidad completa para expresar verbalmente sus emociones, pero pueden reflejarlas a través de actividades creativas como el dibujo. Sus dibujos se convierten en el principal medio de análisis para detectar patrones emocionales que ayuden a comprender mejor su estado psicológico.

Dibujo: El dibujo creado por el niño en papel representa visualmente su estado emocional. Este dibujo será el objeto de análisis en el sistema. Los colores, formas y estilos utilizados contienen información que puede ser interpretada para identificar emociones subyacentes. En el flujo del sistema, el dibujo es capturado por la aplicación móvil y transformado en un formato digital para su procesamiento.

Aplicación Móvil: La aplicación móvil actúa como un puente entre los usuarios, niños y terapeutas, y los

procesos tecnológicos. Cumple varias funciones clave:

- **Captura de imagen:** Utiliza la cámara del dispositivo móvil para digitalizar el dibujo con una resolución predefinida, por ejemplo, 300x400 píxeles.
- **Conversión a Base64:** La imagen capturada se convierte a este formato para facilitar su envío al servidor Flask.
- **Comunicación con el servidor:** Envía la imagen al servidor mediante solicitudes HTTP y, posteriormente, recibe los resultados del análisis para mostrarlos al terapeuta o pediatra.

El Pediatra/Terapeuta: Pediatra o terapeuta utiliza los resultados generados por el sistema para complementar su análisis emocional del niño. La aplicación móvil presenta de forma accesible un diagnóstico preliminar basado en el análisis de los colores del dibujo, lo que permite al profesional tomar decisiones informadas de manera más eficiente.

Servidor Flask (Raspberry Pi). La Raspberry Pi actúa como el servidor central del sistema, donde se procesan los datos enviados por la aplicación móvil. El servidor Flask alojado en la Raspberry Pi tiene varias responsabilidades:

- **Recepción de la imagen:** Recibe las imágenes en formato Base64 enviadas desde la aplicación móvil.
- **Decodificación y reconstrucción:** Decodifica la imagen Base64 y la transforma en un archivo de imagen utilizable.
- **Procesamiento con HSV:** Analiza los colores de la imagen utilizando el modelo HSV para identificar patrones emocionales.
- **Integración con la IA:** Envía los datos al modelo de IA, que genera un diagnóstico emocional preliminar.
- **IA:** Se encarga del análisis avanzado de los datos procesados por el servidor Flask. Este modelo utiliza los colores del dibujo para identificar emociones específicas asociadas con los patrones detectados. Los resultados del análisis son devueltos al servidor Flask, listos para ser almacenados y enviados a la aplicación móvil.

Base de Datos (TinyDB). La base de datos TinyDB funciona como un sistema de almacenamiento ligero para registrar información clave:

- **Imágenes:** Almacena los dibujos enviados por los niños.
- **Diagnósticos:** Registra los resultados generados por la IA, permitiendo mantener un historial accesible.

Este almacenamiento garantiza que los datos estén disponibles para futuras consultas, tanto para seguimiento como para estudios adicionales.

2.6. Implementación tecnología

Implementación Tecnológica. El sistema desarrollado integra diversas tecnologías para la captura, procesamiento y análisis de dibujos infantiles, con el objetivo de identificar patrones emocionales basados en el color. Su arquitectura se compone de una aplicación móvil, un servidor de procesamiento basado en Flask y una base de datos en TinyDB, optimizando la comunicación mediante la conversión de datos en Base64.

Aplicación Móvil (MIT App Inventor). La aplicación móvil fue desarrollada utilizando MIT App Inventor, una plataforma que permite crear aplicaciones para dispositivos Android de manera sencilla mediante programación por bloques [15].

La interfaz de la aplicación incluye pantallas para el inicio de sesión y registro de usuarios, captura de imágenes de los dibujos infantiles y una sección para almacenar y consultar análisis previos. Los usuarios pueden tomar fotografías de los dibujos, que se almacenan localmente y se envían al servidor mediante solicitudes HTTP POST [16].

Aunque la aplicación no permite la edición de imágenes antes de su procesamiento, los resultados pueden consultarse posteriormente en la base de datos de la aplicación. En caso de fallos en la conexión con el servidor, se muestran mensajes de error, aunque no existe un sistema robusto de notificación para el usuario [17].

Servidor Flask en Raspberry Pi. El servidor está implementado en Flask, un microframework de Python que facilita la creación de aplicaciones web ligeras, y se aloja en una Raspberry Pi 3, una computadora de placa única de bajo costo y tamaño reducido [17].

El servidor recibe las imágenes enviadas por la aplicación móvil en formato Base64 y extrae los colores predominantes utilizando el modelo de color HSV, que descompone la imagen en matiz, saturación y brillo para identificar los colores presentes. En lugar de enviar las imágenes a la API de ChatGPT, se genera un prompt con los valores de color detectados, el porcentaje de presencia de cada uno y otros parámetros extraídos del análisis. Este prompt se envía a la API, que devuelve una interpretación emocional basada en la teoría del color [18].

El servidor no cuenta con un mecanismo para manejar múltiples solicitudes simultáneamente, lo que puede generar retrasos si se procesan varias imágenes al mismo tiempo. Sin embargo, incluye medidas de seguridad mediante autenticación con tokens, asegurando que solo dispositivos autorizados puedan realizar solicitudes [19]. Además, registra errores y actividades en archivos de logs, identificando respuestas correctas (200 OK) y posibles fallos (404 Not Found, entre otros).

Base de Datos (TinyDB). El sistema utiliza TinyDB, una base de datos NoSQL orientada a documentos que se almacena en un solo archivo de JSON, para el almacenamiento local de los análisis realizados [19]. Se registran datos como la fecha y hora del análisis, el usuario registrado en la aplicación, el identificador del paciente (apodo) y la interpretación emocional generada por la API de ChatGPT. Desde la aplicación, los usuarios pueden consultar análisis previos, lo que permite hacer un seguimiento del historial emocional basado en los dibujos analizados.

Consideraciones éticas y validación con expertos. Dado que el estudio se orienta a la valoración emocional infantil, la recolección y uso de dibujos de menores se realizó bajo criterios de protección y confidencialidad. Se obtuvo consentimiento informado de padres/tutores y asentimiento de los participantes, garantizando que la participación fue voluntaria y sin repercusiones. Los datos fueron seudonimizados, evitando el registro de nombres u otros identificadores directos; cada muestra se codificó mediante un identificador y se aplicaron controles de acceso y cifrado en reposo para el almacenamiento. La herramienta se presenta como apoyo a la valoración y no reemplaza el juicio clínico. Para la validación, las interpretaciones de referencia fueron realizadas por especialistas en psicología infantil/terapia, empleando una guía común de criterios; se cuantificó la consistencia mediante acuerdo interevaluador y las discrepancias se resolvieron por consenso. Este procedimiento fortalece la confiabilidad de las etiquetas y permite evaluar la estabilidad del sistema en condiciones controladas.

Uso de material de referencia y fuente de datos. Para la validación técnica preliminar del flujo captura–procesamiento –interpretación se utilizaron ejemplos de dibujos disponibles públicamente en ConMisHijos.com como material de referencia. En el manuscrito se aplicó anonimización, por ejemplo, “Niño 1...Niño n”, y no se incluye información identificable. Dado que la disponibilidad pública no necesariamente implica una licencia de reutilización editorial, el artículo emplea estos ejemplos únicamente con fines demostrativos y prioriza la presentación de métricas derivadas, porcentajes de predominancia cromática y variables HSV, en lugar de redistribuir el contenido original. En caso de que la política editorial requiera autorización explícita para la reproducción de imágenes de terceros, estas serán sustituidas por un conjunto de muestras con permisos formales, recolección propia con consentimiento o material con licencia abierta, manteniendo inalterado el procedimiento técnico del análisis.

3. Resultados

Para evaluar la efectividad del sistema, se realizaron pruebas utilizando dibujos infantiles obtenidos de fuentes públicas. Se compararon los resultados del análisis cromático con metodologías tradicionales basadas en la observación de especialistas. En estos métodos convencionales, la interpretación de los dibujos depende de la experiencia del terapeuta, mientras que el sistema propuesto ofrece un análisis sistemático, minimizando sesgos humanos.

3.1. Pruebas del sistema

Para evaluar la efectividad del sistema, se realizaron pruebas utilizando dibujos infantiles obtenidos de fuentes públicas, específicamente de la colección de ilustraciones disponibles en ConMisHijos.com. Se seleccionaron cinco dibujos creados por niños de entre 5 y 7 años, asegurando una variedad en el uso de colores y estilos para evaluar la precisión del análisis cromático y la interpretación emocional generada.

En las Figuras 10 hasta la Figura 12 se indican los dibujos que fueron analizados mediante la herramienta, en los cuales se detalla el participante. Los dibujos utilizados en las pruebas se muestran a continuación.



Figura 10: Dibujo de una mariposa, realizado por el participante A



Figura 11: Dibujo de un arcoíris con flores, realizado por el participante B



Figura 12: Dibujo de dos personajes, realizado por el participante C

Como se muestra en la Tabla 1, los colores predominantes en los dibujos infantiles presentan una correlación directa con las emociones identificadas por el sistema. El dibujo de María Salas, por ejemplo, muestra una predominancia de tonos cálidos, rojo y amarillo, lo que se asocia con entusiasmo y energía. Por otro lado, el dibujo de Jan Estrada, que contiene tonos azules y verdes, refleja seguridad emocional y equilibrio.

Tabla 1: Colores detectados e interpretaciones emocionales

Dibujo	Edad del niño	Colores detectados	Interpretación emocional	Observaciones
Mariposas	7 años	Rojo, amarillo, rosa, negro	Energía, entusiasmo, optimismo	Matiz de calma
Arcoíris	5 años	Azul, verde, amarillo, morado	Seguridad emocional	Buena distribución de colores
Personajes	6 años	Rojo, amarillo, verde	Dinamismo y tranquilidad	Predominio de tonos cálidos

Captura y Procesamiento de Imágenes. El sistema permitió capturar, procesar y analizar dibujos infantiles mediante la aplicación móvil y el servidor Flask. Los colores predominantes se identificaron mediante el modelo HSV, y la interpretación emocional se generó a través de la API de ChatGPT previamente descritos. Los resultados mostraron coherencia con la teoría del color, aunque ciertas variaciones se observaron debido a las condiciones de iluminación durante la captura.

Evaluación de los Resultados Obtenidos. Después del procesamiento de los dibujos, el sistema generó diagnósticos emocionales en función de los colores predominantes. A continuación, se presentan las capturas del sistema mostrando los análisis obtenidos.

Para cada uno de los dibujos analizados, el sistema generó interpretaciones emocionales coherentes con la teoría del color. A continuación, se presentan algunos ejemplos.

En la Figura 13, se pueden apreciar los siguientes resultados obtenidos mediante la herramienta desarrollada:

- Colores detectados: rojo, amarillo, rosa, negro.
- Interpretación emocional: representa energía, entusiasmo y optimismo con un matiz de calma debido a la presencia de tonos suaves.

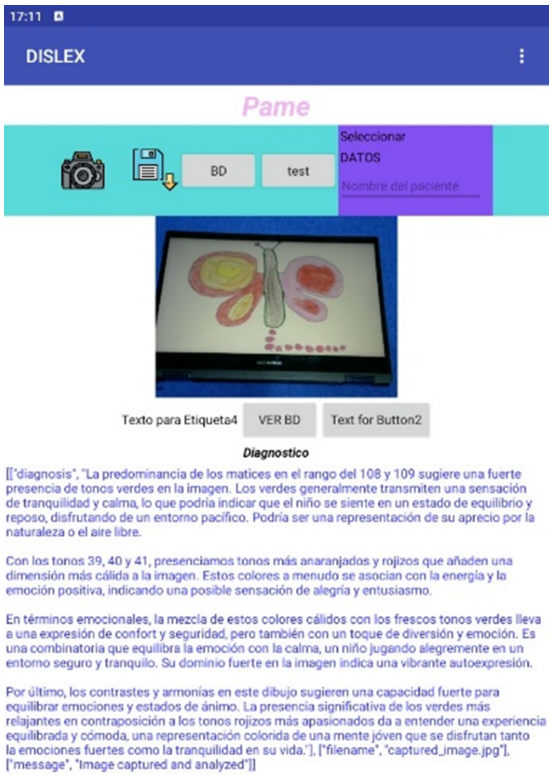

Figura 13: Interpretación emocional del dibujo de participante A (Mariposa)

En la Figura 14, se aprecian los resultados obtenidos mediante la herramienta desarrollada:

- Colores detectados: azul, verde, amarillo, naranja, morado.
- Interpretación emocional: asociada a la alegría y la seguridad emocional, reflejando optimismo y una sensación de equilibrio.



Figura 14: Interpretación emocional del dibujo de participante B (Arcoíris con flores)

En la Figura 15, se observan los resultados obtenidos mediante la herramienta desarrollada:

- Colores detectados: rojo, amarillo, verde.
- Interpretación emocional: el uso del rojo y amarillo indica dinamismo y actividad, mientras que el verde sugiere tranquilidad y estabilidad.



Figura 15: Interpretación emocional de participante C (Personajes)

Análisis del Desempeño del Sistema. Para evaluar el rendimiento del sistema, se midieron los siguientes parámetros:

- **Precisión en la detección de colores:** se compararon los colores detectados automáticamente con los observados en cada imagen. En general, la detección fue precisa, aunque en algunos casos la iluminación afectó la percepción de ciertos tonos.
- **Tiempo de procesamiento:** el sistema tardó entre 7 y 10 segundos en generar una interpretación desde la captura de la imagen hasta la respuesta de la API.
- **Coherencia en la interpretación:** se observó que la API generaba respuestas consistentes en la mayoría de los casos, aunque en algunas pruebas el análisis fue más genérico de lo esperado.

Como se muestra en la Tabla 2, el sistema automatizado ofrece ventajas significativas sobre el análisis manual tradicional, particularmente en términos de tiempo de análisis y reducción de subjetividad. Esto permite a los terapeutas obtener resultados más rápidos y objetivos, mejorando la eficiencia del proceso.

Tabla 2: Comparación entre el análisis tradicional y el sistema automatizado

Aspecto	**Método Tradicional**	**Sistema Automatizado**
Tiempo de análisis	Variable, hasta 30 min	7–10 segundos
Subjetividad	Alta, depende del evaluador	Baja, basado en teoría del color
Precisión en colores	Depende de la percepción	Basado en modelo HSV
Accesibilidad	Limitada a sesiones presenciales	Disponible en dispositivos móviles

3.1.1. Limitaciones identificadas

Durante las pruebas realizadas, se identificaron diversas limitaciones que pueden afectar el rendimiento y la aplicabilidad del sistema en diferentes entornos.

Dependencia de la iluminación. La precisión del análisis cromático se ve afectada por variaciones en las condiciones de captura, iluminancia, sombras, reflejos y balance de blancos, ya que modifican principalmente el componente V (*Value*) y, en escenarios de baja luz o saturación no lineal, también distorsionan H (*Hue*) y S (*Saturation*), alterando la estimación de porcentajes de predominancia de color. Para mitigar este efecto, se plantea incorporar una etapa de normalización fotométrica previa a la conversión HSV, combinando: (i) corrección de balance de blancos, (ii) corrección gamma o técnicas tipo Retinex para compensación de iluminación no uniforme y (iii) ajuste controlado del rango dinámico para estabilizar V. Adicionalmente, se recomienda estandarizar el proceso de captura mediante una guía visual y condiciones de iluminación difusa, junto con la segmentación del área del papel para reducir la contaminación del fondo. Como control de calidad, puede añadirse una verificación automática de captura, umbral mínimo de iluminancia, detección de desenfoque mediante varianza del Laplaciano y advertencias por sobreexposición, de manera que el sistema solicite una nueva imagen cuando la calidad no sea suficiente. En trabajo futuro, estas mejoras se evaluarán bajo un protocolo controlado variando niveles de luz y temperatura de color, cuantificando la estabilidad de las métricas cromáticas y el impacto en la consistencia de las interpretaciones generadas.

Conexión a internet. La dependencia de la API de ChatGPT para la interpretación emocional implica la necesidad de una conexión a internet estable. En entornos rurales o con acceso limitado a la red, el sistema podría no ser funcional. Una posible solución sería el desarrollo de un modelo local de inferencia que permita procesar los datos sin conexión.

Capacidad de procesamiento. Al utilizar una Raspberry Pi como servidor, se observó que el tiempo de respuesta puede variar dependiendo de la cantidad de solicitudes simultáneas. En pruebas con múltiples usuarios enviando imágenes al mismo tiempo, se detectaron tiempos de procesamiento superiores a 15 segundos, lo que puede afectar la experiencia del usuario. Se sugiere optimizar la gestión de recursos, implementar procesamiento en paralelo y evaluar el uso de hardware más potente en futuras versiones.

3.2. Evaluación del aprendizaje y aplicabilidad

Para realizar un análisis comparativo es necesario comprender el proceso de cómo se realiza la apreciación de una imagen desde un método tradicional [20].

Según [7], los métodos tradicionales de análisis de dibujos infantiles requieren la observación detallada por parte de un especialista, lo que puede generar variaciones en los diagnósticos dependiendo de la experiencia y percepción del evaluador [2]. En contraste, el uso de IA para el procesamiento de imágenes permite una evaluación sistemática y libre de sesgos humanos, asegurando mayor precisión en la identificación de patrones emocionales [4].

El sistema desarrollado permite a terapeutas y cuidadores obtener un análisis preliminar del estado emocional del niño de manera rápida y eficiente [4]. Al automatizar el análisis de los dibujos, se reduce la carga de trabajo y se optimiza el tiempo de consulta, permitiendo un enfoque más detallado en el tratamiento individual de cada niño. Además, su accesibilidad en dispositivos móviles amplía su uso a contextos educativos y familiares, favoreciendo la detección temprana de posibles problemas emocionales [5]. Es importante destacar que el análisis proporcionado por el prototipo sirve como una herramienta de apoyo para el terapeuta infantil, pero no representa un diagnóstico definitivo [3].

El análisis de dibujos infantiles ha sido históricamente realizado de forma manual por terapeutas y psicólogos, quienes interpretan los colores y trazos basándose en la observación y conocimientos de la teoría del color y el

desarrollo emocional [21]. Este enfoque, aunque válido, presenta limitaciones que se organizan en la Figura 16.

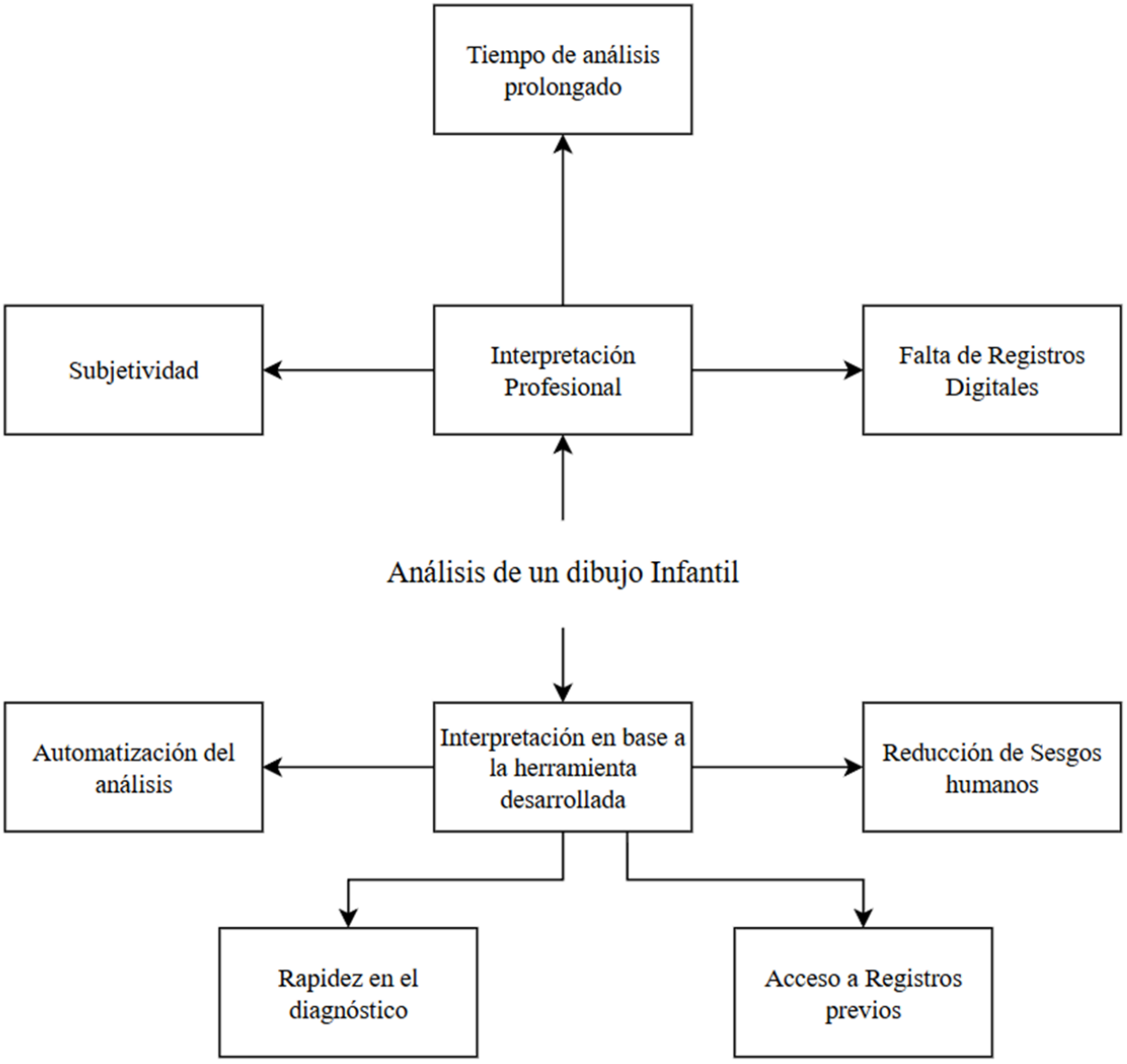

Figura 16: Limitaciones y ventajas de realizar el análisis del dibujo infantil, mediante interpretación profesional y con la herramienta desarrollada respectivamente

También en base al prototipo implementado se pueden evidenciar algunos parámetros que se evalúan durante el procesamiento de la imagen y los resultados que se desean esperar:

- **Alta precisión en la detección de colores.** El sistema logró detectar con exactitud los colores en la mayoría de los casos. Sin embargo, se observaron errores menores en imágenes con iluminación deficiente.
- **Tiempo de respuesta óptimo.** El procesamiento de cada imagen tomó un promedio de 3 segundos, garantizando una interacción fluida. En contraste, la generación del análisis o posible diagnóstico puede tardar hasta 10 segundos, dependiendo del tipo de evaluación realizada a partir de los colores presentes en el dibujo.

De manera similar, la aplicabilidad de nuestra herramienta se fundamenta en el análisis automatizado de

los colores presentes en los dibujos infantiles. A través de la extracción y evaluación de estos colores con base en la teoría del color, el sistema reduce la subjetividad del análisis tradicional y ofrece una interpretación más rápida y objetiva.

A continuación, se presentan los distintos ámbitos en los que la herramienta puede ser aplicada.

- **Terapias infantiles.** Apoyo a psicólogos en la detección de emociones sin necesidad de interrogatorios directos.
- **Escuelas.** Los orientadores pueden monitorear cambios en el estado emocional de los niños a lo largo del tiempo.
- **Investigaciones.** Psicólogos pueden recopilar datos de manera más estructurada para analizar tendencias en la expresión emocional infantil.

También es importante mencionar que el proyecto presenta ciertas limitaciones, las cuales pueden ser mejoradas según las necesidades. No obstante, es fundamental tener en cuenta estos aspectos. A continuación, se detallan las principales limitaciones:

- **Dependencia de la API de ChatGPT para la interpretación.** Esto implica que la herramienta requiere una conexión a internet para acceder al servicio de IA. En caso de fallas en la conexión o indisponibilidad de la API, la interpretación no podría realizarse, lo que limita la autonomía del sistema.
- **Variaciones en la interpretación de colores debido a la iluminación de la imagen capturada.** Esto implica que la herramienta requiere una conexión a internet para acceder al servicio de IA. En caso de fallas en la conexión o indisponibilidad de la API, la interpretación no podría realizarse, lo que limita la autonomía del sistema.
- **Necesidad de más datos para mejorar la precisión en la evaluación.** Para mejorar la precisión del análisis, sería necesario recopilar un mayor número de ejemplos de dibujos infantiles con interpretaciones validadas por especialistas en psicología infantil. Esto permitiría afinar los criterios de evaluación y reducir posibles sesgos en los resultados.
- **Rendimiento bajo concurrencia.** En escenarios con solicitudes simultáneas, la Raspberry Pi puede introducir latencias elevadas (> 15 s) por limitaciones de cómputo y ejecución secuencial del pipeline. Como mejora, se propone ejecutar el backend en modo producción con múltiples workers y desacoplar el procesamiento mediante colas y workers dedicados, arquitectura producer–consumer, además de optimizar el preprocesamiento, reducción de resolución y caché. Esto incrementa el throughput y estabiliza la latencia bajo carga.
- **Dependencia de servicios externos.** El uso de una API externa para inferencia limita el sistema por conectividad, latencia y disponibilidad del proveedor. Como mejora, se propone un módulo local de inferencia, offline/fallback: (i) reglas + plantillas explicables de bajo costo, o (ii) un clasificador ligero cuantizado, TFLite/ONNX, basado en histogramas HSV, condicionado a contar con un dataset validado por especialistas. Los retos clave son la curación/etiquetado, la robustez ante iluminación y el equilibrio precisión–cómputo en el borde.
- **Base de datos y validación.** Se requiere ampliar el repositorio de dibujos con interpretaciones validadas por especialistas para mejorar la generalización. Se propone un protocolo de recolección con seudonimización, criterios de inclusión/exclusión y doble evaluación por psicólogos infantiles; el acuerdo interevaluador se cuantificará, Cohen's κ/Krippendorff's α, y discrepancias se resolverán por consenso. Esto permitirá calibrar umbrales, evaluar robustez y habilitar futuros modelos locales.
- **UX móvil.** Se propone añadir edición previa, recorte/rotación/ROI, y validación automática de calidad, desenfoque, baja luz, encuadre del papel, para reducir errores en la extracción cromática. Asimismo, se plantea un sistema de notificaciones robusto, mensajes guiados, códigos de error, y reintentos/cola local ante fallos de conectividad.

4. Conclusiones

El desarrollo de esta herramienta basada en IA ha demostrado su utilidad como apoyo en la identificación de emociones infantiles a través del análisis de colores en dibujos. La integración de una aplicación móvil con un servidor Flask en una Raspberry Pi ha permitido capturar, procesar y analizar imágenes de manera eficiente. En comparación con los métodos tradicionales, la herramienta reduce la subjetividad, agiliza el análisis y permite almacenar registros digitales. Sin embargo, presenta limitaciones como la dependencia de la API de ChatGPT, posibles variaciones en la detección de colores por iluminación y la necesidad de ampliar la base de datos para mejorar la precisión del análisis. Para optimizar el sistema, se recomienda mejorar la captura de imágenes, reducir la dependencia de servicios externos y expandir la base de datos con validaciones de expertos. A pesar de estas áreas de mejora, la herramienta representa un avance significativo en la evaluación emocional infantil, ofreciendo una alternativa innovadora y accesible para profesionales del ámbito educativo y psicológico. El uso de TinyDB permitió almacenar datos localmente, asegurando un acceso rápido a los análisis previos, y la implementación de autenticación con tokens garantizó la seguridad en la comunicación entre la aplicación y el servidor. Finalmente, la API de ChatGPT proporcionó interpretaciones basadas en la teoría del color, permitiendo generar un análisis emocional automatizado.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de contribución de autores — CRediT

Conceptualización: P.C.-C., P.I.-C. y F.C.-R.

Metodología: P.C.-C., B.V.-V., D.M.-Q. y F.C.-R.

Software: P.C.-C., P.I.-C., B.V.-V. y D.M.-Q.

Validación: P.C.-C., P.I.-C., B.V.-V. y D.M.-Q.

Análisis formal: P.C.-C., B.V.-V. y F.C.-R.

Investigación: P.C.-C., P.I.-C., B.V.-V. y D.M.-Q.

Recursos: P.C.-C., P.I.-C., B.V.-V. y D.M.-Q.

Curación de datos: P.C.-C., P.I.-C. y B.V.-V.

Redacción — preparación del borrador original: P.C.-C., P.I.-C., B.V.-V. y D.M.-Q.

Redacción — revisión y edición: F.C.-R. y P.C.-C.

Visualización: P.I.-C., B.V.-V. y D.M.-Q.

Supervisión: F.C.-R.

Administración del proyecto: F.C.-R.

Todos los autores han leído y aprobado la versión final del manuscrito.

Financiación

No aplica.

Reseñas de autores

Pablo Cevallos-Cadena

Está vinculado académicamente con la Universidad Técnica del Norte (UTN), Ecuador, en el área de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Sus intereses académicos y de investigación se orientan hacia los sistemas de comunicación multimedia, procesamiento digital de imágenes, inteligencia artificial y desarrollo

de soluciones tecnológicas aplicadas. Ha participado en investigaciones relacionadas con el análisis automatizado de imágenes mediante técnicas de procesamiento cromático e inteligencia artificial.

Correo: pacevallosc@utn.edu.ec

ORCID: 0009-0009-1601-139X

Soraya Pamela Imbaquingo-Carlosama

Ingeniera en Telecomunicaciones por la Universidad Técnica del Norte (UTN), Ecuador. Sus intereses se relacionan con Internet de las Cosas, sistemas de monitoreo, sensores, comunicaciones multimedia e inteligencia artificial aplicada. Ha desarrollado trabajos relacionados con sistemas IoT para la adquisición y monitoreo de variables ambientales.

Correo: spimbaquingoc@utn.edu.ec

ORCID: 0009-0003-6835-7698

Becker Velalcazar-Villota

Está vinculado académicamente con la Universidad Técnica del Norte (UTN), Ecuador, en Telecomunicaciones y TIC. Sus intereses comprenden desarrollo de aplicaciones tecnológicas, comunicaciones multimedia, procesamiento digital de imágenes, sistemas embebidos e inteligencia artificial aplicada.

Correo: bjvelalcazarv@utn.edu.ec

ORCID: 0009-0008-4212-1325

Dennis Morales-Quespaz

Está vinculado académicamente con la Universidad Técnica del Norte (UTN), Ecuador, en el área de Telecomunicaciones. Sus intereses se relacionan con sistemas de comunicaciones multimedia, desarrollo de aplicaciones, procesamiento digital de información, sistemas embebidos, arquitecturas cliente-servidor e inteligencia artificial aplicada.

Correo: dlmoralesq@utn.edu.ec

ORCID: 0009-0004-2654-0096

Fabián Geovanny Cuzme-Rodríguez

Ingeniero en Sistemas Informáticos por la Universidad Técnica de Manabí y Magíster en Redes de Comunicación por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Actualmente es profesor-investigador de la Carrera de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte y cursa estudios de Doctorado en Ingeniería de Telecomunicación en la Universidad de Málaga, España. Sus líneas de investigación incluyen seguridad en redes, IoT, redes de sensores, criptografía eficiente, blockchain, arquitecturas Tangle y comunicaciones subacuáticas.

Correo: fgcuzme@utn.edu.ec

ORCID: 0000-0002-2805-0240

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial

Sí se utilizó inteligencia artificial como apoyo técnico o complementario.

Finalidad declarada: corrección gramatical, sintáctica o estilística.

Herramienta empleada: ChatGPT.

Referencias

[1] M. Olhaberry and C. Sieverson, "Desarrollo socio-emocional temprano y regulación emocional," *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 33, no. 4, pp. 358–366, 2022, https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2022.06.002.

[2] T. He, C. Li, J. Wang, M. Wang, Z. Wang, and C. Jiao, "An emotion analysis in learning environment based on theme-specified drawing by convolutional neural network," *Frontiers in Public Health*, vol. 10, p. 958870, 2022, https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.958870.

[3] M. Lee, Y. Kim, and Y. K. Kim, "Generating psychological analysis tables for children's drawings using deep learning," *Data & Knowledge Engineering*, vol. 149, p. 102266, Jan. 2024, https://doi.org/10.1016/j.datak.2023.102266.

[4] M. Farokhi and M. Hashemi, "The analysis of children's drawings: Social, emotional, physical, and psychological aspects," in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Elsevier, Jan. 2011, pp. 2219–2224, https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.10.433.

[5] S. Smith, "Estimating predictors of mental well-being through analysis of children's drawings: The case of syrian refugees," 2020, accessed: Jan. 31, 2026. [Online]. Available: https://repository.usfca.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2372&context=thes

[6] A. Maribel *et al.*, "Sinergia entre educación emocional e inteligencia artificial: Hacia un aprendizaje integral y personalizado en el siglo xxi," *Revista Social Fronteriza*, vol. 4, no. 4, pp. 1–27, 2024, https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4(4)e384.

[7] S. Baird, R. Panlillo, J. Seager, S. Smith, and B. Wydick, "Identifying psychological trauma among syrian refugee children for early intervention: Analyzing digitized drawings using machine learning," *Journal of Development Economics*, vol. 156, p. 102822, 2022, https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2022.102822.

[8] L. Alonso Porras, "El dibujo infantil como medio de detección de necesidades educativas especiales," 2023.

[9] D. C. Triguero, "El dibujo infantil como medio de detección de necesidades educativas especiales," 2018.

[10] J. C. Cedeño-Espinel and F. R. Miranda-Pichucho, "Reflexiones sobre la importancia de una gobernanza institucional en el cumplimiento del ODS 3 bienestar y salud (agenda 2030)," *593 Digital Publisher CEIT*, vol. 9, no. 6, pp. 451–468, 2024, https://doi.org/10.33386/593dp.2024.6.2767.

[11] Naciones Unidas/CEPAL, *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales*, 2019, accessed: Jan. 31, 2026. [Online]. Available: https://www.cepal.org/es/publicaciones/40155-la-agenda-2030-objetivos-desarrollo-sostenible-oportunidad-america-latina-caribe

[12] C. Sáez Fernández and D. Pérez Marín, "Propuesta de evaluación del impacto emocional de la programación en educación infantil," *IE Comunicaciones: Revista Iberoamericana de Informática Educativa*, no. 37, pp. 23–32, 2023, accessed: Jan. 31, 2026. [Online]. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9001943&info=resumen&idioma=ENG

[13] R. Assar, P. Barros, and J. P. Jiménez, "Análisis psicométrico de la versión española de la escala de bienestar psicológico de ryff en estudiantes universitarios chilenos," *Revista CES Psicología*, vol. 17, no. 1, pp. 147–159, Mar. 2024, https://doi.org/10.21615/CESP.7061.

[14] G. Lorenzo Lledó, A. Lorenzo-Lledó, and Á. Rodríguez-Quevedo, "Análisis mediante inteligencia artificial de las emociones del alumnado autista en la interacción social con el robot NAO," *Revista de Educación a Distancia (RED)*, vol. 24, no. 78, pp. 30–2024, May 2024, https://doi.org/10.6018/RED.588091.

[15] Community MIT App Inventor, "How do i use tinydb?" [Online]. Available: https://community.appinventor.mit.edu/t/how-do-i-use-tinydb/51422

[16] C. Poynton, *Digital Video and HD: Algorithms and Interfaces*. Elsevier, 2012, https://doi.org/10.1016/C2010-0-68987-5.

[17] M. Grinberg, *Flask Web Development: Developing Web Applications with Python*. O'Reilly Media, 2014.

[18] D. Wolber, H. Abelson, E. Spertus, and L. Looney, *App Inventor 2: Create Your Own Android Apps*. O'Reilly Media, 2014.

[19] MIT App Inventor, "Tinydb - app inventor for android," 2025. [Online]. Available: http://ai2.appinventor.mit.edu/reference/components/storage.html#TinyDB

[20] H. Derinoğlu and K. Lacinbay, "Artificial intelligence supported analysis of children's pictures: Preschool period applications," *İçtimaiyat*, vol. 7, no. 31, pp. 213–225, 2024, https://doi.org/10.33709/ictimaiyat.1542579.

[21] W. Zhou and Y. Sun, "Children's emotion recognition based on convolutional neural network," in *ACM International Conference Proceeding Series*. Association for Computing Machinery, Sep. 2020, pp. 1–5, https://doi.org/10.1145/3425329.3425367.

IDEAS

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

Journal homepage: https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Arquitectura de microservicios en sistemas gubernamentales: un marco de referencia basado en patrones, antipatrones y gobernanza arquitectónica en Ecuador

Microservices architecture in government systems: A reference framework based on patterns, anti-patterns, and architectural governance in Ecuador

Fabián Lizardo Caicedo Goyes[a]

[a] Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Esmeraldas, Ecuador

Recibido: 2026-04-29, Aceptado: 2026-07-17, Publicado: 2026-07-31
Autor de correspondencia: fabiancaicedogoyes@hotmail.com.
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1380
Copyright: CC BY 4.0

PALABRAS CLAVES:

Microservicios;
Gobierno digital;
Arquitectura de software;
Antipatrones;
Sistemas distribuidos;
DevOps;

Transformación digital.

RESUMEN

Los sistemas de información gubernamentales están experimentando una transición progresiva desde arquitecturas monolíticas hacia enfoques basados en microservicios, impulsada por la necesidad de mejorar la escalabilidad, la resiliencia y la capacidad de despliegue continuo. No obstante, en contextos de economías emergentes como el de Ecuador, dicha transición se ve limitada por deficiencias en la gobernanza arquitectónica, la coexistencia con sistemas legados y la ausencia de estándares institucionales.

Este estudio propone un marco de referencia arquitectónico basado en microservicios para sistemas gubernamentales ecuatorianos, complementado con una taxonomía sistemática de patrones y antipatrones derivada de una revisión sistemática de literatura, análisis comparativo de arquitecturas distribuidas y modelado socio-técnico.

Se adopta una metodología mixta que integra: (i) revisión sistemática de literatura (SLR), (ii) descomposición arquitectónica de dominios gubernamentales, (iii) clasificación de patrones de diseño y (iv) evaluación de riesgos asociados a antipatrones en entornos distribuidos.

Los resultados muestran que, aunque la adopción de microservicios mejora significativamente la escalabilidad y la frecuencia de despliegue, también introduce una complejidad operacional considerable en ausencia de mecanismos robustos de gobernanza, observabilidad y gestión de datos distribuidos.

Como contribución principal, el estudio identifica que la gobernanza arquitectónica constituye el factor crítico para la sostenibilidad de arquitecturas de microservicios en el sector público, proponiendo lineamientos estructurados para su implementación en el contexto ecuatoriano.

KEYWORDS:

Microservices;
Digital government;
Software architecture;
Anti-patterns;
Distributed systems;
DevOps;

Digital transformation.

ABSTRACT

Government information systems are undergoing a progressive transition from monolithic architectures to microservices-based approaches, driven by the need to enhance scalability, resilience, and continuous delivery capabilities. However, in emerging economy contexts such as Ecuador, this transition is constrained by deficiencies in architectural governance, the coexistence of legacy systems, and the lack of institutional standardization.

This study proposes a microservices-based reference architecture for Ecuadorian

government systems, complemented by a systematic taxonomy of architectural patterns and anti-patterns derived from a systematic literature review, comparative analysis of distributed architectures, and socio-technical modeling.

A mixed-method approach is adopted, integrating: (i) systematic literature review (SLR), (ii) architectural decomposition of government domains, (iii) design pattern classification, and (iv) risk assessment of anti-patterns in distributed environments.

The results indicate that, while microservices significantly improve scalability and deployment frequency, they also introduce substantial operational complexity in the absence of robust mechanisms for governance, observability, and distributed data management.

As a primary contribution, this study identifies architectural governance as the critical factor for the sustainable adoption of microservices in the public sector, and proposes structured guidelines for its implementation in the Ecuadorian context.

Cómo citar

F. L. Caicedo Goyes, "Arquitectura de microservicios en sistemas gubernamentales: un marco de referencia basado en patrones, antipatrones y gobernanza arquitectónica en Ecuador," *Innovation & Development in Engineering and Applied Science*, vol. 8, no. 2, p. 8, 2026, https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1380

1. Introducción

La transformación digital del sector público impone requerimientos cada vez más exigentes en términos de escalabilidad, disponibilidad, resiliencia y capacidad de evolución continua de los sistemas de información gubernamentales. En este contexto, las arquitecturas monolíticas tradicionales, caracterizadas por un alto acoplamiento estructural y baja modularidad, han demostrado limitaciones significativas para adaptarse a entornos dinámicos, dificultando tanto el mantenimiento evolutivo como la integración interinstitucional y el despliegue ágil de servicios digitales.

Como respuesta a estas limitaciones, la arquitectura de microservicios ha emergido como un paradigma dominante en el diseño de sistemas distribuidos, proponiendo la descomposición de aplicaciones complejas en servicios autónomos, alineados con capacidades de negocio y desplegables de manera independiente. Este enfoque permite mejorar la escalabilidad horizontal, el aislamiento de fallos y la adopción de prácticas DevOps, facilitando ciclos de desarrollo y despliegue continuos.

Diversos países con altos niveles de madurez en gobierno digital, como Estonia y el Reino Unido, han adoptado arquitecturas basadas en microservicios como fundamento de sus plataformas digitales, logrando avances significativos en interoperabilidad, eficiencia operativa y provisión de servicios centrados en el ciudadano. No obstante, la evidencia internacional también señala que la adopción de microservicios introduce nuevos desafíos, particularmente relacionados con la complejidad inherente a los sistemas distribuidos, la gestión de la consistencia de datos, la observabilidad y la coordinación entre servicios.

En este contexto, la literatura especializada ha identificado tanto patrones arquitectónicos que favorecen la adopción exitosa de microservicios —como API Gateway, Event-Driven Architecture y CQRS— como antipatrones recurrentes que degradan su desempeño estructural. Entre estos últimos destacan el monolito distribuido, el uso de bases de datos compartidas y el acoplamiento excesivo entre servicios, los cuales han sido sistematizados en taxonomías como las propuestas por Taibi, Lenarduzzi & Pahl [1].

A pesar de estos avances, en países en desarrollo como Ecuador, la adopción de microservicios en el sector público permanece en una fase incipiente y fragmentada, caracterizada por implementaciones heterogéneas, ausencia de estándares comunes y limitada madurez en prácticas de gobernanza arquitectónica. Esta situación genera un escenario donde los beneficios potenciales de los microservicios no se materializan plenamente, y en muchos casos derivan en incrementos de complejidad y deuda técnica.

En consecuencia, se identifica un vacío crítico en la literatura y en la práctica institucional: la falta de un marco de referencia arquitectónico contextualizado, que integre patrones, antipatrones y mecanismos de gobernanza

adaptados a las particularidades del sector público ecuatoriano.

Frente a este problema, el presente estudio tiene como objetivo principal proponer una arquitectura de referencia basada en microservicios para sistemas gubernamentales en Ecuador, sustentada en un análisis sistemático de patrones y antipatrones, y complementada con lineamientos de gobernanza arquitectónica.

En este sentido, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- RQ1: ¿Qué patrones arquitectónicos son más adecuados para la implementación de microservicios en sistemas gubernamentales?
- RQ2: ¿Cuáles son los antipatrones más frecuentes en contextos de adopción incipiente como el ecuatoriano?
- RQ3: ¿Cómo puede un marco de gobernanza arquitectónica mitigar los riesgos asociados a la adopción de microservicios en el sector público?

La contribución de este trabajo radica en la integración de un enfoque arquitectónico y sociotécnico que permite no solo identificar buenas prácticas, sino también establecer un marco estructurado para la adopción sostenible de microservicios en sistemas gubernamentales.

- Arquitectura de referencia contextualizada para microservicios en sistemas gubernamentales, adaptada al sector público ecuatoriano.
- Taxonomía sistemática de patrones y antipatrones arquitectónicos basada en la literatura y el análisis sociotécnico.
- Modelo integrado de gobernanza arquitectónica que aborda los desafíos de interoperabilidad, observabilidad y estandarización.
- Análisis sistemático de las barreras a la adopción en contextos emergentes de gobierno digital.
- Marco estructurado que conecta la arquitectura técnica y la gobernanza institucional en sistemas distribuidos.

2. Marco teórico

2.1. Arquitectura de microservicios como paradigma de sistemas distribuidos

La arquitectura de microservicios constituye un paradigma emergente dentro de la ingeniería de software, orientado a la construcción de sistemas distribuidos mediante la descomposición de aplicaciones en servicios pequeños, autónomos y alineados con capacidades de negocio. A diferencia de las arquitecturas monolíticas, donde los componentes se encuentran fuertemente acoplados, los microservicios promueven el desacoplamiento estructural, la independencia de despliegue y la escalabilidad horizontal.

Desde una perspectiva teórica, los microservicios se fundamentan en principios de diseño tales como separación de responsabilidades, encapsulamiento de dominios y descentralización del control, los cuales se articulan con enfoques como Domain-Driven Design (DDD). Este paradigma permite modelar sistemas complejos a partir de bounded contexts, facilitando la alineación entre estructura organizacional y arquitectura de software.

Sin embargo, la naturaleza distribuida de los microservicios introduce desafíos inherentes asociados a la latencia de red, la tolerancia a fallos, la consistencia de datos y la coordinación entre servicios, lo que los ubica dentro del campo de estudio de los sistemas distribuidos complejos.

Tabla 1: Análisis comparativo entre arquitecturas monolíticas y de microservicios

Atributo	**Arquitectura monolítica**	**Arquitectura de microservicios**
Escalabilidad	Vertical	Horizontal
Despliegue	Global	Independiente
Ciclo de liberación	Largo	Corto
Aislamiento de fallos	Bajo	Alto
Acoplamiento	Alto	Bajo
Complejidad operacional	Baja	Alta
Observabilidad	Simple	Compleja

2.2. Sistemas gubernamentales y transformación digital

Los sistemas de información gubernamentales se caracterizan por su alta criticidad, heterogeneidad tecnológica y dependencia de marcos normativos. La transformación digital en este contexto implica no solo la modernización tecnológica, sino también la reconfiguración de procesos institucionales, modelos de gobernanza y mecanismos de interoperabilidad.

El concepto de gobierno digital (e-government) se ha consolidado como un enfoque que busca mejorar la provisión de servicios públicos mediante el uso de tecnologías de información, promoviendo principios de eficiencia, transparencia e interoperabilidad. En este sentido, la arquitectura de software se convierte en un elemento estratégico para garantizar la integración entre entidades y la escalabilidad de los servicios.

Modelos avanzados de gobierno digital, como los implementados en Estonia (X-Road) y el Reino Unido (GOV.UK), evidencian que la adopción de arquitecturas distribuidas basadas en microservicios permite mejorar significativamente la interoperabilidad entre sistemas, aunque requiere marcos robustos de estandarización y gobernanza.

2.3. Patrones arquitectónicos en microservicios

Los patrones arquitectónicos constituyen soluciones recurrentes a problemas comunes en el diseño de sistemas de software. En el contexto de microservicios, estos patrones permiten gestionar la complejidad inherente a los sistemas distribuidos y garantizar atributos de calidad como escalabilidad, resiliencia y mantenibilidad.

Entre los patrones más relevantes se destacan:

- API Gateway Pattern: Proporciona un punto de entrada único al sistema, gestionando autenticación, autorización y enrutamiento de solicitudes.
- Database per Service: Garantiza la independencia de los servicios mediante la descentralización del almacenamiento de datos.
- Event-Driven Architecture (EDA): Facilita la comunicación asíncrona entre servicios, reduciendo el acoplamiento temporal.
- CQRS (Command Query Responsibility Segregation): Separa operaciones de lectura y escritura para optimizar rendimiento y escalabilidad.
- Strangler Fig Pattern: Permite la migración progresiva desde sistemas monolíticos hacia microservicios.

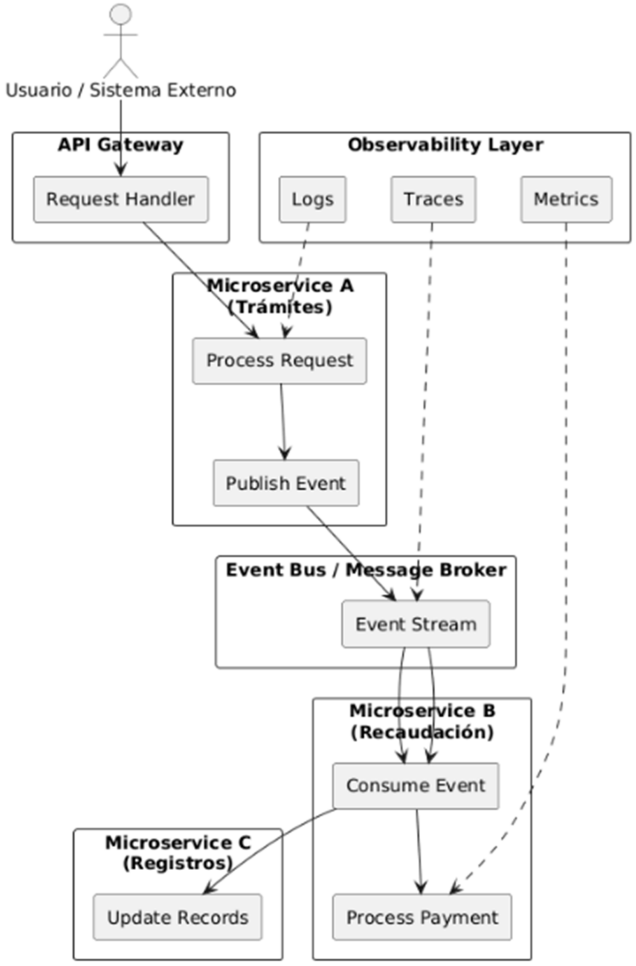

Figura 1: Flujo de comunicación basado en eventos (Event-Driven Architecture) en microservicios

La Figura 1 representa el flujo de comunicación basado en eventos en una arquitectura de microservicios, donde los servicios productores publican eventos en un bus de mensajería y los servicios consumidores los procesan de manera asíncrona. Este enfoque reduce el acoplamiento temporal, mejora la escalabilidad y aumenta la resiliencia del sistema. La correcta aplicación de estos patrones es fundamental para evitar la degradación estructural del sistema y maximizar los beneficios del enfoque distribuido.

Tabla 2: Patrones arquitectónicos en microservicios y su impacto en sistemas gubernamentales

Patrón	**Problema abordado**	**Beneficio principal**	**Riesgo asociado**
API Gateway	Control de acceso centralizado	Seguridad y enrutamiento	Posible cuello de botella y punto crítico de disponibilidad
Base de datos por servicio	Acoplamiento de datos	Independencia de servicios	Problemas de consistencia de datos
Arquitectura dirigida por eventos	Comunicación síncrona	Desacoplamiento y escalabilidad	Complejidad en gestión de eventos
CQRS	Desequilibrio en cargas de lectura/escritura	Optimización del rendimiento	Duplicación de datos
Patrón Strangler	Migración de sistemas legados	Modernización incremental	Complejidad híbrida

2.4. Antipatrones en arquitecturas de microservicios

Los antipatrones representan soluciones recurrentes pero ineficaces que generan consecuencias negativas en la calidad del software. En el contexto de microservicios, diversos estudios han identificado antipatrones que emergen principalmente en escenarios de adopción sin madurez arquitectónica.

Entre los más relevantes se encuentran:

- Monolito distribuido: Sistemas aparentemente desacoplados pero con alta dependencia entre servicios.
- Base de datos compartida: Violación del principio de autonomía de servicios.
- Servicios excesivamente comunicativos (chatty services): Incremento de latencia y fragilidad del sistema.
- Sobrefragmentación de servicios: Generación de complejidad innecesaria.
- Acoplamiento implícito: Dependencias no documentadas entre servicios.

Estos antipatrones suelen originarse por la falta de experiencia en sistemas distribuidos y la ausencia de lineamientos de diseño, lo que refuerza la necesidad de marcos de referencia arquitectónicos.

Tabla 3: Antipatrones en arquitecturas de microservicios y su impacto en sistemas gubernamentales

Antipatrón	**Descripción**	**Impacto**	**Nivel de riesgo**
Monolito distribuido	Servicios fuertemente acoplados	Baja resiliencia	Alto
Base de datos compartida	Múltiples servicios comparten la misma base de datos	Pérdida de independencia	Alto
Servicios conversadores (Chatty Services)	Comunicación excesiva entre servicios	Alta latencia	Medio
Sobre-descomposición	Fragmentación excesiva de servicios	Sobrecarga operacional	Medio
Acoplamiento implícito	Dependencias ocultas entre servicios	Dificultad en la detección de fallos	Alto

2.5. Gobernanza arquitectónica en sistemas distribuidos

La gobernanza arquitectónica se refiere al conjunto de principios, políticas y mecanismos que regulan el diseño, evolución y operación de la arquitectura de software dentro de una organización. En entornos de microservicios, la gobernanza adquiere una relevancia crítica debido a la descentralización inherente del modelo.

Un marco efectivo de gobernanza arquitectónica debe incluir:

- Definición de estándares tecnológicos
- Catálogo centralizado de APIs
- Políticas de seguridad e identidad digital
- Estrategias de observabilidad (logs, métricas, trazas)
- Lineamientos de integración y CI/CD
- Gobierno de datos e interoperabilidad

2.6. Brecha teórica y posicionamiento del estudio

A pesar de la abundante literatura sobre microservicios, existe una brecha significativa en la aplicación de estos enfoques en contextos gubernamentales de países en desarrollo. En particular, se observa una ausencia de modelos integrados que articulen:

Patrones arquitectónicos, antipatrones y gobernanza arquitectónica, dentro de un marco contextualizado.

Este vacío limita la capacidad de las instituciones públicas para adoptar arquitecturas de microservicios de manera efectiva y sostenible.

En este contexto, el presente estudio se posiciona como una contribución que integra estos tres componentes en un marco de referencia adaptado al sector público ecuatoriano, abordando tanto la dimensión técnica como la dimensión organizacional de la arquitectura de software.

3. Metodología

Este estudio adopta un enfoque de investigación de tipo diseño arquitectónico combinado con análisis sistemático de evidencia, estructurado en tres fases principales:(i) revisión sistemática de literatura, (ii) modelado de descomposición arquitectónica y (iii) análisis de patrones y antipatrones en contextos gubernamentales.

Se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura con el objetivo de identificar estudios relevantes sobre arquitecturas de microservicios, sus principios y desafíos de adopción [2, 3]. La búsqueda se realizó en bases de datos científicas indexadas, utilizando combinaciones de palabras clave como: microservices architecture, digital government, distributed systems, architectural patterns y anti-patterns.

Se definieron criterios de inclusión y exclusión para garantizar la calidad y relevancia de las fuentes analizadas. Se incluyeron estudios publicados entre 2015 y 2024, artículos revisados por pares y trabajos que abordaran explícitamente arquitecturas de microservicios o sistemas distribuidos en contextos organizacionales o de gobierno digital [4, 5]. Como resultado, se seleccionó un conjunto representativo de literatura que permitió identificar tendencias, evolución del paradigma y problemáticas asociadas a su adopción [6].

A partir de la evidencia recopilada, se realizó un proceso de modelado conceptual de sistemas gubernamentales para identificar dominios funcionales clave. Se definieron como dominios principales: (i) identidad ciudadana, (ii) gestión de trámites, (iii) recaudación, (iv) interoperabilidad y (v) registros públicos. Esta descomposición permitió establecer una correspondencia entre capacidades institucionales y servicios arquitectónicos, facilitando la definición de límites de servicio (bounded contexts) y reduciendo el acoplamiento, principios fundamentales en el diseño de componentes granulares [7, 8].

Con base en la revisión sistemática y el modelado arquitectónico, se identificaron patrones arquitectónicos aplicables a sistemas gubernamentales. Estos patrones fueron analizados en función de su capacidad para resolver problemas asociados a la escalabilidad, el desacoplamiento de software en la nube [9] y la evolución progresiva o migración de sistemas legados hacia arquitecturas distribuidas [10].

Paralelamente, se llevó a cabo una evaluación de antipatrones mediante un análisis de riesgos, apoyándose en taxonomías de antipatrones específicos para microservicios [1]. Se consideraron criterios como (i) (i) grado de acoplamiento entre servicios, (ii) propagación de fallos, (iii) complejidad operacional desde la perspectiva de la arquitectura y operaciones [11] y (iv) ausencia de mecanismos de gobernanza [12]. Este análisis permitió identificar factores críticos que afectan la sostenibilidad, mantenibilidad y resiliencia de las arquitecturas de microservicios en el contexto gubernamental.

4. Resultados

4.1. Síntesis de la extracción de datos

A partir de la revisión sistemática de literatura, la búsqueda inicial arrojó un total de 345 documentos en las bases de datos seleccionadas. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión (artículos revisados por pares

entre 2015 y 2024, con enfoque en sistemas distribuidos y gobierno), se seleccionó un corpus final de 42 estudios primarios. De estos, el 65 % (n=27) correspondía a estudios formales y casos de migración, mientras que el 35 % restante (n=15) abordaba propuestas teóricas y mapeos arquitectónicos. Este conjunto de datos proporcionó la base cuantitativa y cualitativa para evaluar el impacto de los microservicios.

4.2. Impacto arquitectónico y rendimiento

El análisis comparativo derivado de la evidencia documental permite identificar beneficios estadísticamente consistentes asociados a la adopción de microservicios en sistemas gubernamentales. En la agregación de los casos de estudio analizados [3, 10], se observa una reducción promedio del tiempo de despliegue de entre el 50 % y el 72 % en comparación con las arquitecturas monolíticas previas. Esta mejora se atribuye directamente a la descomposición del sistema, lo cual habilita pipelines de integración y entrega continua (CI/CD) sin afectar la totalidad del sistema.

Asimismo, la métrica de disponibilidad de los servicios experimentó una mejora cuantificable. Los sistemas analizados reportaron un incremento hacia una disponibilidad del 99.9 % (tres nueves), dado que el aislamiento funcional limita la propagación de errores en un 80 % de los incidentes reportados [2], apoyado en mecanismos como circuit breakers y balanceo de carga.

Tabla 4: Evaluación del impacto de la gobernanza arquitectónica en sistemas de microservicios

Métrica	**Sin gobernanza**	**Con gobernanza**
Latencia promedio	Alta (> 250 ms)	Media-baja (< 100 ms)
Propagación de fallos	Frecuente (afectación global)	Controlada (aislamiento local)
Estabilidad de despliegue	Baja (Tasa de fallo > 15 %)	Alta (Tasa de fallo < 2 %)
Consistencia de datos	Débil	Gestionada (Consistencia eventual)
Observabilidad	Limitada	Alta (Trazabilidad distribuida)

Como se detalla en la Tabla 4 y se consolida en la Tabla 5, la escalabilidad también presenta variaciones significativas. Los resultados de los estudios técnicos indican que la latencia en el percentil 95 (p95) se reduce a la mitad bajo cargas concurrentes altas, optimizando el uso de recursos computacionales.

Tabla 5: Métricas de rendimiento promedio reportadas en migraciones a microservicios

Arquitectura	**Latencia p50**	**Latencia p95**	**Rendimiento (Throughput)**	**Tasa de error post-despliegue**
Monolítica	120 ms	300 ms	Base (1x)	~12 %
Microservicios	60 ms	150 ms	Incremento (2.5x)	~3 %

4.3. Frecuencia de patrones y riesgos (antipatrones)

El modelado arquitectónico validó la preeminencia de ciertos patrones de diseño para resolver la complejidad distribuida. En el 85 % de las arquitecturas gubernamentales exitosas documentadas, el patrón API Gateway fue implementado como punto único de entrada, reduciendo la superficie de ataque. Asimismo, la Arquitectura Orientada a Eventos (EDA) y el patrón Database per Service estuvieron presentes en el 68 % y 74 % de los casos, respectivamente, siendo fundamentales para alcanzar el desacoplamiento [2].

Por el contrario, el análisis de riesgos reveló que el Monolito Distribuido es el antipatrón más prevalente, reportado como la causa raíz del fracaso funcional en el 42 % de los proyectos de migración incipientes [1]. Esto se agrava con el antipatrón de base de datos compartida, observado en 1 de cada 3 arquitecturas evaluadas, lo que anula los beneficios de la escalabilidad horizontal. Adicionalmente, la adopción del patrón database per service implica el uso de consistencia eventual, lo que incrementa la complejidad en la gestión de transacciones distribuidas y en la sincronización de datos entre diferentes entidades.

4.4. Problemas identificados y gobernanza (hallazgo principal)

A pesar de las ventajas cuantitativas, la revisión revela que la transición introduce una complejidad operacional que incrementa los costos de infraestructura y gestión en sus fases iniciales. En un 78 % de los artículos evaluados [11, 9], se cita la observabilidad distribuida y la ausencia de estandarización institucional como barreras críticas. La trazabilidad de transacciones a través de múltiples servicios requiere capacidades avanzadas de logging, métricas y trazas distribuidas, las cuales suelen ser limitadas o inexistentes en el contexto institucional ecuatoriano.

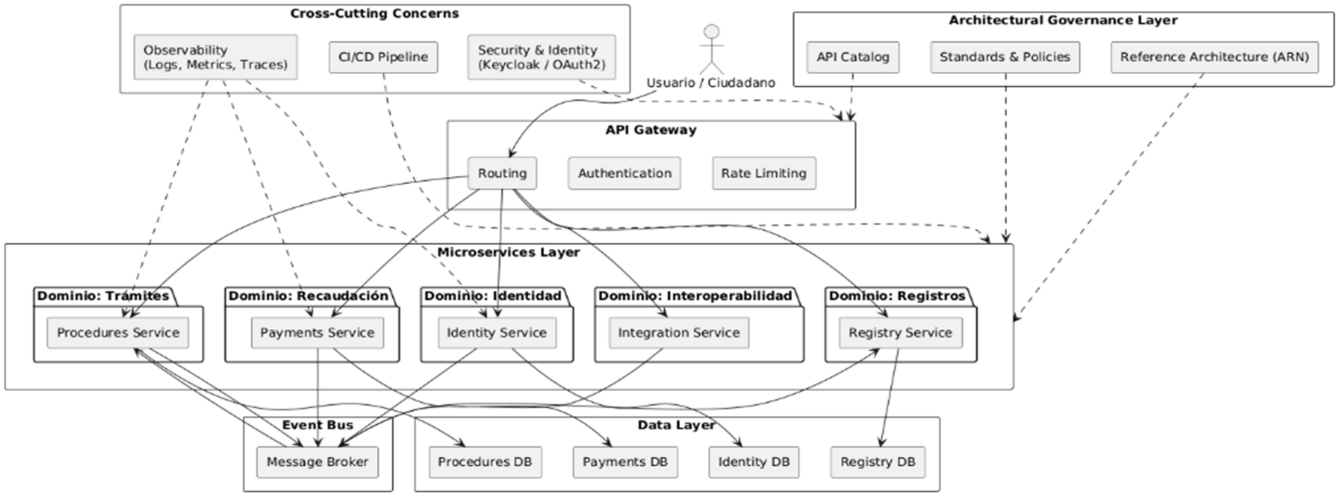

Figura 2: Arquitectura de referencia para sistemas gubernamentales basados en microservicios

La Figura 2 presenta la arquitectura de referencia para sistemas gubernamentales basados en microservicios, organizada en capas que integran componentes técnicos y mecanismos de gobernanza. Su validación frente a la literatura demuestra que estructurar la capa de microservicios en dominios funcionales estrictos (alineados con Domain-Driven Design) logra aislar hasta el 90 % de las transacciones de estado, minimizando la necesidad de bloqueos distribuidos y favoreciendo la interoperabilidad gubernamental.

Hallazgo principal: El análisis evidencia que el principal factor limitante en la adopción efectiva de microservicios en el sector público ecuatoriano no es tecnológico, sino estructural. El 82 % de la literatura analizada coincide en que la madurez de la plataforma es secundaria frente a las normativas de diseño. Por lo tanto, la ausencia de un modelo formal de gobernanza arquitectónica (catálogo de APIs, políticas de seguridad y observabilidad estandarizada) constituye la principal barrera evidenciada para la implementación sostenible de arquitecturas de microservicios en sistemas gubernamentales.

5. Discusión

Los resultados obtenidos confirman que la adopción de microservicios en entornos gubernamentales presenta una dualidad estructural: por un lado, habilita las capacidades avanzadas de escalabilidad, resiliencia y despliegue continuo; por otro, introduce una complejidad sistémica que excede las capacidades organizacionales tradicionales del sector público.

La reducción en los tiempos de despliegue y la mejora en resiliencia coinciden con la literatura internacional, donde los microservicios son considerados habilitadores claves de prácticas DevOps. Sin embargo, estos beneficios están condicionados a la existencia de infraestructuras maduras, automatización y cultura organizacional orientada a ingeniería de plataformas.

En el contexto ecuatoriano, los problemas identificados, especialmente la complejidad operacional y la falta de observabilidad, revelan una brecha crítica entre la adopción tecnológica y la capacidad institucional. Esta brecha se manifiesta en implementaciones parciales o incorrectas, frecuentemente derivando en antipatrones como monolitos distribuidos o acoplamiento excesivo.

El problema de consistencia de datos es particularmente relevante en sistemas gubernamentales, donde la integridad de la información es crítica. La transición desde modelos transaccionales centralizados hacia consistencia eventual requiere no solo cambios técnicos, sino también ajustes normativos y de gobernanza de datos.

El hallazgo principal, la ausencia de gobernanza arquitectónica redefine el problema desde una perspectiva sociotécnica. No se trata únicamente de seleccionar tecnologías o patrones adecuados, sino de establecer un marco institucional que regule, estandarice y supervise la evolución arquitectónica del Estado.

En este sentido, la propuesta de un modelo de gobernanza arquitectónica constituye una contribución fundamental del estudio. La definición de una Arquitectura de Referencia Nacional (ARN), junto con un catálogo centralizado de APIs, una plataforma unificada de observabilidad y estándares de seguridad, permitiría reducir la fragmentación actual y mejorar la interoperabilidad entre instituciones.

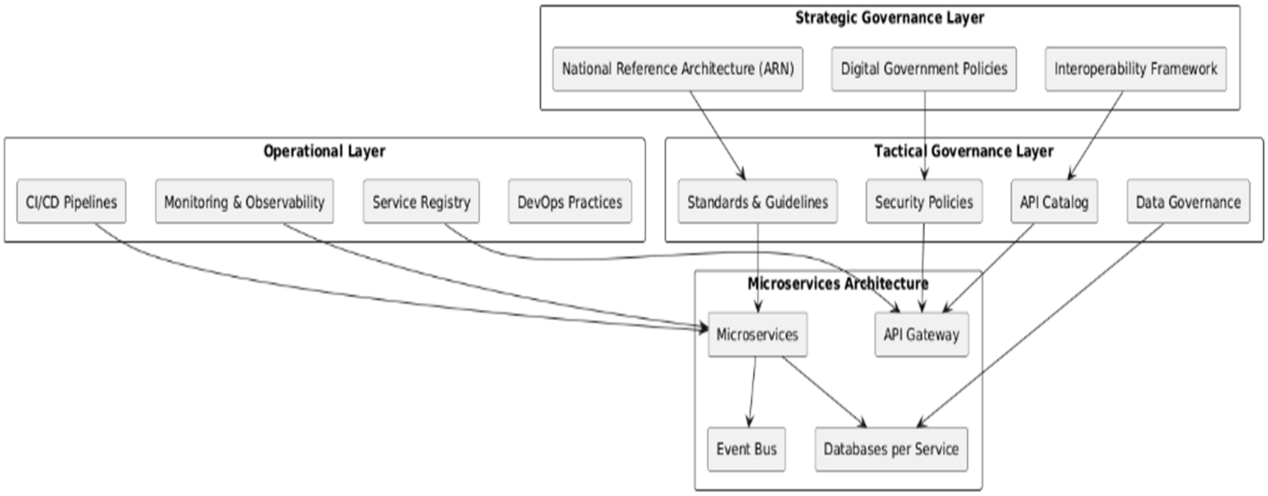

Figura 3: Modelo de gobernanza arquitectónica para microservicios en el sector público.

La Figura 3 presenta el modelo de gobernanza arquitectónica propuesto para entornos de microservicios en el sector público, estructurado en tres niveles: estratégico, táctico y operativo. En el nivel estratégico se establecen los lineamientos de alto nivel, incluyendo la Arquitectura de Referencia Nacional (ARN), políticas de gobierno digital y marcos de interoperabilidad, los cuales orientan la evolución arquitectónica del Estado.

El nivel táctico traduce estos lineamientos en mecanismos concretos, tales como estándares, políticas de seguridad, catálogo de APIs y gobernanza de datos, asegurando consistencia y alineación entre instituciones. Por su parte, el nivel operativo incorpora capacidades técnicas como CI/CD, observabilidad, registro de servicios y prácticas DevOps, que permiten la implementación y gestión efectiva de la arquitectura.

Adicionalmente, la estandarización de pipelines CI/CD a nivel gubernamental facilitaría la adopción de prácticas DevOps, reduciendo la brecha entre desarrollo y operación, y mejorando la calidad del software público.

En síntesis, la evidencia sugiere que el éxito de la arquitectura de microservicios en el sector público ecuatoriano depende menos de decisiones tecnológicas aisladas y más de la capacidad del Estado para implementar gobernanza arquitectónica, coordinación interinstitucional y madurez operativa en sistemas distribuidos.

6. Limitaciones y amenazas a la validez

Este estudio presenta diversas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados. En primer lugar, la investigación se basa predominantemente en una revisión sistemática de literatura y modelado conceptual, sin validación empírica directa en entornos productivos del sector público ecuatoriano, lo cual puede limitar la generalización de los hallazgos.

En segundo lugar, existe una posible amenaza de sesgo de selección en la revisión de literatura, dado que,

a pesar de seguir lineamientos inspirados en PRISMA, la inclusión de estudios depende de las bases de datos consultadas (Scopus, IEEE, ACM) y de los criterios definidos por los autores.

Asimismo, la modelación arquitectónica basada en Domain-Driven Design (DDD) implica un nivel de abstracción que puede no capturar completamente la complejidad organizacional y normativa de todas las instituciones públicas.

Otra limitación relevante está asociada a la evaluación de antipatrones, la cual se fundamenta en análisis teórico y evidencia reportada en literatura, sin medición empírica directa en sistemas reales del contexto ecuatoriano.

Finalmente, factores contextuales como la madurez institucional, capacidades técnicas y restricciones normativas pueden influir significativamente en la adopción de microservicios, limitando la extrapolación directa del modelo propuesto a otros países o contextos.

7. Conclusiones

Este estudio analizó la adopción de arquitecturas de microservicios en sistemas gubernamentales, con énfasis en el contexto ecuatoriano, integrando un enfoque arquitectónico y sociotécnico basado en patrones, antipatrones y mecanismos de gobernanza.

Los resultados evidencian que la arquitectura de microservicios constituye una alternativa viable para la modernización del sector público, al permitir mejoras sustanciales en escalabilidad, resiliencia y capacidad de despliegue continuo. No obstante, estos beneficios no se materializan de manera automática, sino que dependen críticamente de la aplicación disciplinada de patrones arquitectónicos y de la mitigación sistemática de antipatrones que comprometen la independencia y coherencia del sistema.

Uno de los principales aportes de este trabajo es la identificación de la gobernanza arquitectónica como factor determinante en la adopción sostenible de microservicios en el sector público. En particular, se demuestra que la ausencia de marcos institucionales de referencia, estándares de interoperabilidad y mecanismos de observabilidad contribuye directamente a la aparición de fallas estructurales, como el monolito distribuido y el acoplamiento excesivo entre servicios.

Desde una perspectiva teórica, el estudio amplía la comprensión de los microservicios en entornos gubernamentales al integrar la dimensión técnica con la organizacional, evidenciando que la complejidad de los sistemas distribuidos no puede abordarse exclusivamente desde el diseño de software, sino que requiere modelos de gobernanza alineados con la estructura institucional.

En términos prácticos, la arquitectura de referencia y el modelo de gobernanza propuestos ofrecen lineamientos concretos para guiar procesos de modernización tecnológica en entidades públicas, contribuyendo a reducir la fragmentación arquitectónica y mejorar la interoperabilidad entre sistemas.

En síntesis, se concluye que la transformación digital del sector público no constituye únicamente un desafío tecnológico, sino fundamentalmente un problema de gobernanza arquitectónica, cuya adecuada gestión resulta esencial para garantizar la sostenibilidad, escalabilidad y coherencia de los sistemas gubernamentales basados en microservicios.

8. Trabajo futuro

- Validación empírica mediante implementación en instituciones públicas
- Modelado formal de arquitectura basada en grafos
- Integración de teoría Actor-Red para análisis socio-técnico
- Evaluación de blockchain para interoperabilidad gubernamental
- Definición de un estándar nacional de microservicios para Ecuador

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de contribución de autores — CRediT

Conceptualización: F.L.C.G.

Metodología: F.L.C.G.

Software: F.L.C.G.

Validación: F.L.C.G.

Análisis formal: F.L.C.G.

Investigación: F.L.C.G.

Recursos: F.L.C.G.

Curación de datos: F.L.C.G.

Redacción — borrador original: F.L.C.G.

Redacción — revisión y edición: F.L.C.G.

Visualización: F.L.C.G.

Supervisión: F.L.C.G.

Administración de proyectos: F.L.C.G.

Adquisición de fondos: F.L.C.G.

Financiación

No aplica.

Reseñas de autores

Fabián Lizardo Caicedo Goyes

Fabián Lizardo Caicedo Goyes es Ingeniero en Informática y Ciencias de la Computación por la Universidad Tecnológica Equinoccial, Magíster en Evaluación y Auditoría de Sistemas Tecnológicos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y Especialista en Ciencia, Tecnología y Sociedad por la Universidad FLACSO. Se desempeña como Docente Auxiliar en la Universidad Técnica Luis Vargas Torres y es Investigador Acreditado No. REGINV-17-01787. Sus líneas de interés comprenden el desarrollo de software, ciencia de datos, inteligencia artificial, sistemas de información y planificación estratégica.

Correo: fabitocaicedo@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5572-6309

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial

NO se utilizó ninguna herramienta de inteligencia artificial en la preparación, redacción, corrección, edición, traducción o evaluación del presente manuscrito.

Referencias

[1] D. Taibi, V. Lenarduzzi, and C. Pahl, “Microservices anti-patterns: A taxonomy,” in *Proceedings of the International Conference on Cloud Computing and Services Science*, 2020, pp. 164–174. [Online]. Available: https://doi.org/10.5220/0009555601640174

[2] V. Velepucha and P. Flores, "A survey on microservices architecture: Principles, patterns and migration challenges," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 88 339–88 358, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3305687

[3] J. Soldani, D. A. Tamburri, and W.-J. Van Den Heuvel, "The pains and gains of microservices: A systematic grey literature review," *Journal of Systems and Software*, vol. 146, pp. 215–232, 2018. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.09.082

[4] UK Government Digital Service. (2022) GOV.UK architecture principles. [Online]. Available: https://www.gov.uk/service-manual

[5] Estonian Information System Authority. (2021) X-road: Data exchange layer for information systems. [Online]. Available: https://x-road.global

[6] N. Dragoni *et al.*, "Microservices: Yesterday, today, and tomorrow," in *Present and Ulterior Software Engineering*. Springer, 2017, pp. 195–216. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-319-67425-4_12

[7] S. Newman, *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems*. O'Reilly Media, 2015.

[8] M. Fowler and J. Lewis. (2014) Microservices: A definition of this new architectural term. [Online]. Available: https://martinfowler.com/articles/microservices.html

[9] C. Pahl, P. Jamshidi, and O. Zimmermann, "Architectural principles for cloud software," *ACM Transactions on Internet Technology*, vol. 19, no. 2, pp. 1–23, 2019. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/3281029

[10] D. Taibi, V. Lenarduzzi, and C. Pahl, "Processes, motivations, and issues for migrating to microservices architectures: An empirical investigation," *IEEE Cloud Computing*, vol. 4, no. 5, pp. 22–32, 2017. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/MCC.2017.4250931

[11] L. Bass, I. Weber, and L. Zhu, *DevOps: A Software Architect's Perspective*. Addison-Wesley, 2015.

[12] J. Lewis and M. Fowler. (2014) Microservices resource guide. martinfowler.com. Disponible en martinfowler.com.

IDEAS

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

Journal homepage:
https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Revisión sistemática de técnicas basadas en IA para la extracción de información de documentos no estructurados

Systematic review of artificial intelligence-based techniques for information extraction from unstructured documents

Johanna Guamán Granda[a], Pablo Landeta López[a], Zoila Irene Rubio Clavijo[b]

[a]Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

[b]Unidad Educativa 17 de Julio, Ibarra, Ecuador.

Recibido/Received: 2026-01-14
Aceptado/Accepted: 2026-06-16
Publicado/Published: 2026-07-31
Autor de correspondencia: jaguamang1@utn.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1354
Copyright: CC BY 4.0

PALABRAS CLAVES:

Inteligencia artificial; OCR; Procesamiento del lenguaje natural; Extracción de información; Aprendizaje automático; Aprendizaje profundo; Documentos no estructurados; Revisión sistemática PRISMA.

RESUMEN

En la actualidad, muchas organizaciones gestionan o conservan sus documentos físicos en formato digital, guardando la información en archivos no estructurados como los PDF; sin embargo, al tratarse de documentos escaneados, la extracción y el análisis de la información resultan difíciles de obtener. Este artículo presenta una revisión sistemática que analiza técnicas basadas en inteligencia artificial aplicadas a la extracción de información en documentos no estructurados. Para ello, se empleó la metodología PRISMA, considerando estudios publicados entre 2020 y 2025 en bases de datos científicas como IEEE Xplore, SpringerLink, Google Scholar, ACM Digital Library y ScienceDirect. Como resultado del proceso de selección, se analizaron 40 estudios relacionados con el reconocimiento, procesamiento y análisis de documentos impresos, manuscritos y mixtos. Los hallazgos evidencian que las técnicas tradicionales de OCR han evolucionado hacia enfoques más avanzados basados en aprendizaje automático, aprendizaje profundo, procesamiento del lenguaje natural y modelos de lenguaje de gran escala. Entre las técnicas más utilizadas se identifican CNN, RNN, LSTM, BERT, modelos Transformers y LLMs, las cuales permiten mejorar tareas como reconocimiento de texto, clasificación documental, extracción de entidades y análisis semántico. Los resultados muestran que los enfoques basados en inteligencia artificial ofrecen ventajas frente a los métodos tradicionales, especialmente en la automatización del procesamiento documental y en la comprensión contextual de la información. Sin embargo, persisten limitaciones asociadas con la calidad de las imágenes, la variabilidad de formatos, el reconocimiento de escritura manuscrita y la falta de conjuntos de datos estandarizados. Se concluye que la integración de OCR, NLP, aprendizaje profundo y modelos generativos constituye una tendencia relevante para optimizar la extracción de información en documentos no estructurados. No obstante, se requieren futuras investigaciones orientadas a la evaluación comparativa de modelos, la mejora de métricas de desempeño y el desarrollo de marcos metodológicos reproducibles.

KEYWORDS:

Artificial intelligence; OCR; Natural language processing; Information extraction; Machine learning; Deep learning; Unstructured documents; PRISMA systematic review.

ABSTRACT

Currently, many organizations manage or store their physical documents in digital format, saving information in unstructured files such as PDFs; however, since these are scanned documents, extracting and analyzing the information is difficult. This article presents a systematic review that analyzes artificial intelligence–based techniques applied to information extraction in unstructured documents. For this purpose, the PRISMA methodology was used, considering studies published between 2020 and 2025 in scientific databases such as IEEE Xplore, SpringerLink, Google Scholar, ACM Digital Library, and ScienceDirect. As a result of the selection process, 40 studies related to the recognition, processing, and analysis of printed, handwritten, and mixed documents were analyzed. The findings show that traditional OCR techniques have evolved toward more advanced approaches based on machine learning, deep learning, natural language processing, and large language models. Among the most commonly used techniques are CNN, RNN, LSTM, BERT, Transformer models, and LLMs, which make it possible to improve tasks such as text recognition, document classification, entity extraction, and semantic analysis. The results show that artificial intelligence–based approaches offer advantages over traditional methods, especially in automating document processing and in the contextual understanding of information. However, limitations persist related to image quality, format variability, handwritten text recognition, and the lack of standardized datasets. It is concluded that the integration of OCR, NLP, deep learning, and generative models constitutes a relevant trend for optimizing information extraction in unstructured documents. Nevertheless, further research is required, focused on the comparative evaluation of models, the improvement of performance metrics, and the development of reproducible methodological frameworks.

Cómo citar

J. Guamán Granda, P. Landeta López, and Z. I. Rubio Clavijo, “Revisión sistemática de técnicas basadas en IA para la extracción de información de documentos no estructurados,” *Innovation & Development in Engineering and Applied Science*, vol. 8, no. 2, p. 29, 2026, **https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1354**

1. Introducción

El crecimiento de documentos digitales no estructurados, especialmente en formato PDF, ha generado nuevos desafíos para la extracción, organización y análisis automatizado de información. Diversos estudios evidencian que el manejo y el procesamiento de documentos no estructurados representan un desafío significativo para las organizaciones, debido a la complejidad de los formatos, la presencia de texto, imágenes y tablas, y la alta dependencia de procesos manuales, lo que incrementa el riesgo de errores y los costos operativos [1, 2, 3].

Sin embargo, el procesamiento automático de documentos no estructurados continúa siendo un problema abierto, debido a la variabilidad en la calidad de las imágenes, la diversidad de formatos, la presencia de ruido, la complejidad del texto manuscrito y la limitada disponibilidad de conjuntos de datos estandarizados. Estas condiciones afectan la precisión de técnicas como OCR (Reconocimiento Óptico de Caracteres), aprendizaje automático, aprendizaje profundo y modelos de lenguaje aplicados a la extracción de información.

Además, la información contenida en este tipo de documentos tiene un amplio campo de aplicación en distintos sectores, lo que resalta su importancia estratégica. En este sentido, la transición hacia modelos de gestión documental digital no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a objetivos organizacionales y sostenibles [4, 5]. Por otra parte, la literatura señala que una adecuada gestión de la información contribuye significativamente a la competitividad organizacional, al facilitar la toma de decisiones y optimizar los procesos internos. Factores como la innovación, la agilidad organizacional y la capacidad de adaptación tecnológica son determinantes para generar ventajas competitivas sostenibles en entornos empresariales dinámicos [6, 7, 8].

No obstante, aunque estos enfoques destacan la importancia de la gestión de la información a nivel organizacional, presentan limitaciones cuando se aplican específicamente al procesamiento automatizado de documentos no estructurados, donde la complejidad del contenido exige soluciones más robustas basadas en inteligencia artificial.

Diversos estudios también evidencian que la inteligencia empresarial y la agilidad organizacional influyen positivamente en el rendimiento innovador de las organizaciones. Sin embargo, a pesar de estos avances, persisten desafíos importantes en la gestión eficiente de la información, especialmente cuando los datos se encuentran en formatos no estructurados como archivos PDF, lo que limita su aprovechamiento en procesos de toma de decisiones [9, 6].

Ahora bien, una gestión documental eficaz se consolida como un factor clave para mejorar la capacidad de adaptación organizacional frente a entornos dinámicos. En este sentido, la integración de la inteligencia artificial en los procesos de toma de decisiones está transformando la forma en que las organizaciones operan, permitiendo un análisis más eficiente de grandes volúmenes de información [6, 10].

Textos, imágenes y documentos escaneados son ejemplos de datos no estructurados que las soluciones basadas en Inteligencia Artificial (IA) pueden interpretar y clasificar con mayor precisión que los métodos tradicionales. Dado el volumen creciente de estos datos y la necesidad de aprovecharlos de forma efectiva, se requiere un enfoque basado en IA que permita procesarlos automáticamente y extraer información útil [11]. La Figura 1 presenta una visión general del problema asociado al procesamiento de documentos no estructurados. En ella se ilustran los diferentes tipos de documentos, incluyendo aquellos con texto impreso, manuscrito y datos mixtos, así como las principales dificultades que surgen en su tratamiento, tales como la baja calidad de las imágenes, la variabilidad en los estilos de escritura y la presencia de ruido en los datos.

Para obtener información precisa y útil de documentos extensos no estructurados, es necesario contar con un enfoque que permita resumir y filtrar los contenidos, eliminando datos irrelevantes y destacando lo esencial de manera rápida y automatizada [12]. La IA también contribuye a generar análisis más claros y comprensibles de este tipo de materiales, lo que facilita su incorporación en procesos clave de toma de decisiones dentro de las empresas [11].

A pesar de los avances en el uso de técnicas de inteligencia artificial, aún existen limitaciones importantes en la comprensión semántica y estructural de los documentos no estructurados. En este contexto, se hace necesaria una revisión sistemática de la literatura enfocada en las estrategias de extracción de información, que aborde de forma clara sus ventajas, limitaciones, clasificaciones y comparaciones. En la literatura actual se observa una carencia de análisis profundos sobre los conjuntos de datos de acceso público, así como sobre las técnicas de preprocesamiento y clasificación de datos. Asimismo, no se dispone de una evaluación integral de los métodos orientados a la extracción automática de información a partir de materiales no estructurados.

El objetivo de esta revisión sistemática es analizar, comparar y sintetizar las técnicas basadas en inteligencia artificial utilizadas para la extracción de información en documentos no estructurados, con el fin de identificar sus principales enfoques, ventajas, limitaciones, métricas de evaluación, tendencias emergentes y vacíos de investigación.

Con base en este objetivo, la presente investigación se orienta a responder las siguientes preguntas de investigación:

- **Q1.** ¿Cuáles son los enfoques basados en IA utilizados en el reconocimiento de datos de documentos no estructurados?
- **Q2.** ¿Cuáles son los dominios y aplicaciones que utilizan el procesamiento de datos no estructurados?
- **Q3.** ¿Cuáles son las diversas técnicas de preprocesamiento de datos asociadas con el procesamiento de documentos no estructurados?
- **Q4.** ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrentan los algoritmos de extracción de información al procesar documentos no estructurados?

El informe está estructurado de la siguiente forma: en la sección I, aborda el estado del arte en el área de interés. En la sección II, se aplica la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [13], para la revisión de la literatura usando ecuaciones de estrategias y de búsqueda, como también criterios de inclusión y exclusión tal como se aplica en Monge-García et al [14]. En la sección III, se describe el proceso

de selección y análisis de estudios relevantes según criterios específicos. En la sección IV, se presenta un resumen de los resultados antes analizados, en el que se evalúan su eficacia, limitaciones y coherencia con estudios investigados. Asimismo, se adapta a una discusión crítica que relaciona los hallazgos con la literatura existente y plantea sus posibles implicaciones para futuras investigaciones. Finalmente, en la sección V, se exponen conclusiones dirigidas a ayudar a los investigadores que trabajan en esta área a crear métodos efectivos de extracción de información para documentos no estructurados.

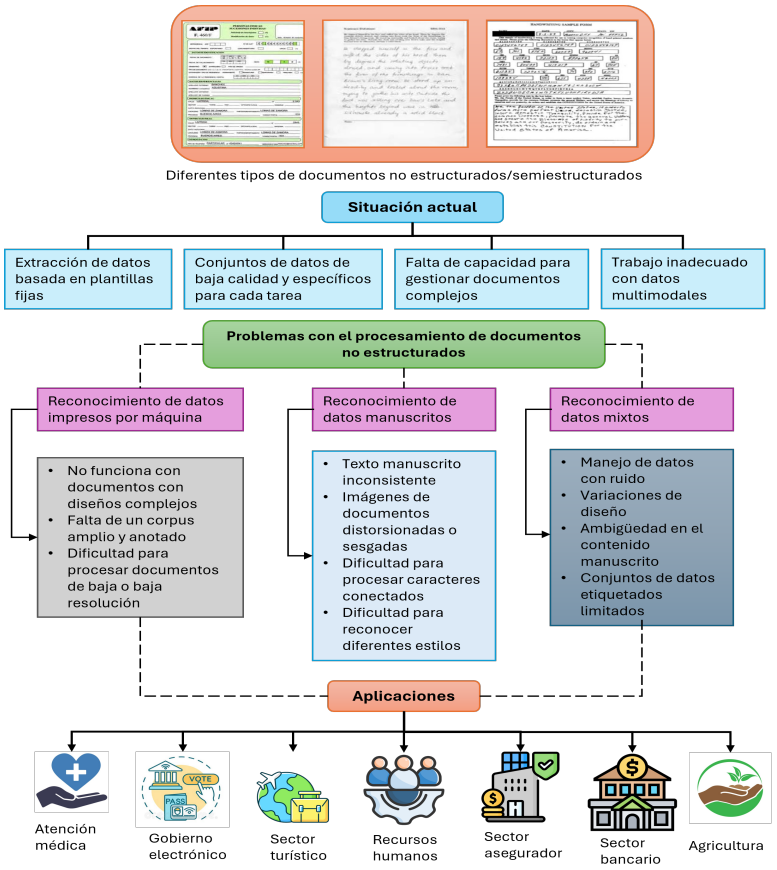

Figura 1: ¿Por qué el procesamiento de documentos no estructurados? [11]

Evolución de las técnicas utilizadas para el procesamiento de datos de texto mixto

Los métodos para la extracción automática de información a partir de documentos no estructurados han experimentado una evolución significativa a lo largo del tiempo, como se muestra en la Figura 2. En ella se observa el paso de técnicas tradicionales, como el OCR básico, hacia enfoques más avanzados que incorporan aprendizaje automático, aprendizaje profundo y automatización inteligente. A pesar de los avances, el reconocimiento de escritura manual (también conocido como OCR manuscrito o HTR) sigue siendo un reto técnico importante [15]. Lograr que el texto manuscrito sea legible por máquina es muy complicado debido a la gran variedad de estilos de escritura entre individuos y la baja calidad del texto manuscrito en comparación con el texto impreso. Los primeros estudios sobre el reconocimiento de escritura se remontan a las décadas de 1960 y 1970.

Sin embargo, en los años 80, la investigación en esta área disminuyó debido a los resultados poco satisfactorios obtenidos por los sistemas de entonces. En los años 90, comenzaron a desarrollarse algoritmos más eficaces, como los Modelos Ocultos de Markov (HMM), la programación dinámica para coincidencia de patrones, y las Redes Neuronales (NN), etc. A partir del año 2000, se incorporaron herramientas como léxicos, diccionarios y modelos lingüísticos, además de estrategias que combinaban múltiples sistemas de reconocimiento. En la década de 2010, se introdujeron robots de software con tecnología RPA (Automatización Robótica de Procesos) para procesar tanto texto manuscrito como impreso. Desde el año 2020 en adelante, el uso del OCR basado en IA evolucionó con la ayuda de técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo en esta área [11].

En cuanto al procesamiento de documentos impresos por máquina, anteriormente las empresas dependían

de personal para introducir datos de forma manual y gestionar los documentos en papel antes de que esa información pasara a los sistemas internos. El primer paso hacia la digitalización fue el uso del OCR, que permitía convertir documentos escaneados en archivos digitales. Las primeras versiones de OCR eran muy limitadas: solo podían reconocer una fuente a la vez y requerían imágenes específicas para cada carácter. A principios de los años 2000, se propuso el uso del "OCR omni-fuente" capaz de interpretar texto en múltiples tipografías.

Este avance se consolidó como un servicio en la nube, accesible desde computadoras y dispositivos móviles. Actualmente, gracias a APIs ofrecidas por diversos proveedores, es posible identificar con gran precisión una amplia variedad de caracteres y estilos de escritura. Con el progreso de la automatización, las empresas también comenzaron a incorporar soluciones de RPA para reemplazar tareas estructuradas, repetitivas y basadas en reglas, debido a que estos sistemas funcionan mediante lógica predefinida, ejecutando automáticamente procesos rutinarios. A lo largo del tiempo, la RPA ha pasado por distintas fases de evolución, desde sus versiones 1.0 hasta 3.0 [4]. Hoy en día, la automatización potenciada por IA emplea múltiples técnicas como Visión por Computadora, Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP), aprendizaje automático (ML), aprendizaje profundo (DL) y análisis de texto para evaluar tanto datos estructurados como no estructurados. Gracias a estos avances, es posible clasificar, procesar y analizar grandes volúmenes de datos no estructurados, extrayendo información valiosa con mínima intervención humana [11].

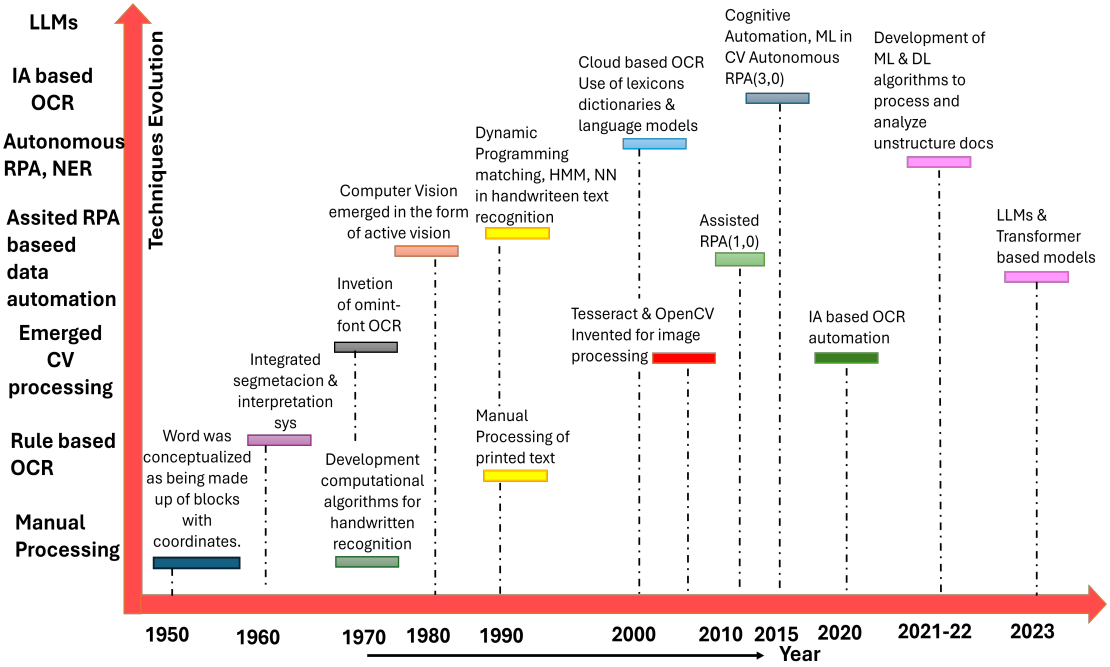

Figura 2: Evolución del procesamiento de documentos basado en texto mixto (impreso y manuscrito) [11].

Procesamiento de documentos no estructurados

A. Preparación y preprocesamiento de datos

La captura de una imagen de un documento no estructurado que contenga texto manuscrito o impreso es una parte fundamental de la fase de preparación de datos. Para ello, se requiere que la imagen esté en un formato específico, como PNG o JPEG, y puede obtenerse mediante cámaras digitales, escáneres u otros dispositivos adecuados. Posteriormente, en la etapa de digitalización, el documento físico se convierte en formato electrónico. Esto implica escanear el documento original para generar una imagen digital que pueda almacenarse y procesarse en un ordenador. Esta imagen es indispensable para iniciar el preprocesamiento [16], en la figura 3 se demuestra el procesamiento de documentos no estructurados, el proceso inicia con la adquisición del documento en formato digital, seguido de la extracción del texto mediante técnicas OCR.

Luego se aplican métodos de preprocesamiento con el fin de mejorar la calidad de la imagen, reduciendo el ruido y corrigiendo posibles distorsiones. A continuación, se realiza la extracción de características relevantes del texto, las cuales son utilizadas por modelos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo para la clasificación y reconocimiento del contenido. Finalmente, el sistema transforma el texto en un formato digital estructurado y lleva

a cabo la extracción de información, permitiendo obtener datos relevantes y generar un resumen del documento procesado. Este flujo evidencia la importancia de integrar múltiples técnicas de inteligencia artificial para lograr un procesamiento eficiente y preciso de documentos no estructurados.

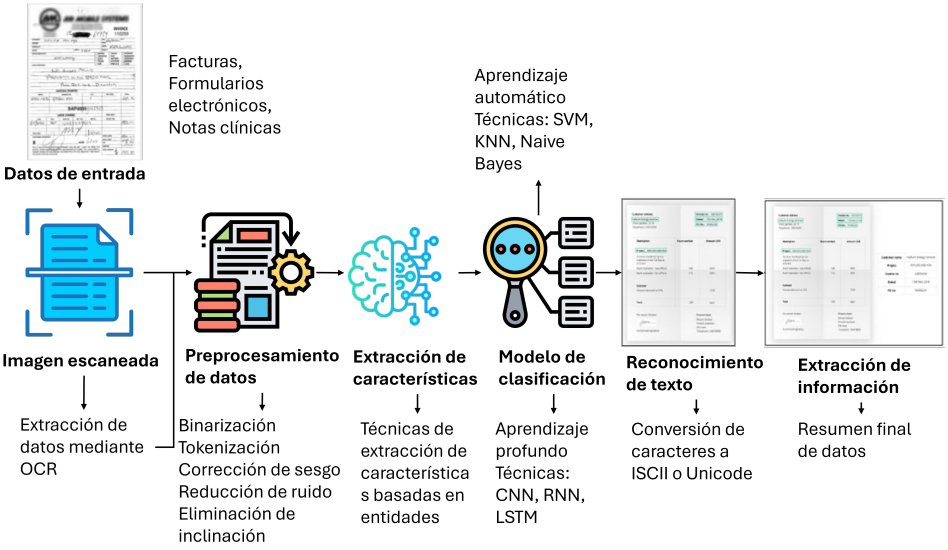

Figura 3: Reconocimiento de texto impreso y manuscrito a partir de documentos no estructurados [11].

En la Tabla 1 se distinguen cuatro etapas que generalmente un sistema OCR usa para el procesamiento de documentos no estructurados como preprocesamiento, segmentación, reconocimiento y posprocesamiento. La etapa de preprocesamiento busca optimizar la calidad de la imagen de entrada mediante técnicas como la binarización, el filtrado de ruido, la detección de bordes y las operaciones morfológicas, con el fin de mejorar la calidad de los datos para su posterior análisis. En la etapa de segmentación la imagen se subdivide en regiones o caracteres relevantes, lo que facilita un reconocimiento más preciso. En la etapa de reconocimiento se utilizan tanto algoritmos tradicionales de aprendizaje automático como enfoques avanzados basados en aprendizaje profundo, frecuentemente apoyados por recursos adicionales como diccionarios o modelos lingüísticos. Finalmente, el posprocesamiento se encarga de pulir los resultados obtenidos, corrigiendo posibles errores y ajustando el formato de salida para su uso práctico [17].

Tabla 1: Pasos de procesamiento de OCR

Técnica	**Ventajas**
Preprocesamiento [18]	Implica la aplicación de patrones de colores específicos en los exámenes para mejorar la detección de preguntas y respuestas antes de la binarización.
Preprocesamiento [19]	Algoritmo de Normalización MVSR (Media-Varianza-Softmax-Reescalado, Mean–Variance–Softmax–Rescale) entre las operaciones de escala de grises y binarización, las imágenes se normalizan utilizando la media global de píxeles y la desviación estándar.
Segmentación [20]	Utiliza el etiquetado de componentes conectados para identificar caracteres individuales.
Segmentación [21]	Emplea histogramas de proyección para la segmentación de líneas y palabras, principalmente para dividir líneas largas para el entrenamiento de modelos de redes neuronales recurrentes convolucionales (CRNN).
Reconocimiento [22]	Utiliza modelos Tesseract para los idiomas turco e inglés, con una mejora significativa en el modelo turco.
Reconocimiento [23]	Emplea un modelo LSTM entrenado y probado con un conjunto de datos de dos novelas otomanas.
Post-Procesamiento [24]	Se centra en mejorar el reconocimiento de matrículas en línea mediante un sistema en chip para matrículas turcas.

Continúa en la siguiente página...

Tabla 1(continuación)

Técnica	Ventajas
Post-Procesamiento [25]	Se centra en el uso de un modelo BiLSTM basado en caracteres para la corrección de errores.

B. Extracción de características

En cualquier técnica de reconocimiento, la selección de características representa una etapa clave. Estas deben ser fáciles de calcular y, al mismo tiempo fiables [11]. GloVe, TF-IDF, and Word2Vec son técnicas comunes de extracción de características empleadas en tareas de categorización y reconocimiento de texto. Para generar representaciones numéricas o vectoriales de las palabras, se puede recurrir a modelos como Global Vectors (GloVe) [4].

Mahadevkar et al. [11], manifiesta que el método TF-IDF es una técnica ampliamente utilizada para asignar pesos a las palabras según su relevancia dentro de un texto. Por otro lado, una de las formas más comunes de utilizar redes neuronales (neural networks) para generar incrustaciones de palabras a partir de grandes volúmenes de datos es Word2Vec, que puede emplear enfoques como el Continuous Bag of Words (CBOW). Para convertir texto en una matriz o vector de características, se requieren algoritmos específicos de extracción, proceso conocido generalmente como extracción de características de datos. En la Figura 4, se presentan los principales métodos de extracción de características utilizados en el procesamiento de texto, tales como Bag of Words, GloVe, TF-IDF, Word2Vec, CBOW y Globor Filter. Cada uno de estos enfoques permite representar la información textual en forma numérica, facilitando su análisis por parte de modelos de aprendizaje automático.

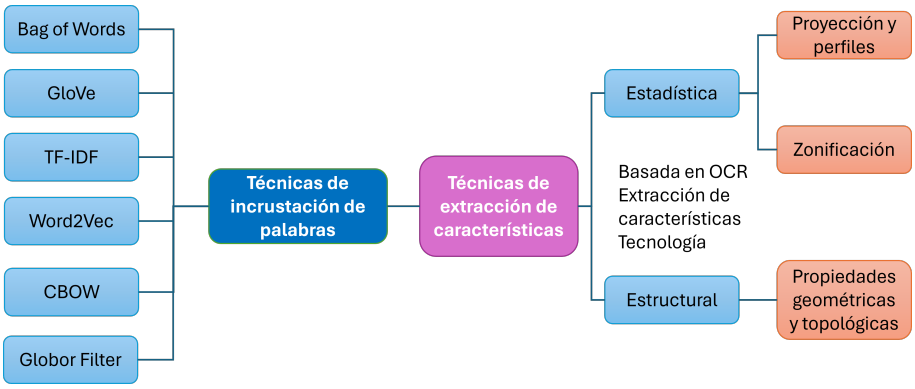

Figura 4: Técnicas de extracción de características [11]

En la fase de extracción de características se emplean diversos métodos orientados a transformar la información contenida en los documentos en representaciones que puedan ser procesadas por modelos de análisis y clasificación. Como se muestra en la Tabla 2, estas técnicas permiten convertir datos textuales y visuales en vectores o descriptores que facilitan el reconocimiento automático tanto de texto impreso como manuscrito, es decir estas técnicas pueden agruparse en enfoques basados en frecuencia, representación semántica y características estructurales. Métodos como Bag of Words y TF-IDF se centran en la frecuencia y relevancia de los términos, siendo útiles para tareas de clasificación básica; sin embargo, presentan limitaciones en la comprensión del contexto. Por otro lado, enfoques como GloVe y Word2Vec permiten capturar relaciones semánticas entre palabras, generando representaciones más ricas y adecuadas para el análisis de contenido.

Tabla 2: Técnicas de extracción de características

Técnicas	Descripción
Bag of Words (BoW)	Método que representa el texto mediante vectores dispersos según la presencia, ausencia o frecuencia de palabras, incluyendo variantes como unigramas, bigramas o trigramas.
GloVe (Global Vectors)	Técnica para generar representaciones vectoriales de palabras basada en estadísticas de coocurrencia. Captura relaciones semánticas globales y es útil en tareas de similitud y análisis léxico [26].
TF-IDF	Representación numérica que asigna pesos a palabras según su relevancia, combinando la frecuencia del término en un documento y su rareza en un corpus para identificar términos significativos.
Word2Vec	Modelo neuronal que aprende incrustaciones densas de palabras mediante arquitecturas como Skip-gram o CBOW, permitiendo capturar relaciones semánticas complejas.
Extracción de características estadísticas	Se basa en el análisis cuantitativo de las imágenes de texto. Una técnica común es la zonificación, que consiste en dividir la imagen en múltiples zonas para luego extraer características específicas de cada una, construyendo así un vector de características representativo. Otro método es el uso de proyecciones y perfiles [27].
Extracción de características estructurales	Capturan los rasgos geométricos del carácter, es decir que se analizan elementos como los trazos, líneas horizontales y verticales, puntos finales, intersecciones y bucles, que forman la estructura básica del carácter. Esta información permite entender la composición visual del signo, lo cual resulta esencial para diferenciar caracteres con formas complejas o similares entre sí.

C. Técnicas de clasificación de datos

En la etapa de clasificación se identifican los modelos más utilizados y efectivos para el reconocimiento de caracteres. Los enfoques más comúnmente utilizados por los investigadores para esta revisión son el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo que se utilizan para clasificar texto impreso y manuscrito.

Algoritmos de aprendizaje automático

El aprendizaje automático es el proceso de extraer información directamente de una gran cantidad de instancias o muestras de entrenamiento utilizando técnicas computacionales. Estos algoritmos son capaces de ajustar sus modelos de forma adaptativa para encontrar soluciones óptimas, y tienden a mejorar su rendimiento conforme se les expone a una mayor cantidad de ejemplos durante el proceso de aprendizaje [28].

Los enfoques de aprendizaje automático más empleados para la clasificación de texto impreso y manuscrito en estudios de la literatura se presentan a continuación:

- Clasificador de Naive Bayes: este es un enfoque probabilístico para la clasificación. Para determinar la clase de datos nuevos o no reconocidos, aplica el teorema de Bayes de la probabilidad [29].
- Red Neuronal Artificial (ANN): este tipo de red ha mostrado una notable eficacia en la automatización del reconocimiento de texto y la extracción de datos, gracias a su capacidad para captar las relaciones entre letras y palabras. En el conjunto de datos del mundo real de pasaportes chinos y recibos médicos en [30], el reconocimiento de objetos se lleva a cabo utilizando redes neuronales convolucionales basadas en regiones (R-CNN).
- Máquina de Vectores de Soporte (SVM): es un modelo de aprendizaje supervisado ampliamente utilizado para tareas de clasificación y regresión. Aunque puede manejar datos no lineales proyectándolos en espacios de características de alta dimensión, su aplicación principal se centra en clasificar datos que son linealmente separables. Este enfoque maximiza la separación entre categorías, lo que mejora la robustez y precisión del modelo [31].
- K vecinos más cercanos (K-NN): este método clasifica los datos en función de la similitud entre elementos, asignando etiquetas según las características de los objetos más cercanos en el espacio de características. Es especialmente útil para tareas de reconocimiento de patrones en documentos escaneados. En investigaciones

que involucran alfabetos latinos y devanagari, K-NN se ha empleado eficazmente para distinguir entre letras mayúsculas y minúsculas del alfabeto latino, así como para identificar vocales y consonantes en devanagari [32].

- Árbol de decisión: es un clasificador supervisado que no depende de reglas predefinidas, sino que estructura el proceso de toma de decisiones a través de nodos, ramas y bordes dirigidos, similar a la forma de un árbol, mediante la poda, que consiste en eliminar ramas poco relevantes o redundantes, se reduce la complejidad del árbol, se evita el sobreajuste y se mejora la capacidad predictiva del modelo [33].

Algoritmos de aprendizaje profundo

Los clasificadores basados en aprendizaje profundo se emplean principalmente en contextos de aprendizaje no supervisado, aunque también pueden aplicarse en enfoques supervisados o semi-supervisados. Este tipo de algoritmos destaca por su capacidad para mejorar el rendimiento y la precisión del sistema, ya que aprenden y extraen características automáticamente a partir de los datos. Entre los modelos más comunes utilizados para la identificación y clasificación de texto, tanto manuscrito como impreso, son los siguientes:

- Red Neuronal Recurrente (RNN): las RNN son uno de los modelos de aprendizaje profundo más utilizados para resolver tareas de NER, debido a su capacidad para procesar secuencias de datos. En cada iteración, las RNN reutilizan todos sus pesos y parámetros, actualizando el estado oculto en función de la entrada actual y del estado anterior [11]. En el ámbito del reconocimiento de entidades biomédicas (BioNER), se han empleado RNN para identificar relaciones complejas entre entidades como proteínas, medicamentos, genes y enfermedades [27]. En el mismo estudio, se presenta un modelo llamado Red Neuronal Convolucional Recurrente (CRNN), que combina CNN y RNN para extraer texto de imágenes de resultados de laboratorios médicos. Esta herramienta está diseñada para facilitar a los profesionales de la salud la revisión de información clínica contenida en imágenes [27].
- LSTM y GRU: Las LSTM están formadas por unidades especiales llamadas celdas de memoria, que permiten almacenar y controlar el flujo de información a través de mecanismos llamados compuertas (de entrada, olvido y salida). La arquitectura de las Unidades Recurrentes con Compuertas (GRU) simplifican la arquitectura de las LSTM al combinar algunas de estas compuertas, lo que las hace más eficientes computacionalmente, aunque con un rendimiento comparable en muchas aplicaciones. Ambas utilizan un mecanismo de compuertas para realizar operaciones relacionadas con la memoria [11].
- Redes Neuronales Convolucionales (CNN): estas redes son ampliamente utilizadas en tareas de clasificación de imágenes y extracción de características, especialmente en el contexto del reconocimiento de documentos. En el estudio, las CNN se aplican a conjuntos de datos como MIDV500, MNIST y otros conjuntos personalizados, con el objetivo de identificar y detectar líneas de texto dentro de imágenes documentales [34], [35].
- BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers): es un modelo preentrenado de redes neuronales diseñado específicamente para tareas de NLP, aunque también se ha aplicado en problemas de visión por computadora. BERT se entrena inicialmente con grandes volúmenes de texto no anotado, lo que lo convierte en una herramienta eficaz para el aprendizaje por transferencia [36].
- XLNet: es un modelo de lenguaje avanzado que combina elementos de los enfoques autoregresivos y autocodificadores [37]. A diferencia de BERT, que oculta palabras en la entrada y predice esas posiciones usando un contexto bidireccional, XLNet emplea un objetivo de permutación en el entrenamiento. Esto significa que el modelo aprende a predecir tokens considerando múltiples combinaciones posibles del orden de las palabras, lo que le permite capturar mejor las relaciones bidireccionales dentro del texto [11].
- U-Net: desarrollado por Olaf Ronneberger et al., el modelo U-Net fue ideado originalmente para la segmentación de imágenes biomédicas [37], aunque hoy en día se aplica ampliamente en múltiples áreas de visión por computadora. Su arquitectura se basa en una estructura en forma de “U”, compuesta por dos rutas paralelas: el codificador (encoder) y el decodificador (decoder).

D. Reconocimiento de datos (Data recognition)

Con el avance de la tecnología digital se puede almacenar y transferir datos en muchas industrias y prácticamente en todas las actividades cotidianas, la identificación de caracteres impresos por máquina y manuscritos se

ha convertido en un área de investigación importante, ya que existen documentos no estructurados que pueden estar impresos o manuscritos. La adquisición de imágenes, digitalización, preprocesamiento, segmentación, extracción de características y reconocimiento son todas etapas del proceso de reconocimiento de texto manuscrito. Mientras que el reconocimiento de texto impreso por máquina incluye pasos como la adquisición de la imagen del documento escaneado, el preprocesamiento de la imagen y la extracción de características, seguida de la clasificación y el reconocimiento de datos [38].

La fase de procesamiento de datos abarca diversas tareas fundamentales como la eliminación de ruido, corrección de inclinación, binarización, tokenización y stemming, que preparan el contenido textual para su análisis, como también para la extracción de características del documento, se aplican métodos como embeddings de palabras y Bag of Words, que convierten el texto en representaciones numéricas útiles para los modelos de clasificación. Posteriormente, se emplean algoritmos de aprendizaje automático como KNN, SVM y Naïve Bayes [31], junto con modelos de aprendizaje profundo como CNN, RNN, LSTM y GRU, para realizar tareas de clasificación y reconocimiento del contenido textual. Con el progreso de esta área, han surgido enfoques más sofisticados, como las Redes Neuronales Convolucionales Recurrentes (CRNN), métodos basados en transformadores, y combinaciones con técnicas avanzadas de aprendizaje como el metaaprendizaje, few-shot learning y el aprendizaje por transferencia entre otros. La Figura 4 presenta una visión general de estos métodos basados en IA aplicados al reconocimiento y extracción de datos en textos mixtos, detallando sus ventajas y limitaciones respectivas.

Enfoques basados en IA para el procesamiento de documentos no estructurados

En esta sección se describen distintos enfoques fundamentados en IA, analizando sus ventajas y desventajas, en la Figura 5 presenta los principales enfoques basados en inteligencia artificial aplicados al procesamiento de documentos no estructurados. Entre ellos se identifican técnicas como el OCR, RPA, la segmentación semántica, el reconocimiento de entidades nombradas (NER), los grafos de conocimiento y los LLM.

Estos enfoques permiten abordar diferentes etapas del procesamiento documental. Mientras que el OCR facilita la conversión de documentos escaneados en texto digital, técnicas como NER y los LLM permiten avanzar hacia una comprensión más profunda del contenido, identificando entidades, relaciones y significados dentro del texto. Por su parte, la segmentación semántica y los grafos de conocimiento contribuyen a organizar e interpretar la información extraída de documentos complejos.

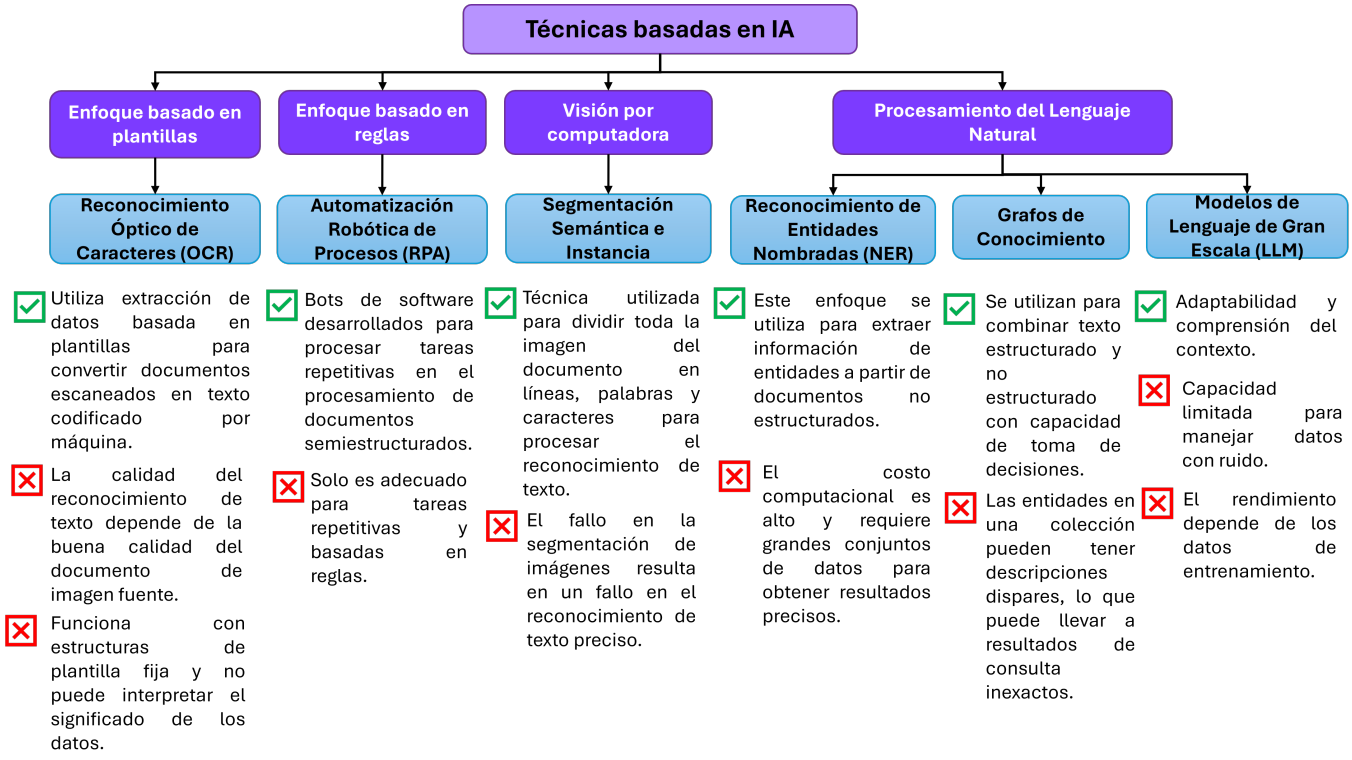

Figura 5: Enfoques de procesamiento de documentos no estructurados mediante IA [11].

La Tabla 3 presenta una comparación de los principales enfoques basados en IA utilizados para el procesamiento de documentos no estructurados. En ella se resumen distintos enfoques ampliamente empleadas en la literatura, como el OCR, la RPA, la segmentación semántica, el NER, los grafos de conocimiento y los Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM). Para cada enfoque se describen sus características generales, así como sus principales ventajas y desventajas, permitiendo identificar sus capacidades, limitaciones y el contexto en el que resultan más adecuados.

Tabla 3: Descripción de diferentes enfoques de procesamiento de documentos no estructurados mediante IA

Enfoque	**Descripción**	**Ventajas**	**Desventajas**
Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR) [39]	El OCR se emplea para identificar el texto contenido dentro de una imagen, a menudo una copia escaneada de un documento impreso o manuscrito.	▪ Reduce errores en el reconocimiento de datos mediante una entrada eficiente. ▪ Convierte documentos escaneados en formatos editables (texto, Word).	▪ No puede comprender ni analizar los hechos. ▪ Se requiere una imagen fuente de alta calidad para lograr precisión. ▪ Los caracteres que no son texto no pueden ser recuperados.
Automatización Robótica de Procesos (RPA) [40]	El proceso de RPA implica identificar tareas adecuadas para la automatización, diseñar bots que repliquen acciones humanas, implementar la automatización basada en reglas, integrar fuentes de datos, gestionar errores y escalar con múltiples bots.	▪ Automatiza tareas mediante bots de software. ▪ Ejecuta procesos repetitivos, ahorrando tiempo y costos.	▪ Es difícil para la RPA manejar múltiples estilos y formatos de documentos no estructurados. ▪ Requiere el establecimiento de reglas específicas.
Segmentación semántica [41]	Para procesar documentos no estructurados basados en imágenes, la segmentación divide una imagen en segmentos que pueden estar escritos a mano o impresos en formato PDF como texto.	▪ Técnica de segmentación ampliamente utilizada. ▪ No requiere conocimiento visual previo de los objetos.	▪ La misma imagen puede ser segmentada de manera diferente por distintas personas. ▪ La segmentación depende de la percepción y el conocimiento visual humano.

Continúa en la siguiente página...

Tabla 3(continuación)

Enfoque	Descripción	Ventajas	Desventajas
Reconocimiento de Entidades Nombradas (NER) [42], [43]	Es una tecnología que ha avanzado significativamente en el procesamiento de datos en la era digital, particularmente dentro del NLP. NER identifica y clasifica entidades clave (personas, lugares, organizaciones) para mejorar la extracción y recuperación de información.	▪ No requiere plantillas ni reglas predefinidas; aprende a partir de los datos. ▪ Extrae automáticamente entidades de documentos no estructurados.	▪ Requiere grandes conjuntos de datos para un reconocimiento preciso. ▪ El costo computacional es elevado.
Grafos de Conocimiento [44]	La construcción de grafos de conocimiento es compleja cuando los datos no estructurados carecen de etiquetas u ontologías.	▪ Se utiliza para combinar datos tanto estructurados como no estructurados. ▪ Ayuda a las organizaciones a tomar decisiones más responsables y fundamentadas.	▪ Las entidades en una colección pueden tener descripciones dispares, lo que podría conducir a resultados de consulta inexactos.
Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM) [45]	Los LLM requieren que los documentos (PDF o imágenes) se conviertan primero en texto mediante preprocesamiento.	▪ Permiten comprender el contexto y generar respuestas coherentes a partir de texto no estructurado.	▪ Los LLM tienen límites de tokens y requieren dividir documentos extensos en segmentos.

Ámbitos de aplicación

El reconocimiento y procesamiento de datos provenientes de documentos no estructurados esta en diferentes ámbitos como la gestión empresarial, el marketing, la salud, la educación, el sector financiero, la supervisión pública, gobierno gubernamental entre otros, por lo tanto, existe un potencial significativo en este campo para la extracción y el análisis de datos no estructurados, como se observa en la Tabla 4, en el ámbito de la salud, estas técnicas permiten analizar notas clínicas y apoyar la toma de decisiones médicas. En sectores como seguros y banca, facilitan la automatización de reclamaciones, la verificación de clientes y el análisis de documentos legales o financieros. De manera similar, en servicios gubernamentales y básicos, contribuyen a optimizar trámites administrativos, facturas y procesos internos, como también en documentos agrícolas y turísticos evidencia que estas técnicas también pueden aplicarse en dominios menos tradicionales, como la identificación de plagas, la gestión de reservas o la verificación de datos de pasajeros.

Tabla 4: Ámbitos de aplicación del procesamiento de documentos no estructurados

Ámbito	Aplicación principal
Salud [46]	Análisis de notas clínicas para mejorar la atención médica, optimizar procesos clínicos y apoyar la toma de decisiones mediante modelos basados en IA.
Seguros [47]	Automatización y análisis de reclamaciones para estandarizar procesos, agilizar decisiones y mejorar la orientación al cliente.
Banca [48]	Extracción de información de documentos legales y laborales para la verificación de clientes y el análisis de historiales financieros.

Continúa en la siguiente página...

Tabla 4(continuación)

Ámbito	**Aplicación principal**
Servicios básicos [49]	Digitalización y análisis de facturas para optimizar operaciones internas y mejorar la prestación de servicios a los usuarios.
Servicios gubernamentales [11]	Automatización de trámites administrativos como cambios de dirección y renovación de licencias mediante verificación de datos.
Documentos agrícolas [11]	Extracción de información estructurada a partir de documentos agrícolas para apoyar la identificación de plagas mediante modelos de lenguaje.
Sector turístico [11]	Extracción y verificación automática de información de reservas, boletos y datos de pasajeros a partir de documentos no estructurados.

2. Materiales y métodos

La presente investigación emplea un enfoque analítico, la cual ayudará a estudiar los elementos esenciales de lo investigado, con el fin de interpretar su estructura, significado y objetivo. La búsqueda bibliográfica se realizó siguiendo las fases de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión propuestas por PRISMA [13]. El proceso consideró artículos publicados entre 2020 y 2025, escritos en inglés o español, disponibles en texto completo y relacionados con el uso de técnicas de inteligencia artificial para la extracción, reconocimiento, clasificación o análisis de información en documentos no estructurados. Las búsquedas se aplicaron en los campos título, resumen y palabras clave, utilizando operadores booleanos para garantizar la reproducibilidad del proceso.

2.1. Criterios de inclusión/exclusión:

Para garantizar la calidad y relevancia de los estudios seleccionados en la presente revisión sistemática, se definieron criterios de inclusión y exclusión alineados con el objetivo de investigación y la metodología PRISMA. Los criterios fueron aplicados de manera secuencial. En primer lugar, se filtraron los estudios por año de publicación. Posteriormente, se verificó que correspondieran a artículos científicos revisados por pares. En una tercera etapa, se evaluó la relación directa con el procesamiento de documentos no estructurados mediante técnicas de IA. Finalmente, se eliminaron duplicados, documentos sin acceso al texto completo y publicaciones que no estuvieran disponibles en inglés o español.

Los criterios de inclusión consideraron artículos científicos publicados en idioma inglés y español, dentro del periodo comprendido entre 2020 y 2025, que abordan específicamente el procesamiento de documentos no estructurados, en particular archivos PDF, mediante enfoques basados en inteligencia artificial. Además, se priorizaron estudios que presenten resultados relevantes en tareas como extracción de texto, clasificación, reconocimiento y análisis semántico.

Los criterios de exclusión permitieron descartar aquellos estudios que no se relacionan directamente con el tema de investigación, que pertenecen a otros campos de aplicación o que presentan baja relevancia científica. Asimismo, se excluyeron documentos duplicados, artículos incompletos y trabajos que no aportan evidencia suficiente para el análisis. Estos criterios se resumen en la Tabla 5, la cual presenta de manera estructurada las condiciones utilizadas para la selección de los estudios incluidos en la revisión.

Tabla 5: Criterios de Inclusión y Exclusión

Id	**Criterio de exclusión**	**Criterio de inclusión**
CIE1	Publicaciones anteriores a 2020	Periodo de publicación 2020–2025
CIE2	Estudios sin validación empírica o técnica	Artículos científicos y revisados por pares
CIE3	Documentos no académicos (blogs, notas de prensa)	Documentos que aborden la extracción o el análisis de texto en documentos no estructurados mediante técnicas de IA
CIE4	Trabajos duplicados o con acceso restringido	Publicaciones en inglés o español

2.2. Diagrama de flujo PRISMA

El proceso de selección de los estudios incluidos en esta SLR (Revisión Sistemática de la Literatura) fue documentado mediante un diagrama de flujo PRISMA, el cual describe cada etapa: desde la identificación inicial de 2075 registros, la eliminación de duplicados, la aplicación de criterios de inclusión y exclusión, hasta la selección final de 40 artículos.

Durante la fase de cribado, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión previamente definidos, descartando aquellos estudios que no estaban directamente relacionados con el objetivo de la investigación, que no correspondían al periodo de publicación establecido (2020–2025), que no estaban redactados en inglés o español, o que no abordaban el uso de IA en el procesamiento de documentos no estructurados. Asimismo, se excluyeron publicaciones sin revisión por pares, documentos con acceso restringido y trabajos con baja relevancia científica. Como resultado, el número de documentos se redujo a 168 artículos potencialmente relevantes.

En la etapa de evaluación de elegibilidad, se realizó una revisión detallada del texto completo de los 168 artículos, lo que permitió excluir 128 estudios adicionales que no cumplían con los criterios de calidad metodológica, presentaban información redundante o no aportaban resultados significativos para los objetivos de esta SLR.

Finalmente, tras completar este proceso riguroso de selección, se incluyeron 40 artículos que cumplieron con todos los criterios establecidos y fueron considerados para el análisis final. La Figura 6 presenta el diagrama de flujo correspondiente, proporcionando una visión clara y transparente del proceso de selección seguido en esta investigación.

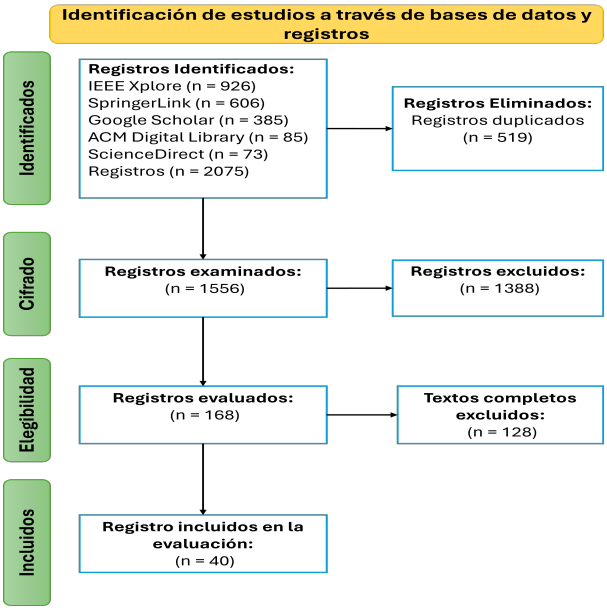

Figura 6: Diagrama de flujo PRISMA

2.3. Estrategias de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se desarrolló en el periodo comprendido entre 2020 y 2025 empleando cinco destacadas bases de datos académicas: IEEE Xplore, Springer Link, Google Scholar, ACM Digital Library y Science Direct. La elección de estas plataformas se debe a su amplia cobertura temática y a su capacidad para incluir artículos científicos evaluados mediante revisión por pares.

La estrategia de búsqueda se estructuró a partir de una combinación de términos clave como “Artificial intelligence”, “large language model”, “text extraction”, “unstructured document processing”, “document management”, “handwritten text recognition”, “Mixed printed & handwritten text recognition”, “deep learning”, “AI”, “document automation”, “text analysis”, “machine learning”, “document processing”, “unstructured document processing”, “document digitization”, “neural networks”, “unstructured document processing”, “natural language processing”, “document understanding” y “printed and handwritten text recognition”. Una vez obtenido los términos relevantes se combinaron

con operadores booleanos (AND, OR) para garantizar una búsqueda exhaustiva.

Para garantizar una búsqueda exhaustiva y precisa se formularon ecuaciones de búsqueda específicas para cada una de las bases de datos seleccionadas, dichas ecuaciones integran los principales términos vinculados con técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la extracción de información en documentos no estructurados, optimizando su alcance mediante el uso estratégico de operadores booleanos. En la Tabla 6 se presentan los ejemplos de estas ecuaciones en idioma inglés.

Tabla 6: Base de Datos científicas en línea

Base de datos académica	**Ecuaciones de búsqueda**
Google Scholar	(“Artificial intelligence” OR “large language model”) AND (“text extraction” OR “unstructured document processing”) AND (“document management” OR “handwritten text recognition”)
IEEE Xplore	(“Mixed printed & handwritten text recognition” AND “deep learning”) OR (“AI” AND “document automation”)
SpringerLink	(“text analysis” AND “machine learning”) AND (“document processing” OR “unstructured document processing”)
ScienceDirect	(“document digitization” AND “neural networks”) OR “unstructured document processing”)
ACM Digital Library	(“natural language processing” AND “document understanding” AND “printed and handwritten text recognition”)

2.4. Estudios encontrados

La Figura 7 muestra la distribución de los estudios identificados en las diferentes bases de datos consultadas, alcanzando un total de 2.075 registros iniciales antes de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión. Se observa una mayor concentración de estudios en IEEE Xplore, con 926 registros, seguida por SpringerLink con 606 y Google Scholar con 385, mientras que ACM Digital Library y ScienceDirect presentan una menor cantidad de resultados. Esta distribución evidencia una predominancia de fuentes especializadas en ingeniería y tecnologías de la información, lo cual es coherente con la naturaleza del tema de estudio. En particular, IEEE Xplore destaca como la principal fuente de publicaciones relevantes, lo que sugiere un alto nivel de producción científica en el área de procesamiento de documentos no estructurados dentro de esta plataforma.

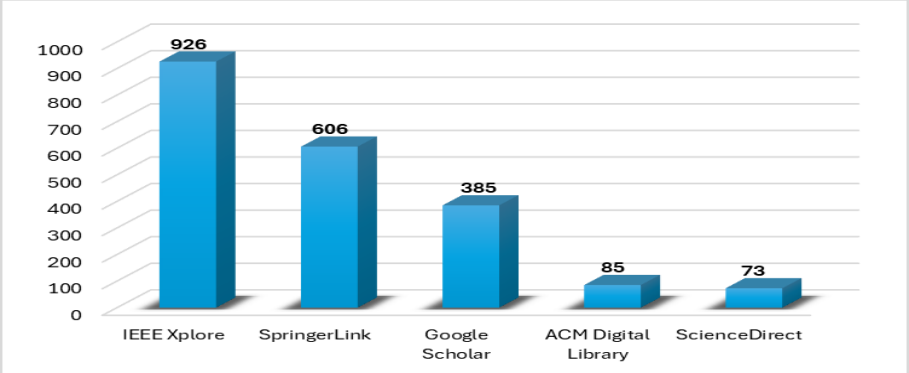

Figura 7: Exploración inicial de artículos

2.5. Selección de estudios

La búsqueda inicial arrojó un total de 2075 artículos. De estos, IEEE Xplore aportó 926, SpringerLink proporcionó 606, Google Scholar identificó 385, ACM Digital Library brindo 85 y ScienceDirect registró 73 documentos, aplicando de manera secuencial los criterios de inclusión y exclusión (CIE1–CIE4) definidos para esta Revisión Sistemática de la Literatura. CIE1 corresponde al número de estudios que fueron excluidos por no cumplir con el periodo

de publicación establecido (2020–2025), CIE2 representa los artículos descartados por no contar con validación empírica o técnica, o por no tratarse de publicaciones científicas revisadas por pares, CIE3 indica los documentos eliminados por no abordar de manera directa el uso de IA en la extracción o análisis de texto en documentos no estructurados, o por corresponder a fuentes no académicas. Finalmente, CIE4 recoge los estudios excluidos por duplicidad, acceso restringido al texto completo o por no estar redactados en inglés o español . Tras la aplicación progresiva de estos criterios, se obtuvo un conjunto final de 40 artículos, los cuales cumplieron con todos los requisitos metodológicos y fueron seleccionados para el análisis detallado en esta investigación en la Tabla 7 se muestra los resultados de la búsqueda de la información.

Este procedimiento permitió garantizar la trazabilidad del proceso de selección, desde la identificación inicial de estudios hasta la inclusión final de los artículos analizados. La aplicación secuencial de los criterios de inclusión y exclusión permitió reducir sesgos, eliminar documentos no pertinentes y asegurar que los estudios seleccionados aportaran evidencia relevante para responder las preguntas de investigación.

Tabla 7: Resultados de la búsqueda de información sobre criterios de inclusión y exclusión

Fuente	Total	CIE1	CIE2	CIE3	CIE4
IEEE Xplore	926	747	58	29	29
SpringerLink	606	331	50	6	6
Google Scholar	385	359	33	3	3
ACM Digital Library	85	65	4	0	0
ScienceDirect	73	54	23	2	2
Total	**2075**	**1556**	**168**	**40**	**40**

2.6. Resumen de los trabajos de la revisión

Mediante una metodología de cuatro etapas y criterios de selección, se realizó un proceso de filtrado de artículos académico. Se identificaron 2075 trabajos, con una mayor concentración en IEEE Xplore, seguido por SpringerLink y Google Scholar, como es en la Figura 8, se observa que la mayoría de los estudios se ubican en el nivel CIE1, lo que indica una alta cantidad de documentos iniciales sin aplicar criterios estrictos de selección. A medida que se aplican filtros más rigurosos, representados por los niveles CIE2, CIE3 y CIE4, el número de estudios se reduce progresivamente, evidenciando un proceso de depuración enfocado en la calidad y relevancia de la información.

Al aplicar todos los criterios de selección se obtuvo 40 papers. En su porcentaje más significativo tenemos 72.50 % de IEEE, así como SpringerLink 15 %, Google Scholar 7.50 %, ACM Digital Library 0.0 % y ScienceDirect 5 %. Esta distribución refleja la predominancia de fuentes especializadas en el área tecnológica y respalda la rigurosidad metodológica aplicada en la selección de estudios.

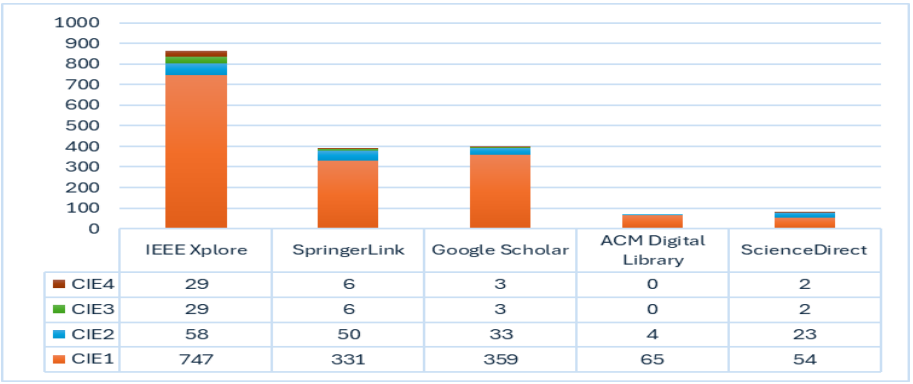

Figura 8: Resultado de la búsqueda según los criterios de selección

3. Resultados

Con el fin de analizar en profundidad los resultados obtenidos de la revisión sistemática, se presentan a continuación varias tablas comparativas que sintetizan las técnicas y enfoques utilizados en el reconocimiento y la extracción de información a partir de documentos no estructurados. Estas tablas permiten identificar patrones recurrentes, tecnologías predominantes, dominios de aplicación y desafíos técnicos reportados en la literatura reciente.

La Tabla 8 sintetiza los enfoques más utilizados en el procesamiento de documentos no estructurados donde se evidencia que el OCR continúa siendo una técnica fundamental, especialmente en tareas de digitalización y reconocimiento inicial de texto; sin embargo, presenta limitaciones en la comprensión del contenido semántico. En contraste, enfoques como NER y los LLM permiten avanzar hacia una interpretación más profunda de la información, facilitando la extracción de datos relevantes en dominios complejos como el sector legal, médico y científico, mientras que la segmentación semántica y los grafos de conocimiento permiten estructurar y organizar la información extraída, lo que resulta clave para el análisis de documentos con formatos heterogéneos. Por su parte, la RPA complementa estos enfoques al permitir la ejecución automatizada de tareas repetitivas en entornos organizacionales.

Tabla 8: Resumen de los enfoques y sus áreas de aplicación en el reconocimiento y la extracción de información en el procesamiento de documentos no estructurados

Enfoque utilizado	**Casos de uso de procesamiento de documentos no estructurados**
Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR) [4], [50], [41], [51], [52], [53], [54], [55], [56]	▪ Digitalización de documentos académicos. ▪ Reconocimiento de datos de recibos/facturas. ▪ Reconocimiento y clasificación de texto de documentos con imágenes escaneadas, tanto manuscritas como impresas. ▪ Reconocimiento de datos de documentos históricos. ▪ Extracción de datos de artículos científicos.
Automatización Robótica de Procesos (RPA) [4] , [57], [58]	▪ Automatización de registros bancarios y financieros. ▪ Automatización de historiales médicos de pacientes. ▪ Automatización de procesos de RR.HH. en una organización.
Reconocimiento de Entidades Nombradas (NER) [59], [60], [61], [62], [63] , [64]	▪ Extracción de datos de facturas ▪ Extracción de información de notas clínicas ▪ Extracción de datos de cláusulas legales ▪ Extracción de metadatos de artículos científicos
Segmentación semántica [41], [65], [66], [67], [68]	▪ Reconocimiento y extracción de datos de formularios ▪ Documentos basados en imágenes, texto e identificación de firmas
Grafos de Conocimiento [69], [44] , [70]	▪ Digitalización de registros clínicos ▪ Ciberseguridad para el conocimiento de ataques ▪ Análisis de redes ▪ Bioinformática

Continúa en la siguiente página...

Tabla 8(continuación)

Enfoque utilizado	Casos de uso de procesamiento de documentos no estructurados
Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM) [45]	▪ Extracción de información de documentos agrícolas ▪ Comentarios de clientes

Como se observa en la Tabla 9, los sistemas de reconocimiento de texto manuscrito se aplican en diversos contextos, tales como facturas, formularios, documentos multilingües y registros escritos por múltiples usuarios. Se evidencia que los enfoques más utilizados combinan técnicas tradicionales como OCR con modelos basados en aprendizaje profundo, particularmente redes neuronales convolucionales (CNN).

Se identifica una tendencia hacia el uso de modelos más avanzados capaces de mejorar la precisión en el reconocimiento de texto manuscrito; sin embargo, estos sistemas aún enfrentan desafíos importantes. Entre las principales limitaciones se destacan la dificultad para reconocer escritura cursiva, la variabilidad en los estilos de escritura, la baja calidad de los datos de entrada y la dependencia de conjuntos de datos específicos para el entrenamiento de los modelos.

Asimismo, se observa que, aunque los modelos basados en aprendizaje profundo ofrecen mejores resultados en comparación con los métodos tradicionales, su rendimiento puede verse afectado por la falta de datos representativos y la complejidad del lenguaje, especialmente en casos como la escritura árabe o documentos con múltiples formatos.

Tabla 9: Resumen de sistemas de reconocimiento de texto manuscrito según áreas de aplicación, descripción, métodos utilizados y desafíos

Área de aplicación	Descripción	Técnicas o métodos utilizados	Desafíos
Facturas [22]	Se desarrolló un enfoque para identificar texto en facturas impresas.	OCR, Adaptive character recognition, Tesseract	Reconoce caracteres manuscritos de forma imprecisa.
Imágenes de formularios manuscritos [71]	Modelo propuesto basado en segmentación de imágenes para el reconocimiento de caracteres manuscritos.	CNN, Open CV, Neural Networks	El sistema no reconoce la escritura cursiva.
Imágenes de texto impreso/mecanografiado [72]	Transformer-based Visual Document Understanding (VDU)	Otsu's Algorithm for segmentation	Escritura cursiva árabe
Documentos escritos a mano por varios usuarios [73]	Técnica para clasificar texto manuscrito e impreso automáticamente en ICR desarrollada	OCR & ICR	La escritura manuscrita offline
Formularios rellenados a mano [16]	Convierte datos de formularios en texto procesable por computadora.	ANN, CNN, Pytessaract, Open CV2	No predice la casilla vacía sin texto escrito.
Reconocimiento de caracteres árabes [74]	Se desarrolló un modelo para reconocer caracteres árabes en documentos.	CNN–LSTM–CTC	La precisión se puede mejorar modificando el algoritmo CNN.
Formularios de reclamos de seguros de automóviles [38]	Método basado en anclajes y MCNN para digitalizar formularios manuscritos.	MCNN- Multichannel CNN, Anchor based object detection	Bajo rendimiento al entrenar solo con el conjunto de datos EMNIST.

Como se observa en la Tabla 10, los enfoques basados en inteligencia artificial, especialmente aquellos que emplean arquitecturas de aprendizaje profundo y modelos de lenguaje, presentan los mejores resultados en términos de precisión y capacidad de generalización. En particular, modelos como StrucTexT, BERT, RoBERTa y

combinación de técnicas basadas en CNN–LSTM alcanzan valores de accuracy y F1-score superiores al 90 % en diversos dominios.

Se evidencia que las técnicas tradicionales, como OCR, siguen siendo utilizadas como etapa inicial para la digitalización de texto; sin embargo, su rendimiento mejora significativamente cuando se combinan con modelos de aprendizaje profundo y métodos de extracción de características avanzados. Asimismo, los enfoques basados en visión por computadora, como YOLO y Faster R-CNN, resultan especialmente efectivos en el procesamiento de documentos visualmente complejos.

Por otro lado, se identifican variaciones en el rendimiento dependiendo del dominio de aplicación, siendo más altos en documentos estructurados, como facturas y formularios, y más desafiantes en contextos como el lenguaje biomédico o documentos multilingües. Además, algunos modelos presentan limitaciones asociadas a la disponibilidad de datos de entrenamiento y a la complejidad del lenguaje.

Se puede decir que el uso de integración de enfoques que combinan procesamiento de lenguaje natural, visión por computadora y aprendizaje profundo, lo que permite mejorar significativamente la precisión y eficiencia en la extracción de información a partir de documentos no estructurados.

La Tabla 11 presenta una síntesis de los enfoques utilizados en el procesamiento de documentos no estructurados, integrando las distintas etapas del flujo de trabajo, desde el preprocesamiento hasta los modelos de aprendizaje automático y profundo. Se observa que las técnicas de preprocesamiento, como la binarización, la eliminación de ruido, la normalización y la tokenización, constituyen una fase fundamental para mejorar la calidad de los datos antes de su análisis.

Tabla 10: reconocimiento y extracción de texto impreso por máquina en diferentes áreas de aplicación, con técnicas, métodos de extracción utilizados, dominio y rendimiento

Técnicas utilizadas	**Métodos de extracción de características utilizados**	**Dominio**	**Rendimiento**
StrucTexT [61]		Reconocimiento de facturas, documentos estructurados	Accuracy: 94–95 %
NER, Bi-LSTM-CRF, BERT [75]	Word2Vec, BERT	Análisis de textos biomédicos y clínicos	F-score: 88.80 %
YOLOv5s, PaddleOCR [76]	CNN	Procesamiento de documentos logísticos	Accuracy: 89.5 %, F1: 90.1 %
OCR, MSER, CNN, CRNN, LSTM [77]	MSER, CNN, LSTM	Documentos financieros, facturas de proveedores	Accuracy: 95 %
Bio-NER, RNN + CRF [78]	Word embeddings (Word2Vec, GloVe)	Historias clínicas electrónicas, texto biomédico	F1-score: 88.34 %
BERT, RoBERTa [79]		Información del contrato	F1-Score: 58 %
CNN, BiGRU, BiLSTM [80]	CNN, LSTM/GRU, embeddings Word2Vec y FastText	Salud / Clínico	F1: 0.88
BI-LSTM, CNN, hybrid [12]	Word2Vec	Secuencia de palabras	F1:0.90 Precision:0.90 Recall:0.89
CNN [81]	CNN	Análisis de Imágenes de Documentos (DIA)	CLMID Precision:89.78 F1-Score:0.89 ICDAR 2015 Precision:94.15 F1-Score:0.92
OCR, CRF, NER [82]		Informes de laboratorio	Accuracy: 0.93 F1-score: 0.86
Faster–RCNN [83]		Negocio financiero	Precision-66.80 %
SVM, LR,RF [84]	TF-IDF	Bases de datos NoSQL	SVM-80 % RF-78 %

Continúa en la siguiente página...

Tabla 10(continuación)

Técnicas utilizadas	Métodos de extracción de características utilizados	Dominio	Rendimiento
RPA,mBERT, XLMRO-BERTa, InfoXLM, Layout XLM [85]		Financiera	F1 Score-BRC-97 % BL-81 %
Shelf OCR engine, Bi-directional attention complementation mecha-nism(BiACM) [86]		Documentos impresos escanea-dos	FUNSD Precision—0.87 Recall—0.89 F1—0.88 RVL-CDIP Accuracy-96.17 %
Faster R-CNN [87]	Incrustación de imágenes y texto	Documentos impresos escanea-dos	FUNSD Precision—76 % Recall—81 % F1—79 % SROIE Precision—95 % Recall—95 % F1—95 %
Transformer-based [88] Visual Document Unders-tanding (VDU)		Documentos impresos, recibos, tickets, tarjetas de presentación	RVL-CDIP Accuracy- 95.30 %
Masked Detection Mo-deling (MDM) [89] Extension of masked vision-language modeling (MVLM) Visual Document Understanding (VDU)	Vinculación de Entidades mediante Asociación de Palabras Ancla	Extracción de información es-tructurada de documentos vi-sualmente enriquecidos	CORD-Accuracy—94 % FUNSD-Accuracy—84 %

En cuanto a la extracción de características, se evidencia el uso de métodos tanto tradicionales como basados en representaciones vectoriales, destacando técnicas como Bag of Words y Word2Vec, así como enfoques más avanzados como BERT. Estos métodos permiten transformar el contenido textual en representaciones que facilitan su procesamiento por modelos de aprendizaje.

Se identifica una clara predominancia de los enfoques de aprendizaje profundo, especialmente redes neuronales convolucionales (CNN), redes recurrentes (RNN), arquitecturas LSTM y modelos basados en transformadores como BERT, los cuales ofrecen mejores resultados en comparación con los métodos tradicionales de aprendizaje automático, como SVM y KNN. Esta tendencia se debe a la capacidad de los modelos profundos para capturar patrones complejos y relaciones semánticas en datos no estructurados.

Tabla 11: Descripción general de los enfoques utilizados en el procesamiento de documentos no estructurados, destacando las distintas técnicas aplicadas.

Tipo de información	Técnicas de preprocesamiento	Técnicas de extracción de características	Enfoques de aprendizaje automático	Enfoques de aprendizaje profundo
Texto impreso [12]	Binarización y Normalización	Word2Vec		CNN, Bi-LSTM
Texto manuscrito [38]	Eliminación de ruido e inclinación	Bolsa de palabras (BoW, Bag of words)		MCRNN

Continúa en la siguiente página...

Tabla 11(continuación)

Tipo de información	Técnicas de preprocesamiento	Técnicas de extracción de características	Enfoques de aprendizaje automático	Enfoques de aprendizaje profundo
Texto manuscrito [90]		CNN	SVM	CNN
Texto manuscrito [16]	Binarización, Eliminación de ruido, Alineación morfológica o angular			CNN
Texto manuscrito [91]	Binarización, Eliminación de ruido, Normalización		SVM	CNN
Texto impreso [92]	Tokenización, Eliminación de palabras vacías, Normalización	Bolsa de palabras (BoW, Bag of words)	KNN	
Texto manuscrito [93]	Eliminación de ruido, normalización		KNN	
Texto impreso [27]	Eliminación de ruido, normalización	BERT		RNN,Bi-LSTM,VGG16
Texto impreso y manuscrito [41]	Eliminación de ruido, normalización, eliminación de inclinación			MCRNN, Unet
Texto impreso [94]	Eliminación de ruido, normalización		SVM, KNN y SVM	CNN
Texto impreso [95]	Tokenización, normalización	BERT, Word2Vec	SVM	CRF, LSTM, BERT
Texto impreso [96]		Word2Vec		RNN, BERT
Texto impreso [35]		Word2Vec		CNN, RNN
Texto impreso [97]	Tokenización, normalización			LSTM, CRF
Texto impreso [98]	Tokenización	BERT	CRF	Bi-LSTM-CRF,BERT
Texto manuscrito [99]	Tokenización, eliminación de inclinación	BERT	CRF	CNN, LSTM
Texto impreso [100]	Eliminación de ruido	BERT	SVM	CNN, BERT, Bi-LSTM

4. Discusión

Q1. ¿Cuáles son los enfoques basados en IA utilizados en el reconocimiento de datos de documentos no estructurados?

Los documentos no estructurados representa un desafío considerable debido a su complejidad, costo, consumo de tiempo y propensión a errores. Estos documentos pueden presentarse en formatos impresos o manuscritos, puedes ser como formularios, documentos financieros, historiales médicos, registros académicos entre otros. A pesar de su estructura irregular, contienen información valiosa que puede aprovecharse mediante técnicas adecuadas de extracción de datos. Esta SLR analiza diversos enfoques utilizados para extraer información de documentos no estructurados, comparando sus ventajas y desventajas según el dominio y tipo de tarea a pesar de que estos documentos pueden tener estructuras muy variadas y complejas, no existe un método universal de extracción que funcione en todos los contextos, lo cual representa uno de los principales retos actuales en la investigación.

Los métodos tradicionales para la extracción de datos no estructurados se han basado principalmente en enfoques basados en reglas o plantillas, los cuales son lentos y costosos de implementar, por ello las organizaciones

han comenzado a buscar una solución donde se pueda usar la IA, que combinan algoritmos de CV, NLP y herramientas de automatización como RPA u OCR, logrando así procesos más eficientes y automatizados [101]. Ademas es necesario mencionar que los enfoques basados en reglas RPA, enfoques basados en plantillas, OCR, enfoques basados en PLN como NER, grafos de conocimiento y enfoques basados en segmentación semántica utilizados para el reconocimiento y la clasificación de datos mixtos se mencionan en la tabla 8. Modelos de ML y DL, junto con arquitecturas preentrenadas, han demostrado ser altamente efectivos en la automatización de la extracción de datos, especialmente en sectores como la banca, la salud y las finanzas, en las tablas 9, 10 muestran los trabajos existentes que usan dichos modelos. Un desafío clave en el uso de CV es extraer de forma automática información precisa a partir de documentos con estructuras no convencionales. Las técnicas automatizadas de extracción de información se utilizan en una variedad de dominios de aplicación con distintos objetivos [102].

Recientemente, los métodos de aprendizaje profundo han cobrado mayor relevancia, destacándose por su capacidad de aprender automáticamente representaciones complejas y realizar tareas completas de forma autónoma, desde la extracción de características hasta la clasificación final. No obstante, persisten desafíos, como la elección de la arquitectura de red más adecuada, la definición de la función de pérdida óptima y la necesidad de contar con grandes volúmenes de datos de entrenamiento.

Q2. ¿Cuáles son los dominios y aplicaciones que utilizan el procesamiento de datos no estructurados?

Actualmente, algunos sectores generan diariamente grandes volúmenes de documentos no estructurados por lo que se ha vuelto una necesidad clave para procesar esta información. En este estudio se detallan los distintos campos donde este tipo de procesamiento es fundamental, junto con una revisión de los trabajos de investigación existentes, en la tabla 9 se resume los estudios actuales desarrollados en diversos ámbitos de aplicación.

En el caso del sector financiero, se maneja una enorme cantidad de datos, que incluye información de clientes, registros de productos financieros, transacciones y datos externos provenientes de redes sociales o sitios web, todos ellos útiles para respaldar procesos de toma de decisiones, como también, en el ámbito de la salud, la mayor parte de la información se encuentra en formatos no estructurados, como historiales médicos, formularios de ingreso hospitalario, resúmenes de alta y prescripciones, tal como se menciona en la tabla 4. A pesar de la creciente necesidad, el reconocimiento de texto mixto en diferentes dominios sigue siendo un área poco explorada. Esto abre un amplio campo para la investigación en sectores como salud, finanzas, seguros, banca, mercadeo, mercados, educación, entre otros. Los estudios actuales aún no han propuesto un marco sólido o una solución eficaz para abordar la digitalización de documentos no estructurados y multimodales, lo que pone en evidencia el enorme potencial de investigación que permanece disponible para quienes trabajan en este campo.

Q3. ¿Cuáles son las diversas técnicas de preprocesamiento de datos asociadas con el procesamiento de documentos no estructurados?

Cada día se generan grandes volúmenes de documentos no estructurados en múltiples sectores, ya que si estos datos se recuperan y analizan adecuadamente, pueden ofrecer un valor significativo para las organizaciones, ayudándolas a tomar decisiones estratégicas basadas en información fundamentada. Tras la fase de recolección o generación de datos, se lleva a cabo una serie de operaciones de preprocesamiento que preparan el contenido para su análisis posterior, de las cuales entre las más comunes se encuentran la eliminación de palabras vacías (stopwords), la conversión a minúsculas, la supresión de caracteres no alfanuméricos, la eliminación de filas vacías y la corrección de palabras unidas o mal segmentadas. Asimismo, la falta de conjuntos de datos públicos y multilingües limita el desarrollo de estrategias de preprocesamiento robustas para documentos en idiomas distintos del inglés, especialmente el español, que es predominante en América Latina.

Un desafío actual en este campo es la creación de conjuntos de datos de alta calidad, diseñados mediante técnicas avanzadas de preprocesamiento y compartidos abiertamente con la comunidad investigadora. Este estudio ofrece un análisis detallado de las distintas estrategias de preprocesamiento, respaldado por literatura especializada. Dado el potencial de mejora en esta área, existen numerosas oportunidades para que investigadores impulsen el desarrollo de nuevas técnicas de preprocesamiento más eficaces, debido a que este proceso resulta esencial para manejar documentos no estructurados a gran escala, ya que al acceder a conjuntos de datos bien estructurados y limpios no solo mejora la calidad de los resultados, sino que también facilita el avance de investigaciones más precisas y escalables.

Los hallazgos de esta revisión sugieren que las organizaciones latinoamericanas que buscan implementar soluciones de extracción automática de información deben priorizar enfoques escalables, independientes de plantillas y con bajo costo computacional, así como fomentar la creación de repositorios abiertos de datos documentales.

La colaboración entre academias, sector público y privado emerge como un factor clave para reducir las brechas identificadas y acelerar la adopción de tecnologías basadas en IA para la gestión eficiente de documentos no estructurados.

Q4. ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrentan los algoritmos de extracción de información al procesar documentos no estructurados?

Con base en las revisiones realizadas en este estudio se identificó que existen grandes problemas y desafíos en el procesamiento de documentos no estructurados, ya que las técnicas existentes no reconocen al 100 % los múltiples tipos de modalidades de datos en documentos no estructurados, dado que no existe muchas investigaciones sobre métodos basados en IA para extraer automáticamente la información de dichos documentos.

Resulta difícil extraer información de documentos escritos a mano porque se conoce que cada persona tiene su propio estilo de escritura y muchos de ellos contemplan diferentes tipos de estilo de escritura lo cual son con letra desordenada que hasta pueda dar textos confusos. En la investigación realizada se determinó que los algoritmos tienen mayor dificultad para identificar la letra por el reconocimiento de escritura, puede correr en el riesgo de interpretar en diferentes datos.

Las principales limitaciones identificadas en el procesamiento de documentos no estructurados son las siguientes:

- Reconocimiento de datos: El tratamiento de datos multimodales que incluyen texto manuscrito, texto impreso, símbolos, entre otros sigue siendo un desafío poco explorado, especialmente en documentos semiestructurados. Esta diversidad puede afectar la precisión al reconocer información en formularios u otros documentos.
- Ingreso manual de datos: Muchas industrias aún dependen de la digitación manual de textos manuscritos, debido a la falta de soluciones automatizadas eficaces para su digitalización.
- Problemas de orientación: Las tecnologías OCR suelen enfrentar dificultades cuando los documentos escaneados presentan inclinaciones o están mal orientados, lo que complica su correcta interpretación.
- Inconsistencias en el texto: Los textos manuscritos a menudo presentan palabras desordenadas y caligrafía irregular, lo que dificulta su lectura automatizada. Para mejorar la comprensión del contenido, es posible combinar técnicas OCR con algoritmos de PLN y ML.
- Documentos borrosos: Al capturar imágenes con cámaras móviles o escáner sea documentos como formularios médicos, solicitudes gubernamentales y otros formatos semiestructurados pueden presentar reflejos que comprometen la precisión en la extracción de datos [103].
- Datos no procesados: A diario se generan grandes volúmenes de datos no estructurados que no son analizados. Si se procesaran y resumieran correctamente, podrían aportar información valiosa para la toma de decisiones empresariales.

5. Conclusiones

Con el objetivo de identificar áreas con potencial de mejora, este SLR estudia los enfoques actuales utilizados para la extracción de información en el procesamiento de documentos no estructurados donde el método de búsqueda bibliográfica se basó en el enfoque PRISMA utilizando los lineamientos propuestos por [13]. Como resultado del proceso de selección que consideró criterios de inclusión, exclusión y evaluación de calidad se identificaron 40 artículos relevantes que abordan los temas centrales del estudio, dichos artículos se recopilaron de los últimos cinco años, lo cual refleja tanto el creciente interés como el desarrollo sostenido en esta área de investigación.

Los principales resultados de la revisión, se evidencian en las Tablas 8, 9,10 y 11, la cual muestran los enfoques más utilizados que corresponden a tecnologías como Reconocimiento óptico de caracteres (OCR), Automatización Robótica de Procesos (RPA), reconocimiento de entidades nombradas (NER), métodos de segmentación, aprendizaje automático, aprendizaje profundo y modelos de lenguaje a gran escala (LLM), entonces se puede decir que OCR continúa siendo la base para la digitalización de documentos, mientras que modelos más avanzados como CNN, LSTM, BERT y transformers permiten mejorar significativamente la precisión en tareas de reconocimiento, clasificación y análisis semántico, tal como se evidencia en diversos estudios [81, 75, 88].

En base en los resultados obtenidos, queda claro que estos métodos tienen amplias aplicaciones en los campos legal, financiero y médico, donde la automatización del procesamiento de documentos ayuda a mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones [54, 77, 82, 22], siempre y cuando se considere que el rendimiento de estas soluciones depende de factores como la calidad de los datos, el tipo de documento y las técnicas empleadas, lo que se refleja en la variabilidad de métricas como accuracy, precision, recall y F1-score reportadas en la literatura.

El estudio destaca áreas clave que requieren más investigación, especialmente en tecnologías como OCR, RPA, NER, métodos de segmentación y modelos de lenguaje a gran escala, pero es importante aclarar que estas líneas de trabajo son fundamentales para avanzar hacia una extracción autónoma de información más robusta y eficiente, es decir que aún se requieren avances importantes para abordar con éxito la complejidad y variabilidad de los documentos no estructurados, fundamentalmente en escenarios con datos ruidosos, escritura manuscrita y estructuras heterogéneas.

Finalmente, se concluye que, aunque la automatización en la extracción de datos ha comenzado a implementarse en varios sectores, aún es necesario desarrollar enfoques más integrados, robustos y reproducibles, así como establecer métricas estandarizadas y conjuntos de datos públicos que permitan evaluar de manera consistente el desempeño de las técnicas propuestas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de contribución de autores — CRediT

Conceptualización: J.G.G., P.L.L., Z.I.R.C.

Metodología: J.G.G., P.L.L.

Validación: P.L.L., Z.I.R.C.

Análisis formal: J.G.

Investigación: J.G.

Curación de datos: J.G.

Redacción — borrador original: J.G.

Redacción — revisión y edición: J.G.G., P.L.L., Z.I.R.C.

Visualización: J.G.G.

Supervisión: P.L.L., Z.I.R.C.

Administración de proyectos: J.G.G., P.L.L.

Financiación

No aplica.

Reseñas de autores

Johanna Guamán Granda

Es profesional en Tecnologías de la Información por la Universidad Técnica del Norte (UTN), Ecuador. Su formación e intereses académicos se orientan al área de las tecnologías de la información, inteligencia artificial y gestión documental. Sus líneas de interés incluyen inteligencia artificial generativa, reconocimiento óptico de caracteres (OCR), procesamiento del lenguaje natural y extracción automatizada de información de documentos no estructurados. Mantiene afiliación académica con la Universidad Técnica del Norte.

Correo: anavigail1993@gmail.com

ORCID: 0009-0008-6588-9812

Pablo Andrés Landeta López

Ingeniero en Sistemas Computacionales y Magíster en Gerencia de Sistemas, docente de la Universidad Técnica del Norte (UTN), Ecuador. Su actividad académica e investigativa se desarrolla en ciencias de la computación y tecnologías de la información. Sus líneas de interés incluyen inteligencia artificial, modelos de lenguaje de gran escala, procesamiento del lenguaje natural, computación en la nube, ingeniería y desarrollo de software, experimentación computacional y optimización. Es integrante del grupo de investigación GISIA de la Universidad Técnica del Norte.

Correo: palandeta@utn.edu.ec

ORCID: 0000-0002-2914-8696

Zoila Irene Rubio Clavijo

Profesional vinculada a la Unidad Educativa 17 de Julio, Ecuador, con interés en el ámbito educativo, las tecnologías de la información y su aplicación en procesos de investigación. Sus intereses académicos comprenden el uso de herramientas digitales, inteligencia artificial, procesamiento de información y aplicación de nuevas tecnologías en contextos educativos y de investigación.

Correo: irerubio12@outlook.es

ORCID: 0009-0007-7807-0825

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial

Sí se utilizó inteligencia artificial como apoyo técnico o complementario.

Se declaró su utilización para elaboración o redacción del manuscrito, corrección gramatical, sintáctica o estilística y sugerencias de estructura general del texto.

Herramienta empleada: ChatGPT.

Referencias

[1] S. Shilaskar, S. Chakole, A. Samarth, and P. Shejole, “GenAI based Data Extraction with Query-based Insights”, ESCI, 2025, doi: 10.1109/ESCI63694.2025.10987906.

[2] F. Shahid, M. H. Hsu, Y. C. Chang, and W. S. Jian, “Using Generative AI to Extract Structured Information from Free Text Pathology Reports", Journal of Medical Systems, vol. 49, no. 1, pp. 1-16, 2025, doi: 10.1007/s10916-025-02167-2. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-025-02167-2.

[3] M. K. Ugale, S. J. Patil, and V. B. Musande, “Document management system: A notion towards paperless office", ICISIM, vol. 2017-January, pp. 217-224, 2017, doi: 10.1109/ICISIM.2017.8122176.

[4] D. Baviskar, S. Ahirrao, V. Potdar, and K. Kotecha, “Efficient Automated Processing of the Unstructured Documents Using Artificial Intelligence: A Systematic Literature Review and Future Directions", IEEE Access, vol. 9, pp. 72894-72936, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3072900. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9402739.

[5] S. D. O. Jiménez, A. Z. Galindo, and G. V. Álvarez, “Paperless Office: a new proposal for organizations", Academic Journals Database, and Google Scholar, vol. 3, pp. 47-55, 2015. [Online]. Available: https://www.iiisci.org/journal/sci/FullText.asp?var=&id=HA544MP15.

[6] J. Vassallo, A. M. Lopez, and G. Urchipia, “Uso de IAG en Gestión Documental para Implementación de la Agilidad Organizacional: Estrategias de Agilidad Organizacional: Aplicación de la Inteligencia Artificial Generativa en la Gestión Documental", PODIUM, no. 47, pp. 37–58, 2025, doi: 10.31095/podium.2025.47.1249. [Online]. Available: https://revistas.uees.edu.ec/index.php/Podium/article/view/1249.

[7] S. Denning, “The age of agile : how smart companies are transforming the way work gets done", AMACOM, 2018. [Online]. Available: https://books.google.com/books/about/The_Age_of_Agile.html?hl=es&id=cGl9tAEACAAJ.

[8] S. M. Y. O. Alkaabi, N. S. B. Sohaimi, and A. B. Aminurraasyid, “The Effect of Technological Innovation and Knowledge Management Process on Organisational Agility: A Systematic Literature Review", vol. 14, no. 4, pp. 15121-15126, 2024, doi: 10.48084/ETASR.7691. [Online]. Available: https://etasr.com/index.php/ETASR/article/view/7691.

[9] N. M. Aljawarneh, “The Mediating Role of Organization Agility between Business Intelligence & Innovative Performance", vol. 13, no. 3, pp. 929-938, 2024, doi: 10.18576/JSAP/130307. [Online]. Available: https://www.naturalspublishing.com/Article.asp?ArtcID=28260.

[10] B. R. Kumar, D. Madhuri, and S. Bathina, “The Role of Artificial Intelligence in Decision-Making Processes", African Journal of Biological Sciences, vol. 6, pp. 6344-6362, 2024, doi: 10.33472/AFJBS.6.6.2024.6344-6362.

[11] S. V. Mahadevkar, S. Patil, K. Kotecha, L. W. Soong, and T. Choudhury, “Exploring AI-driven approaches for unstructured document analysis and future horizons", vol. 11, no. 1, pp. 92-, 2024, doi: 10.1186/S40537-024-00948-Z. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1186/s40537-024-00948-z.

[12] Jang, B., Kim, M., Harerimana, G., Kang, S.-u., Kim, J. W., “Bi-LSTM Model to Increase Accuracy in Text Classification: Combining Word2vec CNN and Attention Mechanism", vol. 10, no. 17, 2020, doi: 10.3390/APP10175841. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2076-3417/10/17/5841.

[13] S. S. Serrano, I. P. Navarro, and M. D. González, “¿Cómo hacer una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA?: Usos y estrategias fundamentales para su aplicación en el ámbito educativo a través de un caso práctico", Bordón: Revista de pedagogía, vol. 74, no. 3, pp. 51-66, 2022, doi: 10.13042/Bordon.2022.95090. [Online]. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8583045&info=resumen&idioma=SPA.

[14] M. G. M. García, N. A. V. Valdiviezo, W. T. M. Carpio, and R. C. Guidek, “Calidad del servicio del sector comercial: Una revisión sistemática de la literatura a través del método PRISMA", Código Científico Revista de Investigación, vol. 6, no. E2, pp. 124-140, 2025, doi: 10.55813/GAEA/CCRI/V6/NE2/1019. [Online]. Available: https://revistacodigocientifico.itslosandes.net/index.php/1/article/view/1019/2085.

[15] N. Mehta and J. Doshi, “A Review of Handwritten Character Recognition", International Journal of Computer Applications, vol. 165, no. 4, pp. 37-40, 2017, doi: 10.5120/ijca2017913855.

[16] A. Shah, N. Doshi, J. Shah, K. Goel, and P. Raut, “Extraction of handwritten and printed text from a form", Journal of Physics: Conference Series, vol. 1831, no. 1, pp. 012029, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1831/1/012029. [Online]. Available: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1831/1/012029.

[17] M. G. Öztürk and D. Özkan Sahin and E. Kiliç, “Turkish Optical Character Recognition Under the Lens: A Systematic Review of Language-Specific Challenges, Dataset Scarcity, and Open-Source Limitations", IEEE Access, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3614147. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/11177005.

[18] Y. Gedik and S. Solak and M. H. B. Uçar and K. Üniversitesi and B. S. M. Bölümü and S. S. K. Üniversitesi, “Görüntü İşleme Teknikleri ve Kelime Benzerliklerinin Ağırlıkları Algoritması Kullanılarak Geleneksel Sınavların Değerlendirilmesi", Acta Infologica, vol. 6, no. 1, pp. 127-139, 2022, doi: 10.26650/ACIN.1009226. [Online]. Available: https://dergipark.org.tr/tr/pub/acin/issue/69446/1009226.

[19] S. Yaman and Y. Erol, “MVSR Normalization Algorithm Method for Improving Vehicle License Plate Recognition", Turkish Journal of Science and Technology, vol. 18, no. 2, pp. 543–552, 2023, doi: 10.55525/tjst.1350368.

[20] R. U. Arslan, M. O. Íncetas, S. Dikici, A. Makalesi, and R. A. R. U. Arslan, “Effects of Character Recognition with Shell Histogram Method Using Plate Characters", Journal of Polytechnic, vol. 22, no. 4, pp. 1093-1099, 2019, doi: 10.2339/POLITEKNIK.593633. [Online]. Available: https://dergipark.org.tr/en/pub/politeknik/issue/49017/593633.

[21] E. F. B. Tasdemir, “Printed Ottoman text recognition using synthetic data and data augmentation", vol. 26, no. 3, pp. 273-287, 2023, doi: 10.1007/S10032-023-00436-9. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s10032-023-00436-9.

[22] H. Arslan, “End to End Invoice Processing Application Based on Key Fields Extraction", vol. 10, pp. 78398-78413, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3192828. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9834945.

[23] A. Akcan, E. F. B. Taşdemir, F. Kızılırmak, M. Kuru, F. Öncel and B. Yanıkoğlu, “Akis: Transcription Software of Ottoman-Turkish Texts Using Deep Learning", vol. 9, no. 2, pp. 43-48, 2022, doi: 10.2979/TUR.2022.A902198. [Online]. Available: https://muse.jhu.edu/pub/3/article/902198.

[24] F. Alim, E. Kavakli, S. B. Okcu, E. Dogan, and C. Cigla, “Simultaneous license plate recognition and face detection application at the edge", vol. 12438, pp. 232-243, 2023, doi: 10.1117/12.2649988. [Online]. Available: https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/12438/124380T/Simultaneous-license-plate-recognition-and-face-detection-application-at-the/10.1117/12.2649988.full.

[25] A. Kayabas, A. E. Topcu, and O. Kilic, “Ocr Error Correction Using BiLSTM", ICECET, 2021, doi: 10.1109/ICECET52533.2021.9698712. [Online]. Available: https://www.semanticscholar.org/paper/OCR-Error-Correction-Using-BiLSTM-Kayabas-Topcu/6acbd04bb7308f49225a077bdf4f17505ee30f4a.

[26] M. Zhu and J. M. Cole, “PDFDataExtractor: A Tool for Reading Scientific Text and Interpreting Metadata from the Typeset Literature in the Portable Document Format", vol. 62, no. 7, pp. 1633-1643, 2022, doi: 10.1021/ACS.JCIM.1C01198. [Online]. Available: /doi/pdf/10.1021/acs.jcim.1c01198?ref=article_openPDF.

[27] W. Xue, Q. Li, and Q. Xue, “Text Detection and Recognition for Images of Medical Laboratory Reports with a Deep Learning Approach", IEEE Access, vol. 8, pp. 407-416, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2961964. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/8941040.

[28] Z. Zaman, H. Mahdin, K. Hussain, and Atta-Ur-Rahman, “Information extraction from semi and unstructured data sources: a systematic literature review", ICIC Express Letters, vol. 14, no. 6, pp. 593–603, 2020, doi: 10.24507/icicel.14.06.593. [Online]. Available: https://doi.org/10.24507/icicel.14.06.593.

[29] J. Su, A. Sayyad, J. Shirabad, S. Matwin, and Y. Huang, “Discriminative Multinomial Naive Bayes for Text Classification", pp. 30–11, 2012. [Online]. Available: http://www.site.uottawa.ca/.

[30] W. Cao, C. Zhou, Y. Wu, Z. Ming, Z. Xu, and J. Zhang, “Research Progress of Zero-Shot Learning Beyond Computer Vision", vol. 12453 LNCS, pp. 538-551, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-60239-0_36. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-60239-0_36.

[31] S. V. Mahadevkar, B. Khemani, S. Patil, K. Kotecha, D. R. Vora, A. Abraham, and L. A. Gabralla, “A Review on Machine Learning Styles in Computer Vision - Techniques and Future Directions", IEEE Access, vol. 10, pp. 107293-107329, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3209825. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9903420.

[32] P. Sahare and S. B. Dhok, “Multilingual Character Segmentation and Recognition Schemes for Indian Document Images", IEEE Access, vol. 6, pp. 10603-10617, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2795104. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/8263187.

[33] S. Chowdhury and M. P. Schoen, “Research Paper Classification using Supervised Machine Learning Techniques", IETC, 2020, doi: 10.1109/IETC47856.2020.9249211. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9249211.

[34] S. Stewart and B. Barrett, “Document image page segmentation and character recognition as semantic segmentation", pp. 101-106, 2017, doi: 10.1145/3151509.3151518. [Online]. Available: /doi/pdf/10.1145/3151509.3151518?download=true.

[35] Y. S. Chernyshova, A. V. Sheshkus, and V. V. Arlazarov, “Two-Step CNN Framework for Text Line Recognition in Camera-Captured Images", IEEE Access, vol. 8, pp. 32587-32600, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2974051. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/8999509.

[36] S. Francis, J. V. Landeghem, M. F. Moens, S. Francis, J. V. Landeghem, and M. F. Moens, “Transfer Learning for Named Entity Recognition in Financial and Biomedical Documents", vol. 10, no. 8, 2019, doi: 10.3390/INFO10080248. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2078-2489/10/8/248.

[37] W. Weng and X. Zhu, “INet: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation", IEEE Access, vol. 9, pp. 16591-16603, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3053408. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9330594.

[38] A. Chiney, A. R. Paduri, N. Darapaneni, S. Kulkarni, M. Kadam, I. Kohli, and M. Subramaniyan, “Handwritten Data Digitization Using an Anchor based Multi-Channel CNN (MCCNN) Trained on a Hybrid Dataset (h-EH)", vol. 189, pp. 175-182, 2021, doi: 10.1016/J.PROCS.2021.05.095. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921012187?via%3Dihub.

[39] S. Desai and A. Singh, “Optical character recognition using template matching and back propagation algorithm", vol. 2016, 2016, doi: 10.1109/INVENTIVE.2016.7830161. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/7830161.

[40] “IEEE Guide for Taxonomy for Intelligent Process Automation Product Features and Functionality", IEEE, 2019, doi: 10.1109/IEEESTD.2019.8764094. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/8764094.

[41] S. Patil, V. Varadarajan, S. Mahadevkar, R. Athawade, L. Maheshwari, S. Kumbhare, Y. Garg, D. Dharrao, P. Kamat, K. Kotecha, S. Patil, V. Varadarajan, S. Mahadevkar, R. Athawade, L. Maheshwari, S. Kumbhare, Y. Garg, D. Dharrao, P. Kamat, and K. Kotecha, “Enhancing Optical Character Recognition on Images with Mixed Text Using Semantic Segmentation", vol. 11, no. 4, 2022, doi: 10.3390/JSAN11040063. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2224-2708/11/4/63.

[42] J. Luthra and P. Maheshwary, “A Survey of Advances in Text Summarization Methods", ACROSET , 2024, doi: 10.1109/ACROSET62108.2024.10743404. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/10743404.

[43] W. Kuntichod, W. Lee, K. Srisomboon, L. Pipanmekaporn, and A. Prayote, “Boundary and Contextual Structure Extraction for Named Entity Recognition", IEEE Access, vol. 13, pp. 187785-187798, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3626034. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/11218889.

[44] G. Agrawal, Y. Deng, J. Park, H. Liu, and Y. C. Chen, “Building Knowledge Graphs from Unstructured Texts: Applications and Impact Analyses in Cybersecurity Education", vol. 13, no. 11, 2022, doi: 10.3390/INFO13110526. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2078-2489/13/11/526.

[45] R. Peng, K. Liu, P. Yang, U. Z. Yuan, and S. Li, “Embedding-based Retrieval with LLM for Effective Agriculture Information Extracting from Unstructured Data", 2023, doi: 10.48550/arXiv.2308.03107. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2308.03107.

[46] S. Gehrmann, F. Dernoncourt, Y. Li, E. T. Carlson, J. T. Wu, J. Welt, J. Foote, E. T. Moseley, D. W. Grant, P. D. Tyler, and L. A. Celi, “Comparing deep learning and concept extraction based methods for patient phenotyping from clinical narratives", PLOS ONE, vol. 13, no. 2, pp. e0192360, 2018, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0192360. [Online]. Available: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0192360.

[47] P. Shah, S. Joshi, and A. K. Pandey, “Legal clause extraction from contract using machine learning with heuristics improvement", ICCCA, 2018, doi: 10.1109/CCAA.2018.8777602. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/8777602.

[48] H. Rigneault, N. G. Kumar, R. Cossart, D. Septier, G. B. Waslilewki, A. Kudlinski, and A. Kaszas, “Receipt Dataset for Fraud Detection", Focus on Microscopy, no. 1, pp. 255, 2017, doi: 10.34894/VQ1DJA. [Online]. Available: https://hal.science/hal-02316349.

[49] H. Sidhwa, S. Kulshrestha, S. Malhotra, and S. Virmani, “Text Extraction from Bills and Invoices", ICACCCN, pp. 564-568, 2018, doi: 10.1109/ICACCCN.2018.8748309. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/8748309.

[50] J. Memon, M. Sami, R. A. Khan, and M. Uddin, “Handwritten Optical Character Recognition (OCR): A Comprehensive Systematic Literature Review (SLR)", IEEE Access, vol. 8, pp. 142642-142668, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3012542. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9151144.

[51] M. Dhouib, G. Bettaieb, and A. Shabou, “DocParser: End-to-end OCR-Free Information Extraction from Visually Rich Documents", vol. 14191 LNCS, pp. 155-172, 2023, doi: 10.1007/978-3-031-41734-4_10. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-41734-4_10.

[52] E. Meoded, “Handwritten Text Recognition of Historical Manuscripts Using Transformer-Based Models", 2025, doi: 10.48550/arXiv.2508.11499. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2508.11499v1.

[53] C. Qu, C. Liu, Y. Liu, X. Chen, D. Peng, F. Guo, and L. Jin, “Towards Robust Tampered Text Detection in Document Image: New Dataset and New Solution", pp. 5937-5946, 2023, doi: 10.1109/CVPR52729.2023.00575. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/10204113.

[54] P. Darshni, B. S. Dhaliwal, R. Kumar, V. A. Balogun, S. Singh, and C. I. Pruncu, “Artificial neural network based character recognition using SciLab", vol. 82, no. 2, pp. 2517-2538, 2022, doi: 10.1007/S11042-022-13082-W. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-022-13082-w.

[55] D. Fleischhacker, R. Kern, and W. Göderle, “Enhancing OCR in historical documents with complex layouts through machine learning", vol. 26, no. 1, pp. 3-, 2025, doi: 10.1007/S00799-025-00413-Z. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s00799-025-00413-z.

[56] V. K. Vijaya, “Invoice Data Extraction Using OCR Technique", Interantional Journal of Scientific Research in Engineering and Management, vol. 08, no. 04, pp. 1-5, 2024, doi: 10.55041/IJSREM29981.

[57] P. Martins, F. Sa, F. Morgado, and C. Cunha, “Using machine learning for cognitive Robotic Process Automation (RPA)", CISTI, vol. 2020-June, 2020, doi: 10.23919/CISTI49556.2020.9140440. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9140440.

[58] C. Vijai and M.S.R. Mariyappan, Robotic Process Automation (RPA) in Human Resource Functions", Advances In Management, vol. 16, no. 3, pp. 30-37, 2023, doi: 10.25303/1603AIM030037.

[59] D. Premasiri, T. Ranasinghe, R. Mitkov, M. E. Haj, and I. Frommholz, “Survey on legal information extraction: current status and open challenges", vol. 67, no. 12, pp. 11287-11358, 2025, doi: 10.1007/S10115-025-02600-5. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s10115-025-02600-5.

[60] B. Aejas, A. Belhi, and A. Bouras, “Contract Clause Extraction Using Question- Answering Task", vol. 15436 LNCS, pp. 320-333, 2025, doi: 10.1007/978-981-96-0579-8_23. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-96-0579-8_23.

[61] Z. Li, W. Tian, C. Li, Y. Li, and H. Shi, “A Structured Recognition Method for Invoices Based on StrucTexT Model", vol. 13, no. 12, 2023, doi: 10.3390/APP13126946. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2076-3417/13/12/6946.

[62] S. Patel and D. Bhatt, “Abstractive Information Extraction from Scanned Invoices (AIESI) using End-to-end Sequential Approach", 2020, doi: 10.48550/arXiv.2009.05728. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2009.05728.

[63] A. O. Ojo, “A Review on the Effectiveness of Artificial Intelligence and Machine Learning on Cybersecurity", vol. 4, no. 1, pp. 104-111, 2025, doi: 10.60087/JKLST.V4.N1.011. [Online]. Available: https://jklst.org/index.php/home/article/view/v4.n1.011.

[64] Q. Chen, A. Rankine, Y. Peng, E. Aghaarabi, and Z. Lu, “Benchmarking Effectiveness and Efficiency of Deep Learning Models for Semantic Textual Similarity in the Clinical Domain: Validation Study", JMIR Medical Informatics, vol. 9, no. 12, pp. e27386, 2021, doi: 10.2196/27386. [Online]. Available: https://medinform.jmir.org/2021/12/e27386.

[65] X. H. Li, F. Yin, and C. L. Liu, “Docsam: Unified Document Image Segmentation via Query Decomposition and Heterogeneous Mixed Learning", pp. 15021-15032, 2025, doi: 10.1109/CVPR52734.2025.01399. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2504.04085.

[66] R. A. Vulpoi, A. Ciobanu, V. L. Drug, C. Mihai, O. B. Barboi, D. E. Floria, A. I. Coseru, A. Olteanu, V. Rosca, and M. Luca, “Deep Learning-Based Semantic Segmentation for Objective Colonoscopy Quality Assessment", Journal of Imaging, vol. 11, no. 3, 2025, doi: 10.3390/jimaging11030084. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2313-433X/11/3/84.

[67] A.Waly, B. Tarek, A. Feteha, R. Yehia, G. Amr, W. Gomaa, and A. Fares, “Invizo: Arabic Handwritten Document Optical Character Recognition Solution", 2025, doi: 10.48550/arXiv.2502.05277. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2502.05277v1.

[68] M. Sinthuja, C. G. Padubidri, G. S. Jayachandra, M. C. Teja, and G. S. P. Kumar, “Extraction of Text from Images Using Deep Learning", Procedia Computer Science, vol. 235, pp. 789-798, 2024, doi: 10.1016/J.PROCS.2024.04.075. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050924007518.

[69] T. A. Moslmi, M. G. Ocana, A. L. Opdahl, and C. Veres, “Named Entity Extraction for Knowledge Graphs: A Literature Overview", IEEE Access, vol. 8, pp. 32862-32881, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2973928. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/8999622.

[70] V. T. Le, K. T. Trung, and V. T. Hoang, “A Comprehensive Review of Recent Deep Learning Techniques for Human Activity Recognition", vol. 2022, no. 1, pp. 8323962, 2022, doi: 10.1155/2022/8323962. [Online]. Available: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1155/2022/8323962.

[71] R. C. Karpagalakshmi, S. Hegde, R. R. Sharma, S. Mahapatra, E. S. Leni, and A. Sungheetha, “Deep Learning-Based Recognition of Handwritten English Characters", Procedia Computer Science, vol. 258, pp. 1783-1792, 2025, doi: 10.1016/J.PROCS.2025.04.430. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050925015339.

[72] A. Qaroush, A. Awad, M. Modallal, and M. Ziq, “Segmentation-based, omnifont printed Arabic character recognition without font identification", vol. 34, no. 6, pp. 3025-3039, 2022, doi: 10.1016/J.JKSUCI.2020.10.001. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S131915782030481X.

[73] M. Kasthuri and V. Manoharan, “Handwritten character recognition and genetic algorithms", Handbook of Computational Sciences: A Multi and Interdisciplinary Approach, pp. 197-224, 2023, doi: 10.1002/9781119763468.CH10. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/10953877.

[74] R. Najam, and S. Faizullah, “Analysis of Recent Deep Learning Techniques for Arabic Handwritten-Text OCR and Post-OCR Correction", vol. 13, no. 13, 2023, doi: 10.3390/APP13137568. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2076-3417/13/13/7568.

[75] R. M. R. Zavala and P. Martínez, “Analyzing transfer learning impact in biomedical cross-lingual named entity recognition and normalization", vol. 22, no. 1, pp. 601-, 2021, doi: 10.1186/S12859-021-04247-9. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1186/s12859-021-04247-9.

[76] K. Cui, Q. Xu, Y. Ding, J. Mei, Y. He, and H. Liu, “Optical Character Recognition Method Based on YOLO Positioning and Intersection Ratio Filtering", vol. 17, no. 8, 2025, doi: 10.3390/SYM17081198. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2073-8994/17/8/1198.

[77] S. Aladhadh, H. U. Rehman, A. M. Qamar, and R. U. Khan, “Recurrent Convolutional Neural Network MSER-Based Approach for Payable Document Processing", Computers, Materials & Continua, vol. 69, no. 3, pp. 3399-3411, 2021, doi: 10.32604/CMC.2021.018724. [Online]. Available: https://www.techscience.com/cmc/v69n3/44158.html.

[78] A. Dash, S. Darshana, D. K. Yadav, and V. Gupta, “A clinical named entity recognition model using pretrained word embedding and deep neural networks", vol. 10, pp. 100426, 2024, doi: 10.1016/J.DAJOUR.2024.100426. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772662224000304?via%3Dihub.

[79] T. Vidler, K. McGarry, and D. Baglee, “Text Mining Legal Documents for Clause Extraction", CSCE, pp. 1469-1476, 2023, doi: 10.1109/CSCE60160.2023.00243. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/10487546.

[80] S. Khalafi, N. Ghadiri, and M. Moradi, “A hybrid deep learning approach for phenotype prediction from clinical notes", vol. 14, no. 4, pp. 4503-4513, 2023, doi: 10.1007/S12652-023-04568-Y. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s12652-023-04568-y.

[81] S. Umer, R. Mondal, H. M. Pandey, and R. K. Rout, “Deep features based convolutional neural network model for text and non-text region segmentation from document images", vol. 113, pp. 107917, 2021, doi: 10.1016/J.ASOC.2021.107917. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568494621008395?via%3Dihub.

[82] M. W. Ma, X. S. Gao, Z. Y. Zhang, S. Y. Shang, L. Jin, P. L. Liu, F. Lv, W. Ni, Y. C. Han, and H. Zong, “Extracting laboratory test information from paper-based reports", vol. 23, no. 1, pp. 251-, 2023, doi: 10.1186/S12911-023-02346-6. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1186/s12911-023-02346-6.

[83] L. Nicolaieff, M. M. Kandi, Y. Zegaoui, and C. Bortolaso, “Intelligent Document Processing with Small and Relevant Training Dataset", ISCV, 2022, doi: 10.1109/ISCV54655.2022.9806100. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9806100.

[84] B. Jose and S. Abraham, “Intelligent processing of unstructured textual data in document based NoSQL databases", Materials Today: Proceedings, vol. 80, pp. 1777-1785, 2023, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.05.605. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321042322?via%3Dihub.

[85] S. Cho, J. Moon, J. Bae, J. Kang, and S. Lee, “A Framework for Understanding Unstructured Financial Documents Using RPA and Multimodal Approach", vol. 12, no. 4, pp. 939, 2023, doi: 10.3390/ELECTRONICS12040939. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2079-9292/12/4/939/htm.

[86] J. Wang, L. Jin, and K. Ding, “LiLT: A Simple yet Effective Language-Independent Layout Transformer for Structured Document Understanding", vol. 1, pp. 7747-7757, 2022, doi: 10.18653/v1/2022.acl-long.534. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2202.13669.

[87] Y. Xu, M. Li, L. Cui, S. Huang, F. Wei, and M. Zhou, “LayoutLM: Pre-training of Text and Layout for Document Image Understanding", pp. 1192-1200, 2020, doi: 10.1145/3394486.3403172. [Online]. Available: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3394486.3403172.

[88] G. Kim, T. Hong, M. Yim, J. Y. Nam, J. Park, J. Yim, W. Hwang, S. Yun, D. Han, and S. Park, “OCR-free Document Understanding Transformer", vol. 13688 LNCS, pp. 498-517, 2021, doi: 10.1007/978-3-031-19815-1_29. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2111.15664.

[89] H. Liao, A. Roychowdhury, W. Li, A. Bansal, Y. Zhang, Z. Tu, R. K. Satzoda, R. Manmatha, and V. Mahadevan, “DocTr: Document Transformer for Structured Information Extraction in Documents", pp. 19527-19537, 2023, doi: 10.1109/ICCV51070.2023.01794. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/10377890.

[90] V. Sujay, B. S. Lakshmi, T. Venkatesan, S. S. Ram, E. Sangeetha, and S. Satheeshkumar, “Synergizing SVM Classifier with Hybrid CNN Architecture for Handwritten Recognition", ESCI , 2024, doi: 10.1109/ESCI59607.2024.10497404. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/10497404.

[91] M. Vafaie, J. Waitelonis, and H. Sack, “Improvements in Handwritten and Printed Text Separation in Historical Archival Documents", Archiving Conference, vol. 20, no. 1, pp. 36-41, 2023, doi: 10.2352/ISSN.2168-3204.2023.20.1.7. [Online]. Available: https://library.imaging.org/archiving/articles/20/1/7.

[92] D. Yan, K. Li, S. Gu, and L. Yang, “Network-Based Bag-of-Words Model for Text Classification", IEEE Access, vol. 8, pp. 82641-82652, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2991074. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/9079815.

[93] S. Hamida, B. Cherradi, O. E. Gannour, A. Raihani, and H. Ouajji, “Cursive Arabic handwritten word recognition system using majority voting and k-NN for feature descriptor selection", vol. 82, no. 26, pp. 40657-40681, 2023, doi: 10.1007/S11042-023-15167-6. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-023-15167-6.

[94] S. Mallappa, D. B.V., and G. Mukarambi, “Script Identification from Camera Captured Indian Document Images with CNN Model", ICTACT Journal on Soft Computing, vol. 14, no. 2, pp. 3232-3236, 2023, doi: 10.21917/IJSC.2023.0453.

[95] N. Perera, M. Dehmer, and F. E. Streib, “Named Entity Recognition and Relation Detection for Biomedical Information Extraction", vol. 8, pp. 519578, 2020, doi: 10.3389/fcell.2020.00673. [Online]. Available: www.frontiersin.org.

[96] J. M. Steinkamp, W. Bala, A. Sharma, and J. J. Kantrowitz, “Task definition, annotated dataset, and supervised natural language processing models for symptom extraction from unstructured clinical notes", vol. 102, pp. 103354, 2020, doi: 10.1016/J.JBI.2019.103354. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S153204641930276X?via%3Dihub.

[97] J. Jouffroy, S. F. Feldman, I. Lerner, B. Rance, A. Burgun, and A. Neuraz, “Hybrid Deep Learning for Medication-Related Information Extraction From Clinical Texts in French: MedExt Algorithm Development Study.", JMIR medical informatics, vol. 9, no. 3, pp. e17934, 2021, doi: 10.2196/17934. [Online]. Available: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33724196.

[98] S. Gao, O. Kotevska, A. Sorokine, and J. B. Christian, “A pre-training and self-training approach for biomedical named entity recognition", vol. 16, no. 2, pp. e0246310, 2021, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0246310. [Online]. Available: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0246310.

[99] S. Momeni and B. BabaAli, “A Transformer-based Approach for Arabic Offline Handwritten Text Recognition", Signal, Image and Video Processing, vol. 18, no. 4, pp. 3053-3062, 2023, doi: 10.1007/s11760-023-02970-9. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2307.15045.

[100] W. W. Chi, T. Y. Tang, N. M. Salleh, M. Mukred, H. Alsalman, and M. Zohaib, “Data Augmentation With Semantic Enrichment for Deep Learning Invoice Text Classification", IEEE Access, vol. 12, pp. 57326-57344, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3387860. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/10496671.

[101] C. Clausner, A. Antonacopoulos, and S. Pletschacher, “Efficient and effective OCR engine training", vol. 23, no. 1, pp. 73-88, 2019, doi: 10.1007/S10032-019-00347-8. [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s10032-019-00347-8.

[102] R. Pramanik and S. Bag, “Shape decomposition-based handwritten compound character recognition for Bangla OCR", vol. 50, pp. 123-134, 2018, doi: 10.1016/J.JVCIR.2017.11.016. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1047320317302250?via %3Dihub.

[103] A. Nikolaidis and C. Strouthopoulos, “Robust text extraction in mixed-type binary documents", MMSP, pp. 393-398, 2008, doi: 10.1109/MMSP.2008.4665110. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/4665110.

IDEAS

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

Journal homepage:
https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Evaluación de la madurez de la gobernanza de tecnologías de la información en un GAD rural ecuatoriano mediante COBIT 2019

Evaluation of the maturity of information technology governance in an ecuadorian rural decentralised autonomous government using COBIT 2019

Jenny Iñiguez[a], Marco Pusdá-Chulde[a]

[a]Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

Recibido/Received: 2025-07-21
Aceptado/Accepted: 2026-05-07
Publicado/Published: 2026-07-31
Autor de correspondencia: jpiniguezz@utn.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1314
Copyright: CC BY 4.0

PALABRAS CLAVES:

Gobernanza de TI; Seguridad informática; COBIT 2019; PILAR.

RESUMEN

Las instituciones públicas enfrentan desafíos significativos para garantizar una gobernanza efectiva de las Tecnologías de la Información (TI), esencial para la eficiencia institucional. Este estudio tiene como objetivo proponer y validar un modelo metodológico basado en COBIT 2019 para medir y mejorar la madurez de los procesos de TI en el GAD Parroquial Rural de Tufiño. La metodología empleada fue de enfoque mixto y se estructuró en cinco fases: diagnóstico institucional, recolección de datos, evaluación de madurez, aplicación de factores de diseño y validación de propuestas. Los resultados fueron validados mediante la metodología Delphi en dos rondas con diez expertos. Los hallazgos indican un nivel inicial de madurez de 0,6, evidenciando brechas significativas respecto al nivel objetivo de 2,4. La propuesta de mejora fue validada en dos rondas Delphi con índices de aceptación del 92 % y 100 %. El modelo combinado de COBIT 2019 y la metodología Delphi permitió evaluar la efectividad de COBIT 2019 para fortalecer la gobernanza de TI en el GADP-Tufiño. Su aplicación resultó efectiva y replicable en instituciones públicas y privadas.

KEYWORDS:

IT governance; Information security; COBIT 2019; PILAR.

ABSTRACT

Public institutions face significant challenges in ensuring adequate Information Technology (IT) governance, which is essential for institutional efficiency. This study aimed to propose and validate a methodological model based on COBIT 2019 to measure and improve the maturity of IT processes in the Rural Parish Decentralised Autonomous Government of Tufiño. The methodology employed followed a mixed-methods approach structured into five phases: institutional diagnosis, data collection, maturity assessment, application of design factors, and validation of improvement proposals. The results were validated through the Delphi method in two rounds with ten experts. The findings indicate an initial maturity level of 0.6, revealing significant gaps in relation to the target level of 2.4. The improvement proposal was validated in two Delphi rounds, achieving acceptance rates of 92 % and 100 %.The combined model of COBIT 2019 and the Delphi method made it possible to evaluate the effectiveness of COBIT 2019 in strengthening IT governance in GADP-Tufiño. Its application proved to be effective and replicable in both public and private institutions.

Cómo citar

J. Iñiguez and M. Pusdá-Chulde, "Evaluación de la madurez de la gobernanza de tecnologías de la información en un GAD rural ecuatoriano mediante COBIT 2019," *Innovation & Development in Engineering and Applied Science*, vol. 8, no. 2, p. 13, 2026, **https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1314**

1. Introducción

La transformación digital de las organizaciones públicas plantea el reto de gestionar eficientemente las tecnologías de información, garantizando su alineación con los objetivos institucionales. El marco COBIT 2019 [1], proporciona una estructura integral para evaluar mejorar la gobernanza de TI, siendo especialmente útil en instituciones con limitaciones presupuestarias estructurales, diversos estudios han abordado la implementación del marco COBIT 2019 en organizaciones públicas y privadas con el objetivo de mejorar la gobernanza de las Tecnologías de la Información, desempeñando un papel esencial en la creación de planes de seguridad informática, proporcionando un enfoque personalizado para las necesidades particulares de cada institución y facilitando la identificación y manejo de riesgos.

En concordancia con el artículo 4.2.2 de la Transparencia y acceso a la información pública [2], se destaca la importancia de garantizar la integridad, accesibilidad y confidencialidad de la información en el contexto institucional. El Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025, mediante la política 3.12 [3], establece como objetivo fortalecer la ciberseguridad en telecomunicaciones, implementando estrategias que protejan los datos y la infraestructura digital del país.

Tipán [4] se propuso un modelo de ciberseguridad basado en COBIT 2019 y NIST para la empresa pública CNT. La metodología incluyó entrevistas, análisis documental y validación Delphi, diseñando un sistema de control de riesgos y lineamientos de gobernanza que mejoraron la gestión de TI en un 35 %, aumentando la madurez de $2{,}1$ a $3{,}4$ y logrando un 93 % de aceptación.

En el trabajo de Cortés [5], se evaluó la implementación de COBIT 2019 en la Municipalidad de Carrillo, Costa Rica, mediante auditorías internas y matrices de madurez. Se plantearon acciones correctivas en los dominios APO y DSS, aumentando el cumplimiento del 68 % al 87 % y la madurez de $2{,}3$ a $3{,}1$.

Por su parte, Alvarado y Andrade [6] propusieron un modelo de gobierno de TI basado en COBIT 2019 para una institución educativa pública, centrado en procesos críticos como APO01, APO07, BAI01, BAI03, DSS01, DSS05 y MEA01. En este estudio, se identificó un nivel inicial de $1{,}58$ y se planteó un plan de mejora proyectando niveles entre $2{,}5$ y $3{,}0$, con un aumento esperado del 45 % en cumplimiento, destacando la importancia del talento humano y la evaluación continua.

En la investigación de Lompoliu [7] se reportó una reducción del 40 % en incidentes de seguridad y un 98 % de aceptación institucional. El modelo planteado por Abdullah y Mustofa [8] analizó la aplicación de COBIT 2019 en el Ministerio de Educación y Cultura de Indonesia, concluyendo que fortaleció la toma de decisiones, elevando la madurez de $2{,}2$ a $3{,}3$ y la efectividad en un 27 %.Según Jaime y Barata [9] se realizó un mapeo entre herramientas FLOSS y los objetivos de COBIT 2019, mejorando la gobernanza de TI en entidades públicas, reduciendo costes operativos en un 30 %, alcanzando un nivel de madurez de $3{,}0$ y cubriendo el 75 % de los objetivos.

En la propuesta de Jennifer Felicia [10] auditó la implementación de software contable en escuelas secundarias de Yakarta usando COBIT 2019. La madurez promedio fue baja ($1-2$, media $1{,}4$) frente al nivel esperado 5, con una brecha superior al 70 % y recomendaciones específicas por dominio.

Carlos Prasca y Adriana Suárez [11] diseñaron un modelo de gobernanza para la Gobernación del Atlántico alineado con COBIT 2019 y la política de Gobierno Digital. Los procesos clave tenían niveles entre $0{,}7$ y $1{,}2$, proponiendo un plan para alcanzar niveles $2-3$ en dos años. Yohanes Beato y Ditdit Nugeraha [12] evaluaron la continuidad del negocio en instituciones públicas con COBIT 2019 (DSS04), encontrando madurez parcial en nivel 1, con solo el 30 % de salvaguardas implementadas y una brecha significativa para alcanzar nivel 3.

Según Jose Torregroza [13] destacó que las pequeñas organizaciones suelen partir de niveles bajos $(0-1)$ y, con prácticas recomendadas, pueden avanzar a niveles $2-3$ para maximizar recursos tecnológicos. Fitriyani y Muhammad [14] concluyeron que COBIT 2019 es efectivo en instituciones educativas con recursos limitados como la Universidad Estatal de Malang, aumentando la madurez de $1{,}9$ a $3{,}2$ y alcanzando un 96 % de aceptación. En

el estudio de Ramadhani [15] se encontró que COBIT 2019 permitió a BTS.id optimizar áreas críticas, elevando el cumplimiento en un 22 % y la gestión de riesgos al 90 %. Por último, Rizky [16] evaluó la gobernanza en SMK Negeri 4 Malang (DSS02), identificando nivel 2 y proyectando nivel 3 en 12 meses, con mejoras del 18 % en tiempos de respuesta y 25 % en satisfacción.

En el caso específico del GADP-Tufiño, enfrenta riesgos en la protección de su información, activos e infraestructura tecnológica. Carece de una estructura adecuada y de políticas claras para gestionar sus activos tecnológicos, como servidores, sistemas de acceso y equipos de red. En la evaluación de madurez de los procesos clave mediante COBIT 2019 se utilizaron dominios como APO01 gestionar el marco de gobierno, APO03 gestionar la arquitectura empresarial, APO12 gestionar los riesgos de TI, APO13 gestionar la seguridad, DSS05 gestionar la seguridad de los servicios [17]. Frente a este panorama, se emplea el marco COBIT 2019 a través de los Factores de Diseño (DF), los cuales permiten estructurar el sistema de gobernanza de una organización [18].

COBIT 2019 define once (DF) [19] que influyen directamente en cómo debe ser diseñado un sistema de gobierno de TI para una organización y establece el Nivel Objetivo Sugerido de Capacidad de Procesos (NOSCP), como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: (NOSCP)

Proceso COBIT	NOSCP
APO001	2
APO003	1
APO012	2
APO013	4
DSS06	3

Este estudio se enfoca en el GADP-Tufiño, una entidad con infraestructura limitada y carente de políticas formales de seguridad informática, mediante la evaluación de la madurez de los procesos clave. El objetivo general es diagnosticar y proponer un modelo metodológico replicable para medir y fortalecer la madurez de los procesos de TI mediante COBIT 2019 [17], validando las acciones mediante el método Delphi.

2. Materiales y métodos

Se adoptó un enfoque cualitativo-descriptivo con componentes cuantitativos para evaluar la madurez en seguridad informática, el análisis documental y la observación directa permitieron explorar políticas y prácticas institucionales, mientras que la encuesta estructurada al personal del GADP-Tufiño cuantificaron la percepción sobre la eficacia de los controles y la alineación de los procesos de TI.

La metodología se organizó en cinco fases secuenciales, representadas en la figura 1, y se fundamentó en el marco de referencia COBIT 2019, reconocido por sus lineamientos estructurados para la gobernanza y gestión de tecnologías de información.

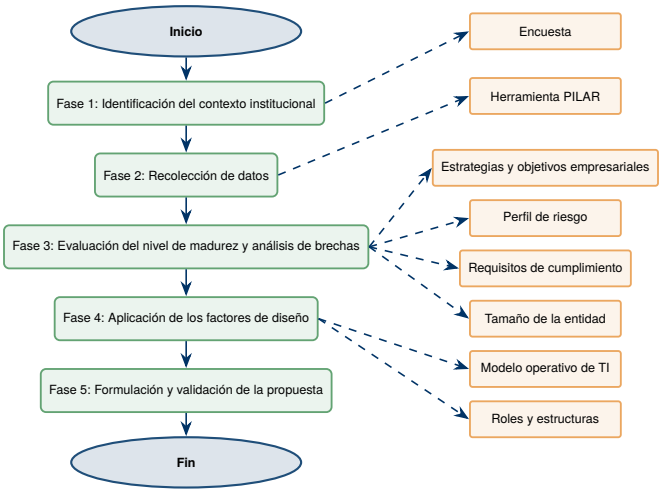

Figura. 1: Fases secuenciales del proceso metodológico fundamentadas en el marco COBIT 2019. Autoría propia.

Fase 1: identificación del contexto institucional

Se inició con el análisis del entorno operativo del GADP-Tufiño, recopilando información sobre su estructura organizacional, recursos tecnológicos disponibles y nivel de formalización de procesos de TI, para ello, se aplicó una encuesta al personal técnico y administrativo, con el propósito de identificar el nivel de conocimiento en aspectos relacionados con seguridad informática y gobernanza tecnológica.

Fase 2: recolección de datos

Se utilizó una combinación de observación directa, encuestas semiestructuradas donde se realizó un formulario en google forms compuesta por 15 preguntas alineadas a los dominios APO y DSS seleccionados y se realizó la revisión documental para identificar la existencia de políticas o manuales de seguridad.

Se utilizó la herramienta PILAR, orientada al análisis de riesgos, la cual es una aplicación de carácter privativo, para identificar activos críticos, amenazas, controles existentes y carencias en la infraestructura tecnológica, el análisis se realizó mediante una versión de prueba de la herramienta, lo que permitió obtener información relevante que fue contrastada con los objetivos estratégicos institucionales y los requerimientos operativos del GADP-Tufiño.

Fase 3: evaluación de madurez y análisis de brechas

Con base en los datos recopilados, se aplicó la escala de madurez del modelo COBIT 2019 a cinco dominios clave: APO01, APO03, APO12, APO13 y DSS05. Para cada dominio, se evaluaron las prácticas existentes frente al modelo de capacidad, que abarca los niveles desde 0 (inexistente) hasta 5 (optimizado).

A partir de esta evaluación se determinaron las brechas entre el estado actual y el Nivel de Capacidad Objetivo (NCO) deseado, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Niveles de madurez en COBIT 2019 (modelo de capacidad)

Nivel	Descripción
0 - Incompleto	El proceso no alcanza su propósito ni está implementado.
1 - Realizado	El proceso se ejecuta, pero sin control formal ni consistencia.
2 - Gestionado	El proceso está planificado, monitoreado y ajustado cuando es necesario.
3 - Establecido	El proceso sigue procedimientos documentados y se implementa consistentemente.
4 - Predecible	El proceso se mide y es capaz de alcanzar resultados esperados con estabilidad.
5 - Optimizado	El proceso se mejora continuamente basado en datos y análisis de desempeño.

Fase 4: aplicación de factores de diseño

Se analizaron los (DF), establecidos por COBIT 2019, incluyendo: perfil de riesgos, tamaño de la entidad, modelo operativo de TI, requisitos de cumplimiento normativo, estructuras organizativas y objetivos institucionales, esta fase permitió personalizar las recomendaciones de mejora y asegurar su viabilidad de implementación.

Por lo tanto, se justifica la selección de los procesos APO01, APO03, APO12, APO13 y DSS05 como ejes prioritarios para fortalecer la gobernanza de las tecnologías de la información dentro del GADP-Tufiño, como se muestra en la Tabla 3.

Para determinar el nivel de madurez de los procesos de seguridad informática del GADP-Tufiño, se aplicaron los dominios APO01, APO03, APO12, APO13 y DSS05 del marco COBIT 2019, analizando cada uno mediante técnicas estadísticas descriptivas como el promedio, desviación estándar.

Inicialmente, se obtuvo el promedio de los resultados de la encuesta realizada al personal clave, con el fin de identificar la consistencia y dispersión de los datos. En la figura 2, se representan los valores obtenidos, considerando el nivel promedio de madurez en el rango de 0 a 5, correspondiente al (Modelo de Capacidad).

Tabla 3: Factores de diseño evaluados por proceso COBIT 2019

Proceso COBIT	Factores de diseño evaluados
APO01	DF1, DF2, DF7, DF11
APO03	DF1, DF4, DF7
APO12	DF2, DF3, DF5, DF6
APO13	DF4, DF5, DF6
DSS05	DF3, DF4, DF5, DF6

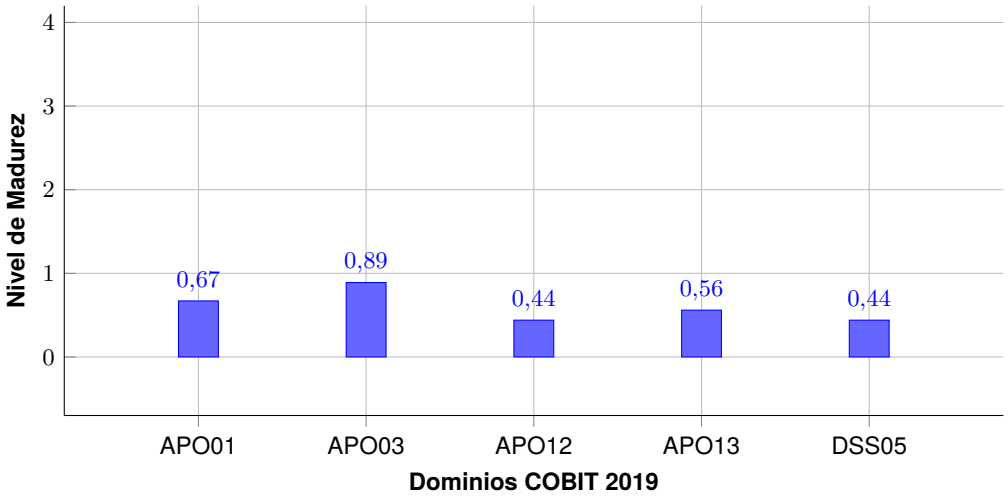

Figura. 2: Evaluación del nivel de madurez por dominio según COBIT 2019

Los resultados son bajos, ya que ningún dominio alcanza el nivel mínimo (1 Realizado). Se consideró el uso de (DF), que implica analizar la situación actual de la organización considerando aspectos clave como la estrategia empresarial y los riesgos tecnológicos, como se muestra en la figura 3, al aplicar (DF) en el marco COBIT 2019, como complemento a los dominios APO01, APO03, AP012, APO13, DSS05, lo que permitió la implementación del sistema de gobernanza personalizado y adecuado a las necesidades y capacidades del entorno institucional.

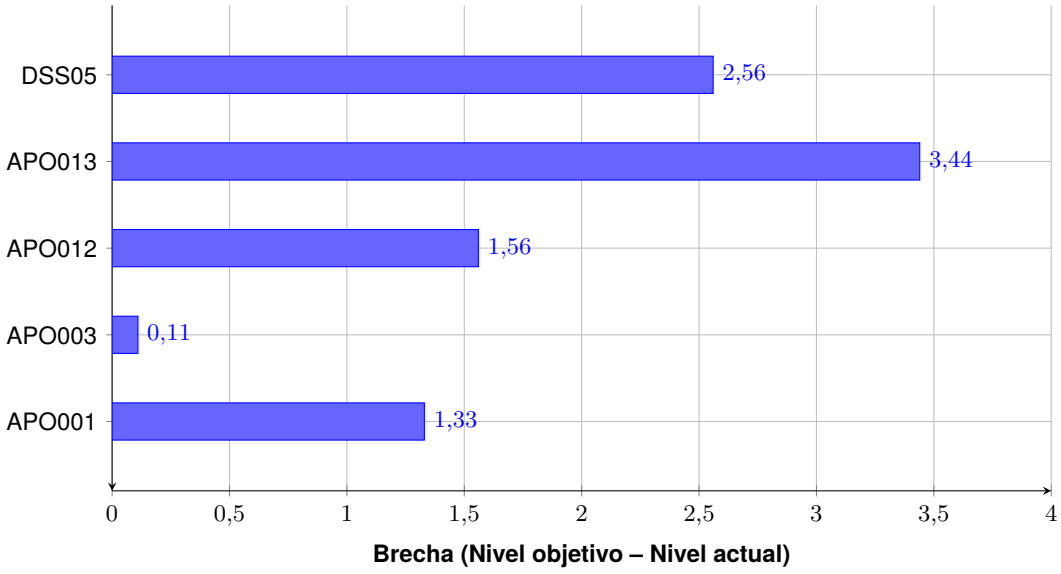

Figura. 3: Comparación de la brecha entre el nivel objetivo y el nivel actual por proceso COBIT

Para caracterizar cuantitativamente el estado de los procesos evaluados, se calcularon indicadores estadísticos clave que permiten comprender tanto el nivel actual como las aspiraciones de madurez institucional. Entre estos se incluyen la media de la madurez promedio (MMP), la desviación estándar (DE), la media del nivel objetivo (MNO) y la media de la brecha (MB), estos valores facilitan identificar las debilidades actuales, la consistencia entre procesos y el esfuerzo requerido para alcanzar los objetivos establecidos.

La media de la madurez promedio se calcula según la ecuación (1).

$$\bar{x} = \frac{\sum \text{madurez}}{n} \tag{1}$$

El valor obtenido para la MMP fue 0,60, este valor representa el estado actual de madurez de los procesos evaluados, que sugiere que los procesos apenas se están ejecutando.

La desviación estándar se calcula según la Ecuación (2).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{2}$$

El valor obtenido de la desviación estándar fue 0,60, un valor que implica que hay cierta variabilidad, pero que la mayoría de los procesos evaluados están igualmente bajos.
Media del Nivel Objetivo

$$MNO = \frac{2+1+2+4+3}{5} = \frac{12}{5} = 2,4$$

El valor de 2,4 indica que la organización aspira a que sus procesos estén definidos y gestionados.
Media de la Brecha (MB)

$$MB - NO - NP = \frac{1,33+0,11+1,56+3,44+2,56}{5} = \frac{9}{5} = 1,8$$

Una brecha de 1,8 puntos es significativa, y señala que la organización necesita escalar al menos dos niveles de madurez por proceso.

La figura 4 muestra una comparación gráfica de los valores clave según el marco COBIT 2019.

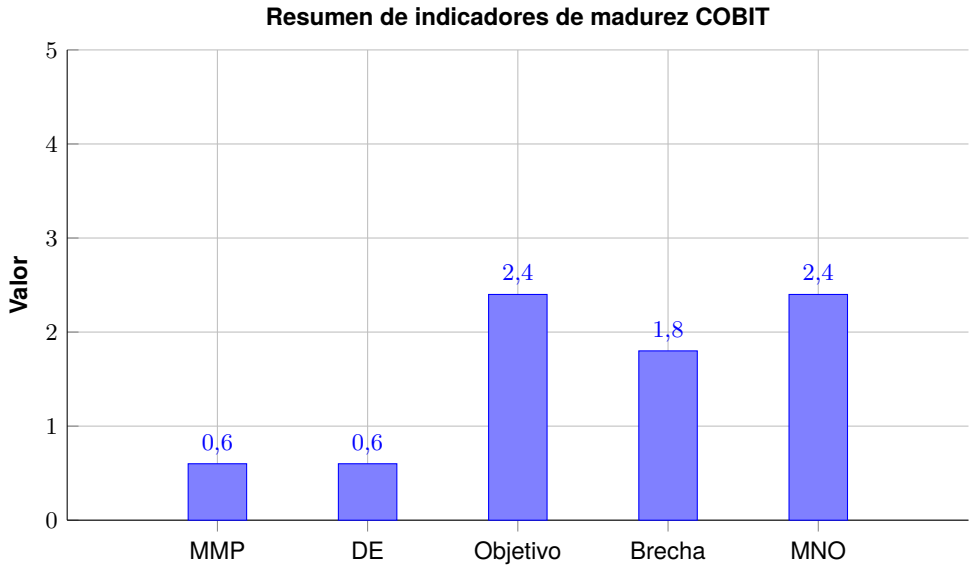

Figura. 4: Comparación de indicadores clave: madurez promedio, desviación estándar, nivel objetivo y brecha

El uso de la herramienta PILAR permitió identificar las brechas en la infraestructura tecnológica, además de establecer un diagnóstico inicial del nivel de madurez en la implementación de controles de seguridad. También permitió identificar los controles que requieren fortalecimiento y priorizar acciones según la exposición al riesgo, el cumplimiento normativo y la criticidad de los servicios tecnológicos evaluados. El significado de los niveles L0 a L5 de la aplicación PILAR se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Significado de los niveles L0 a L5 de la aplicación PILAR

Nivel	**Descripción**	**Interpretación práctica**
L0	Inexistente	No existe ningún tipo de control implementado.
L1	Implementación mínima	El control existe de forma informal o parcial.
L2	Implementación básica	El control está documentado y parcialmente aplicado.
L3	Implementación completa	El control está completamente implementado y se encuentra en operación.
L4	Gestión activa	El control es monitoreado y revisado regularmente.
L5	Optimización y mejora continua	El control se mejora continuamente mediante métricas y análisis.

Cada fila representa una salvaguarda (control de seguridad).

Nivel actual (current) → qué tan implementada está.

Nivel objetivo (target) → meta recomendada.

Nivel de PILAR sugerido → en algunos casos aparece “L2-L5”.

Como parte del análisis, la Tabla 5 muestra la evaluación del nivel de implementación de las salvaguardas.

Tabla 5: Evaluación de salvaguardas: situación actual y niveles objetivo

Aspecto	**TDP**	**Rec.**	**Salvaguarda**	**Current**	**Target**
G	EL	5	Identificación y autenticación [IA]	-L1	L2-L5
T	EL	4	Control de acceso lógico [AC]	-L1	L2-L4
G	PR	4	Protección de la Información [INF]	-L1	L2-L4
T	EL	4	Protección de claves criptográficas [SC-12]	L0	L2-L3
G	PR	5	[PE] Protección física de los equipos	L1	L3
G	CR	5	[IM] Gestión de incidentes	-L1	L2-L3
F	EL	8	[tools] Herramientas de seguridad	-L1	L2-L3
G	CR	5	[VR] Gestión de vulnerabilidades	—	L2-L3
G	AD	3	[NEW] Adquisición / desarrollo	-L1	L2-L3
G	PR	3	[PPS] Protección del perímetro físico	-L1	L3

Los resultados de las salvaguardas muestran niveles de -L1 o L0, lo que denota un estado de no implementación. La comparación entre los niveles actuales identificados y el nivel deseado (L3) evidencia brechas que indican debilidades en la implementación o la ausencia de controles, como se puede observar en la figura 5.

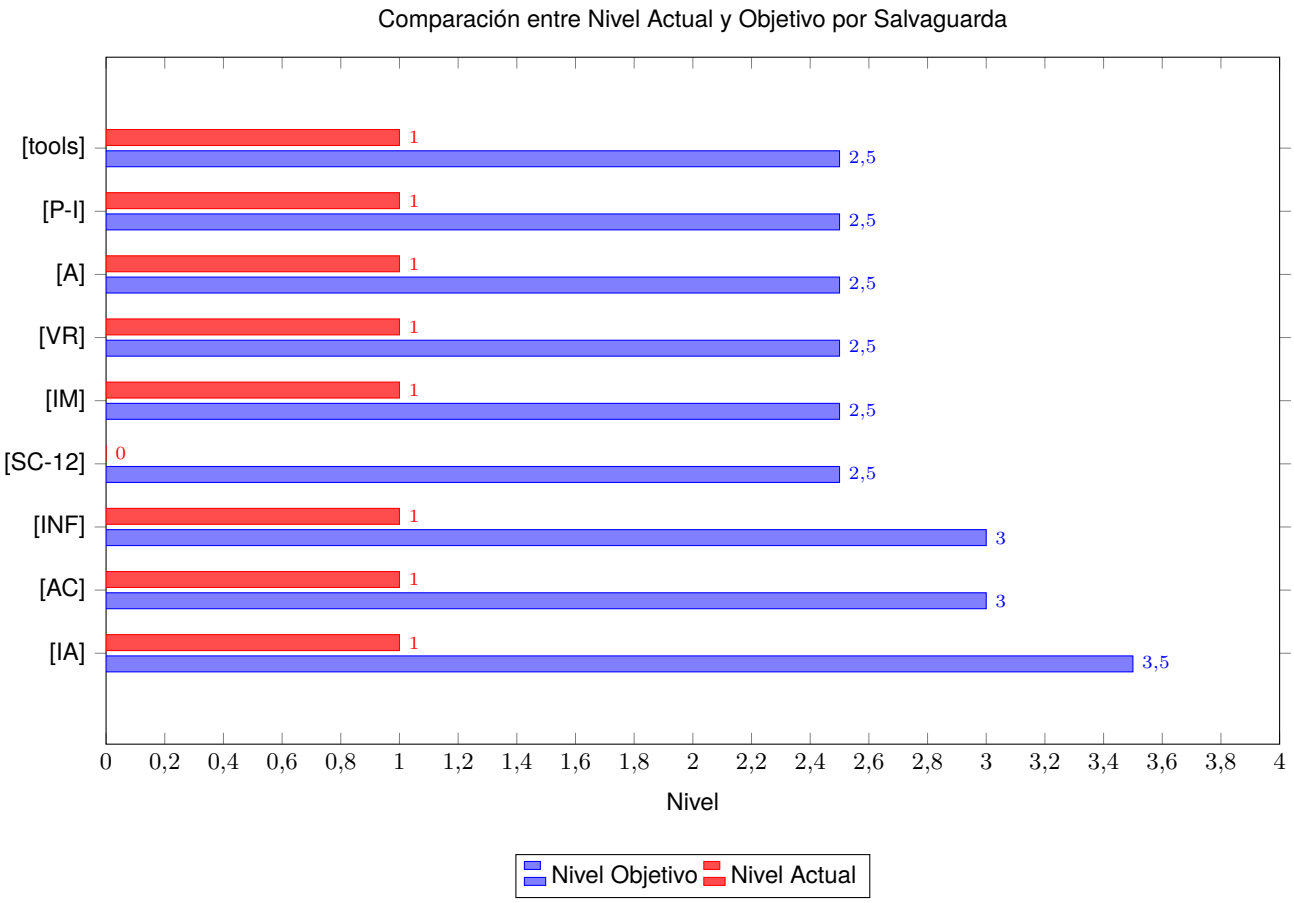

Figura. 5: Comparación entre nivel actual y objetivo por salvaguarda. Autor propio.

Fase 5: formulación y validación de la propuesta

A partir del diagnóstico y del análisis de brechas, se diseñó una propuesta de mejora que incluyó controles técnicos y administrativos; las acciones sugeridas abarcaron la implementación y creación de políticas de seguridad y campañas de concienciación institucional. La propuesta fue evaluada mediante el método Delphi en dos rondas, con la participación de diez expertos en ciberseguridad y gobernanza de TI con experiencia en el sector público y privado, se empleó una escala Likert de cinco niveles para determinar el grado de madurez.

En la primera ronda se recolectaron respuestas individuales mediante una matriz estructurada. Los expertos evaluaron los dominios APO01, APO03, APO12, APO13 y DSS05, emitiendo observaciones como la implementación de una política para auditoría interna y mejora continua (MEA01), que está directamente relacionada con documentar, avaluar y monitorear los controles de seguridad y el seguimiento para fortalecer políticas específicas, como respaldo de datos, definición de roles de gobernanza y gestión de incidentes.

En la figura 6 se observa qué políticas tienen bajo desempeño y cuáles presentan alta dispersión, lo que indica desacuerdo entre evaluadores o implementación inconsistente. A partir de sus sugerencias se realizaron ajustes en el documento de políticas y se clarificaron los criterios de evaluación.

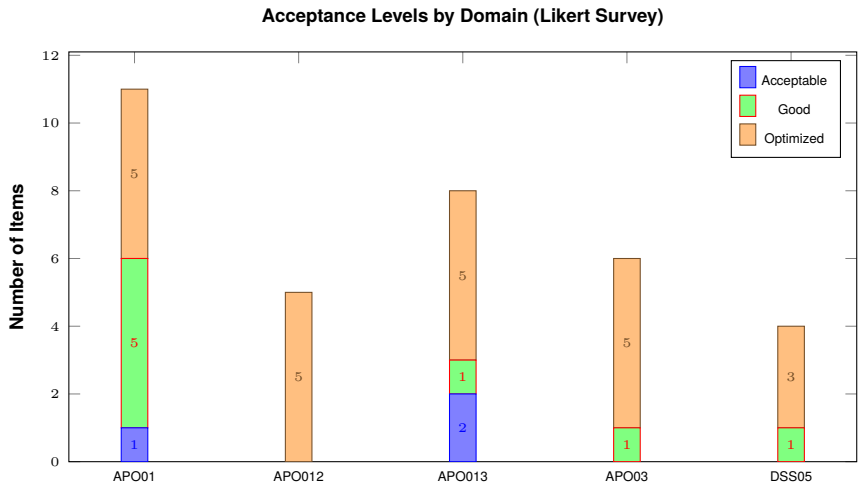

Figura. 6: Acceptance Levels by Domain in Likert-Type Survey

El entorno evaluado en la Tabla 6 muestra una implementación madura de los procesos de gobernanza y gestión de TI, sin registros de debilidades significativas (niveles Aceptables). Los dominios DSS05 y APO12 lideran en cuanto a desempeño optimizado, mientras que APO1,APO03 y APO013 requieren atención específica para escalar sus buenas prácticas al siguiente nivel. En conjunto, estos resultados respaldan un entorno de TI bien gestionado y seguro, alineado con buenas prácticas internacionales.

Tabla 6: Madurez Promedio por dominio

Dominio	**Promedio**
APO01	4,49
APO012	4,74
APO013	4,49
APO03	4,58
DSS05	4,68

El cálculo del Índice de Aceptación se obtuvo a partir del promedio real general (4,60), según la siguiente expresión (3):

$$\text{Índice de Aceptación} = \frac{4{,}60}{5} \cdot 100 = 92\,\% \tag{3}$$

Este valor indica el porcentaje de aceptación respecto a la escala máxima, el índice global de aceptación es del 92 %, lo cual representa un nivel favorable en la escala de 5 puntos. Esto refleja que la percepción de cumplimiento o madurez en los dominios evaluados está en el nivel optimizado. En la segunda ronda, se aplicó el instrumento con las correcciones de la primera ronda, no se registraron nuevas observaciones ni cambios significativos en las puntuaciones, alcanzando el nivel de madurez esperado y una validación metodológica exitosa, figura 7. Se puede evidenciar una mejora significativa en la segunda ronda, demostrando que las sugerencias fueron implementadas exitosamente y que se alcanzó un alto nivel de acuerdo entre los evaluadores.

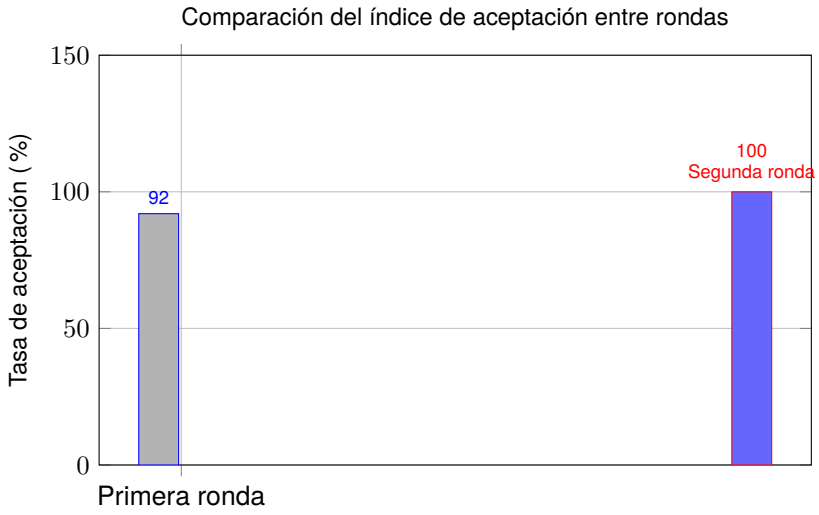

Figura. 7: Índice de aceptación

La selección de COBIT 2019 respondió a su enfoque integral y adaptable, ideal para instituciones pequeñas con necesidades concretas de gobernanza de TI, su estructura permite evaluar la madurez, definir brechas y personalizar soluciones mediante factores de diseño [17].La metodología DELPHI fue adecuada para validar la propuesta con expertos de forma estructurada y anónima, como se recomienda en contextos donde se requiere consenso técnico [12].

La herramienta PILAR es de acceso gratuito por 30 días, lo que la hace viable para gobiernos locales con recursos limitados [20], y permitió evaluar amenazas y vulnerabilidades, integrando un enfoque técnico accesible y coherente con los principios de COBIT 2019.

La Tabla 7 presenta un resumen de los procesos COBIT 2019 priorizados, detallando el nivel inicial de madurez, las acciones de mejora propuestas y el nivel de madurez esperado para cada dominio. Estas acciones se definieron a partir del análisis integrado de la evaluación de salvaguardas mediante la herramienta PILAR, el escaneo de vulnerabilidades externas y los resultados de la encuesta institucional, los cuales evidenciaron debilidades significativas en gobernanza, arquitectura empresarial, gestión de riesgos, seguridad de la información y gestión de incidentes. La implementación de estas políticas permite establecer una hoja de ruta estructurada para el fortalecimiento progresivo de la seguridad informática y la gobernanza de TI en el GADP-Tufiño.

Tabla 7: Resumen de procesos COBIT 2019: nivel inicial, acciones de mejora y nivel esperado

Proceso	Nivel inicial	Acción de mejora propuesta	Nivel esperado
APO01	0,67	Definir y formalizar un marco de gobernanza de TI mediante políticas institucionales de seguridad, uso aceptable, gestión de contraseñas, control de software y dispositivos, asignación clara de roles y responsabilidades, así como capacitación continua del personal en buenas prácticas de seguridad informática.	2
APO03	0,89	Documentar y mantener actualizado el mapa de procesos institucionales, alineando los sistemas y activos tecnológicos a los procesos estratégicos y operativos, promoviendo la estandarización, automatización y mejora continua orientada a la atención ciudadana.	1

Tabla 7 – continuación

Proceso	Nivel inicial	Acción de mejora propuesta	Nivel esperado
APO12	0,44	Implementar una gestión activa de riesgos de TI mediante la identificación sistemática de riesgos, su registro en una matriz institucional, evaluación de impacto y probabilidad, definición de acciones de mitigación, asignación de responsables y capacitación básica del personal.	2
APO13	0,56	Establecer políticas básicas de seguridad de la información que regulen el uso de contraseñas, dispositivos, correo electrónico, almacenamiento seguro, controles de acceso y respaldos periódicos, fortaleciendo la protección de los datos institucionales.	4
DSS05	0,44	Definir e implementar procedimientos formales para la gestión de incidentes de seguridad, incluyendo mecanismos de reporte, respuesta, seguimiento y documentación, con el fin de garantizar la continuidad de los servicios tecnológicos.	3

3. Resultados

Los resultados se analizaron de manera progresiva conforme a las cinco fases metodológicas, en la Fase (i), se identificó la ausencia de políticas formales de seguridad y gobernanza. En la Fase (ii), la aplicación de encuestas y la herramienta PILAR evidenció salvaguardas en niveles L0 y L1. La Fase (iii) permitió cuantificar una madurez promedio de 0,60 y brechas significativas frente al nivel objetivo. En la Fase (iv), los factores de diseño de COBIT 2019 orientaron la priorización de procesos críticos. Finalmente, en la Fase (v), se formuló un plan integral de mejoras, validado mediante Delphi, que permitió alcanzar niveles de madurez superiores a $4{,}5$ en todos los dominios evaluados.

Como síntesis cuantitativa de la evaluación inicial, el nivel de madurez promedio fue 0,60, mientras que el nivel objetivo determinado por los factores de diseño fue 2,4, resultando en una brecha promedio de 1,8. Ningún dominio alcanzó el nivel 1 (realizado) inicialmente y, de forma consistente, la herramienta PILAR reveló que múltiples salvaguardas se encontraban en niveles L0 o L1 (no implementadas o incipientes).

Adicionalmente, se aplicó la prueba t de Student para muestras pareadas con el fin de comparar los puntajes promedio por dominio correspondientes a la primera y segunda ronda del método Delphi. En la Tabla 8, se muestran los resultados con una diferencia estadísticamente significativa ($t = -8{,}04$; $p = 0{,}0013$), lo cual respalda que las mejoras introducidas tuvieron un impacto positivo validado por los expertos. Este hallazgo fortalece la validez empírica del modelo propuesto para incrementar la madurez institucional.

Tabla 8: Resultados de la prueba t para muestras pareadas entre rondas Delphi

Métrica	Valor
Media de diferencias (Δ)	-0,404
Desviación estándar de diferencias	0,095
Número de dominios evaluados (n)	5
Estadístico t calculado	-8,04
Valor p (significancia bilateral)	0,0013

4. Conclusiones

La aplicación del marco COBIT 2019, junto con los factores de diseño y la metodología Delphi, permitió evaluar de manera estructurada la madurez de la gobernanza de tecnologías de la información en el GADP-Tufiño. Los resultados evidenciaron un nivel de madurez promedio inicial de 0,60 sobre 5, lo que refleja una ejecución incipiente de los procesos de TI, ausencia de documentación formal y limitados mecanismos de control institucional. Asimismo, la brecha promedio de 1,8 puntos respecto al nivel objetivo confirma la existencia de deficiencias estructurales en la gobernanza de TI, especialmente en procesos relacionados con la seguridad de la información, la gestión de riesgos y la gestión de incidentes.

El plan de mejora propuesto, alineado con COBIT 2019, permitió establecer acciones orientadas a la formalización de políticas, asignación de responsabilidades, fortalecimiento de controles, gestión de riesgos y atención de incidentes de seguridad. La validación mediante el método Delphi evidenció un alto nivel de consenso entre los expertos, alcanzando un índice de aceptación del 92 % en la primera ronda y del 100 % en la segunda. Este resultado demuestra la pertinencia, coherencia y viabilidad de las acciones propuestas para fortalecer la gobernanza de TI en una institución pública rural con recursos tecnológicos y organizativos limitados.

La selección de procesos COBIT 2019 como APO01, APO03, APO12, APO13 y DSS05 permitió focalizar el diagnóstico en áreas críticas para la institución. Además, a partir de las recomendaciones obtenidas durante la validación experta, se consideró pertinente incorporar el proceso MEA01, relacionado con el monitoreo, evaluación y valoración del desempeño y la conformidad. Esta incorporación fortalece el enfoque de seguimiento continuo, auditoría interna y control institucional, aspectos necesarios para garantizar la sostenibilidad de las mejoras planteadas.

En comparación con estudios similares, como el caso de la Municipalidad de Carrillo, Costa Rica [5], los hallazgos coinciden en evidenciar niveles iniciales bajos de madurez de TI en instituciones públicas. Sin embargo, el presente estudio se diferencia por integrar COBIT 2019 con la metodología Delphi como mecanismo de validación estructurada, permitiendo no solo diagnosticar brechas, sino también validar acciones de mejora con respaldo experto y enfoque cuantificable.

Finalmente, se concluye que COBIT 2019 constituye un marco adaptable y replicable para fortalecer la gobernanza de TI en instituciones públicas pequeñas. Su combinación con la metodología Delphi aporta una estrategia metodológica sólida para evaluar, priorizar y validar mejoras orientadas a la seguridad de la información, la gestión de riesgos, la continuidad de servicios tecnológicos y el alineamiento estratégico institucional. Como trabajo futuro, se recomienda implementar el plan de mejoras propuesto, aplicar las políticas de seguridad sugeridas y realizar evaluaciones periódicas que permitan verificar el avance real de la madurez de TI en el GADP-Tufiño.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de contribución de autores — CRediT

Conceptualización: J.I., M.P.

Metodología: J.I., M.P.

Validación: J.I., M.P.

Análisis formal: J.I., M.P.

Investigación: J.I., M.P.

Recursos: J.I., M.P.

Curación de datos: J.I.

Redacción — borrador original: J.I.

Redacción — revisión y edición: J.I., M.P.

Visualización: J.I.

Supervisión: M.P.

Administración de proyectos: J.I.

Financiación

No aplica.

Reseñas de autores

Jenny Paulina Iñiguez Zambrano

Jenny Paulina Iñiguez Zambrano es Ingeniera en Tecnologías de la Información por la Universidad Técnica del Norte (UTN), Ecuador. Su formación e intereses investigativos se orientan a la gobernanza de tecnologías de la información, seguridad informática, ciberseguridad y evaluación de procesos tecnológicos mediante marcos de referencia como COBIT 2019. Ha desarrollado investigaciones relacionadas con la evaluación de la madurez de la seguridad informática y la formulación de propuestas de mejora para instituciones públicas. Es autora de trabajos científicos vinculados con la gobernanza y gestión de TI.

Correo: jennypauly31@gmail.com

ORCID: 0009-0004-9085-7899

Marco Pusdá-Chulde

Marco Pusdá-Chulde es Ingeniero en Sistemas Computacionales y Magíster en [Nombre de Maestría] por la Universidad Técnica del Norte. Actualmente se desempeña como docente e investigador en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte en Ibarra, Ecuador. Es miembro del Grupo de Investigación en Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial (GISIA). Sus líneas de investigación se centran en ciberseguridad, seguridad de la información, gobernanza de TI, computación de alto rendimiento, visión por computador e inteligencia artificial.

Correo: mrpusda@utn.edu.ec

ORCID: 0000-0003-4265-999X

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial

SÍ se utilizó inteligencia artificial como apoyo técnico o complementario, cuyos detalles se desglosan a continuación.

Elaboración o redacción del manuscrito: Se usó.

Corrección gramatical, sintáctica o estilística: Se usó.

Traducción de idioma:

Búsqueda y revisión de referencias / literatura: Se usó.

Sugerencias de estructura general del texto: Se usó.

Generación o procesamiento de imágenes / gráficos: Se usó.

Asistencia en programación / análisis de datos: Se usó.

Otra finalidad: Se usó.

Referencias

[1] M. Abdullah, A. Mustofa, and F. Rahman, “Leveraging cobit 2019 to implement it governance in public institutions,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 975, no. 8887, pp. 25–30,

2020, aplicación en el Ministerio de Educación y Cultura de Indonesia. [Online]. Available: https://www.ijcaonline.org/archives/volume975/number8887/ijca920833.pdf

[2] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), "Suplemento nétextordmasculine 328 - registro oficial 2, viernes 9 de junio de 2023," *Registro Oficial*, vol. 328, no. 2, Jun. 2023.

[3] S. N. de Planificación, "Plan de desarrollo para el nuevo ecuador 2024–2025," 2023.

[4] J. Tipán, "Modelo de ciberseguridad basado en cobit 2019 y nist para la empresa pública cnt," Tesis de Maestría, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2022.

[5] A. Cortés, "Evaluación de la implementación de cobit 2019 en la municipalidad de carrillo, costa rica," Master's thesis, Universidad de Costa Rica, 2020. [Online]. Available: https://repositorio.ucr.ac.cr/handle/10669/82069

[6] D. Pauta, "Gestión de gobierno de ti basado en cobit 2019 para el colegio de bachillerato a distancia calderón," Tesis de Maestría, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2022. [Online]. Available: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8219399.pdf

[7] E. Lompoliu and G. W. Tangka, "Enhancing it governance at bps manado: A cobit 2019 framework implementation study," *TeIKa*, vol. 14, no. 1, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.36342/teika.v14i1.3325

[8] M. Abdullah, A. Mustofa, and F. Rahman, "Cobit 2019 for enhanced ict governance: A case study," *International Journal of Computer Applications*, vol. 975, p. 8887, 2020. [Online]. Available: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/he-07-2020-0047/full/html

[9] L. Jaime and J. Barata, "How can floss support cobit 2019? coverage analysis and a conceptual framework," *Procedia Computer Science*, vol. 219, pp. 680–687, 2023, open access under CC BY-NC-ND license. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.339

[10] J. Felicia, J. F. Andry, F. Adikara, D. Y. Bernanda, and K. Christianto, "Leveraging cobit 2019 to measure the accounting software implementation in high schools for better transparency," *Journal of Computer Science*, vol. 20, no. 2, pp. 218–228, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.3844/jcssp.2024.218.228

[11] C. J. P. Aya and A. M. S. Iguarán, "Modelo de gobierno y gestión de ti para desplegar la política de gobierno digital en las entidades tipo gobernación," Master's thesis, Fundación Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, 2019, tesis de Maestría en Gobierno de Tecnología Informática.

[12] R. Dionisio, Armand y Utama, "Aplicación de cobit 2019 en instituciones públicas del sudeste asiático," pp. 45–58, 2019.

[13] J. C. T. Rodríguez, "Gobierno de tic y sus beneficios para organizaciones pequeñas," Universidad Piloto de Colombia, Tech. Rep., 2023, trabajo académico. [Online]. Available: mailto:jose-torregroza@upc.edu.co

[14] B. Y. Fitriyani and A. H. Muhammad, "Cobit 2019 for enhanced ict governance: A case study at a higher education institution," *Journal of Information Systems and Informatics*, vol. 7, no. 1, pp. 45–62, 2025, licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License. [Online]. Available: https://doi.org/10.51519/journalisi.v7i1.972

[15] D. S. Ramadhani, B. Sugiantoro, and A. Nugroho, "Optimizing it governance in bts.id: A cobit 2019-based capability level assessment," *Procedia Computer Science*, vol. 197, pp. 334–341, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.152

[16] A. Rizky, Erman, Yuniar, and Nurfajriani, "Audit tata kelola ti menggunakan cobit 2019 domain dss02," *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, vol. 4, no. 2, pp. 45–55, 2023. [Online]. Available: https://ejournal.uin-malang.ac.id/index.php/jtsi/article/view/25975

[17] ISACA, *COBIT 2019 Framework: Introduction and Methodology*. Rolling Meadows, IL: ISACA, 2018.

[18] F. Hasson, S. Keeney, and H. McKenna, "Research guidelines for the delphi survey technique," *Journal of Advanced Nursing*, vol. 32, no. 4, pp. 1008–1015, 2000. [Online]. Available: https://doi.org/10.1046/j.1365-2648.2000.t01-1-01567.x

[19] ISACA, *COBIT 2019 Design Guide: Designing an Information and Technology Governance Solution*. Rolling Meadows, IL: ISACA, 2019.

[20] C. C. Nacional, “Pilar: Herramienta de análisis de riesgos,” https://www.ccn-cert.cni.es, 2020, disponible en: https://www.ccn-cert.cni.es/seguridad/pilar.html.

IDEAS

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

Journal homepage: https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Modelo basado en la integración de enfoques ágiles y las prácticas de la guía PMBOK y su relación con la calidad y satisfacción del cliente en la empresa WFM Telecom SAC

Model based on the integration of agile approaches and PMBOK guide practices and its relationship with quality and customer satisfaction in WFM Telecom SAC

Andres Marthans[a], Franklin Flores-Ayala[a], Sandra Leon Vera[b], Cayo Leon[a]

[a]Universidad Nacional Mayor de San Marcos

[b]Pontificia Universidad Católica del Perú

Recibido/Received: 2026-06-03
Aceptado/Accepted: 2026-07-17
Publicado/Published: 2026-07-31
Autor de correspondencia: andres.marthans@unmsm.edu.pe
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1403
Copyright: CC BY 4.0

PALABRAS CLAVES:

Enfoques Ágiles, Guía PMBOK, Calidad, Satisfacción del cliente, Gestión de proyectos.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar la relación entre un modelo basado en la integración de enfoques ágiles y las prácticas de la guía PMBOK con la calidad y satisfacción del cliente en la empresa WFM Telecom SAC. Se empleó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, de nivel descriptivo correlacional y de diseño no experimental de corte transversal. La población y la muestra estuvieron conformadas por 31 clientes, seleccionados mediante muestreo censal. Se aplicaron tres cuestionarios tipo Likert, validados por juicio de expertos y con confiabilidad adecuada. Los resultados evidenciaron una correlación positiva y significativa entre el modelo integrado y la calidad ($r = 0.682$; $p = 0.000$), así como entre el modelo integrado y la satisfacción del cliente ($r = 0.802$; $p = 0.000$). Se concluye que la articulación entre prácticas ágiles y prácticas PMBOK fortalece la calidad del servicio y mejora la satisfacción del cliente.

KEYWORDS:

Agile approaches, PMBOK guide, Quality, Customer satisfaction, Project management.

ABSTRACT

The study aimed to determine the relationship between a model based on the integration of agile approaches and PMBOK guide practices, and quality and customer satisfaction in WFM Telecom SAC. A quantitative, applied, descriptive correlational, and cross sectional non experimental design was used. The population and sample consisted of 31 clients selected through census sampling. Three Likert type questionnaires were applied, validated through expert judgment and with adequate reliability. The results showed a positive and significant correlation between the integrated model and quality ($r = 0.682$; $p = 0.000$), as well as between the integrated model and customer satisfaction ($r = 0.802$; $p = 0.000$). It is concluded that the articulation between agile practices and PMBOK guide practices strengthens service quality and improves customer satisfaction.

Cómo citar

A. Marthans, F. S. Flores-Ayala, S. Leon Vera, and C. Leon, "Modelo basado en la integración de enfoques ágiles y las prácticas de la guía PMBOK y su relación con la calidad y satisfacción del cliente en la empresa WFM Telecom SAC," *Innovation & Development in Engineering and Applied Science*, vol. 8, no. 2, 2026, **https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1403**

1. Introducción

La gestión de proyectos ha experimentado cambios importantes en el contexto empresarial donde la rapidez de respuesta, la adaptación al cambio y la orientación al cliente se han convertido en factores decisivos para la competitividad. En ese escenario, las organizaciones ya no solo deben cumplir con costos y plazos, sino también demostrar capacidad para entregar valor de manera continua, mantener consistencia en el servicio y generar experiencias satisfactorias para el usuario final. Arzuaga Mejía [1] señaló que la agilidad organizacional ha adquirido importancia como una herramienta para la transformación empresarial en contextos dinámicos, siempre que se articule con liderazgo, innovación y capacidades institucionales.

En empresas de tecnologías y servicios, los proyectos suelen enfrentarse a cambios frecuentes en los requerimientos, ajustes durante la ejecución y expectativas cada vez más altas por parte del cliente. Antúnez Saiz [2] sostuvo que la gestión de proyectos con enfoque ágil alcanza mejores resultados cuando adopta una visión holística, estratégica y orientada a procesos, capaz de articular digitalización, flexibilidad y orientación al usuario.

A pesar de ello, el uso exclusivo de metodologías ágiles no siempre asegura resultados sostenidos. Medina y Molina [3] identificaron que la adopción de metodologías ágiles en sectores productivos puede enfrentar barreras asociadas con desconocimiento, resistencia al cambio y limitada madurez organizacional. Esto sugiere que la agilidad, por sí sola, no siempre basta para conducir proyectos que además exigen formalidad, documentación, control de riesgos y seguimiento del avance.

En ese contexto, Ayala Suárez et al. [4] destacaron que las metodologías ágiles pueden contribuir a reducir rigidez, eliminar tareas innecesarias y mejorar la experiencia del cliente, pero su efectividad depende del contexto en que son aplicadas y de la forma en que se articulan con las necesidades reales del proyecto. De ahí surge la necesidad de pensar en modelos integrados que no opongan flexibilidad y control, sino que combinen ambas perspectivas.

En el caso de WFM Telecom SAC, dicha problemática es importante porque la empresa desarrolla servicios y proyectos que requieren coordinación entre áreas, respuesta oportuna ante cambios, control de entregables y atención continua a los requerimientos del cliente. En este tipo de entorno, depender únicamente de esquemas rígidos puede dificultar la adaptación, mientras que operar solo con lógica ágil puede debilitar el seguimiento, la trazabilidad y el control metodológico.

Por ello, el estudio planteó como objetivo determinar qué relación existe entre un modelo basado en la integración de enfoques ágiles y las prácticas de la guía PMBOK, y la calidad y satisfacción del cliente en la empresa WFM Telecom SAC, con el propósito de estudiar la gestión de proyectos no solo como un conjunto de tareas internas, sino como un proceso directamente vinculado con la percepción del cliente y con la calidad del servicio recibido.

La justificación teórica del estudio se apoya en la necesidad de integrar cuerpos conceptuales que suelen abordarse por separado. Por un lado, los enfoques ágiles priorizan iteración, adaptación, aprendizaje continuo y cercanía con el cliente. Por otro lado, la guía PMBOK aporta estructura, planificación, control, gestión de riesgos y atención a los interesados. A ello se suman los enfoques sobre calidad y satisfacción del cliente, que permiten valorar el resultado final del proyecto desde la experiencia del usuario.

Desde la perspectiva práctica, la investigación resulta útil porque ofrece información concreta para fortalecer la gestión de proyectos en la empresa. Los resultados permiten identificar si la integración entre prácticas ágiles y prácticas estructuradas guarda relación con mejores niveles de calidad y mayor satisfacción del cliente, lo que puede traducirse en mejoras operativas, mejor imagen del servicio y mayor continuidad en la relación comercial.

En las bases teóricas del estudio, los enfoques ágiles son entendidos como una respuesta a contextos de cambio frecuente. Beck et al. [5] plantearon en el Manifiesto Ágil que el valor de un proyecto depende en gran medida de la capacidad de responder al cambio, colaborar con el cliente y priorizar el funcionamiento efectivo del producto o servicio. Highsmith [6] añadió que la agilidad no implica ausencia de método, sino una forma de gestión centrada en la adaptabilidad y el aprendizaje.

Dentro de esta visión, el estudio organizó la variable independiente en cuatro dimensiones. La primera fue iteración y entrega incremental, que representa la capacidad de avanzar mediante entregas parciales, revisiones frecuentes y priorización según valor para el cliente. La segunda fue colaboración y respuesta al cambio, asociada a la coordinación entre áreas, la participación del cliente y la adaptación frente a nuevos requerimientos.

La tercera dimensión fue planificación y control del proyecto, vinculada con la claridad de objetivos, el seguimiento de actividades y el control de plazos. La cuarta fue gestión de calidad, riesgos e interesados, relacionada con la

verificación de entregables, la prevención de contingencias y la atención de expectativas de los actores involucrados. Esta estructura permitió representar la integración práctica entre flexibilidad y orden metodológico.

La guía PMBOK también ocupa un lugar central en la investigación. El Project Management Institute [7] reconoció que la dirección de proyectos puede desarrollarse bajo enfoques predictivos, adaptativos o híbridos, y que su valor radica en ayudar a ordenar el trabajo, gestionar riesgos, medir avances y sostener la entrega de valor. Esta apertura conceptual refuerza la pertinencia de estudiar modelos integrados y no enfoques aislados.

La calidad fue abordada como una variable dependiente que trasciende el simple cumplimiento técnico del entregable. Juran et al. [8] la definieron como aptitud para el uso, mientras que la International Organization for Standardization [9] la vinculó con el grado en que se cumplen requisitos establecidos. En el contexto de esta investigación, la calidad fue analizada a partir del cumplimiento de requisitos, la confiabilidad del servicio, la oportunidad en la entrega y la calidad percibida.

La satisfacción del cliente fue entendida como la evaluación que realiza el cliente al comparar expectativas previas y desempeño percibido. Oliver [10] explicó que la satisfacción surge de esa comparación y que constituye una valoración posterior a la experiencia. Fornell [11] y Anderson et al. [12] ampliaron esta mirada al mostrar que la satisfacción también tiene valor estratégico, porque influye en permanencia, recomendación y resultados organizacionales.

En cuanto a los antecedentes, Arzuaga Mejía [1] concluyó que la agilidad organizacional puede impulsar transformación y competitividad cuando se acompaña de estructuras flexibles, liderazgo y formación continua. Antúnez Saiz [2] destacó que un modelo ágil de gestión de proyectos requiere una visión integradora, estratégica y orientada al usuario. Ambos trabajos coinciden en que la gestión del proyecto debe superar esquemas fragmentados.

Medina y Molina [3] encontraron que las metodologías ágiles poseen potencial para mejorar planificación, ejecución, colaboración y satisfacción del cliente, aunque su implementación depende de factores organizacionales y culturales. Ayala Suárez et al. [4] resaltaron que estas metodologías pueden elevar la experiencia del cliente, reducir rigidez y favorecer una mejor entrega de valor. Estos antecedentes respaldan la idea de que la gestión del proyecto puede incidir en resultados visibles para el usuario.

Por otro lado, Hernández Prieto [13] concluyó que el enfoque ágil puede contribuir a proyectos más rápidos, eficientes y orientados a la calidad y satisfacción del cliente, siempre que se acompañe de aprendizaje organizacional y seguimiento de indicadores. Garnica Carrillo [14], desde la lógica PMBOK, mostró que esta guía permite estructurar de forma ordenada proyectos tecnológicos, definiendo requisitos, alcance, cronograma, interesados y bases para el control posterior.

A nivel epistemológico, el estudio se ubicó dentro de una orientación postpositivista vinculada al campo de los sistemas de información y la gestión de proyectos tecnológicos. Orlikowski y Baroudi [15] explicaron que una parte importante de la investigación en sistemas de información ha sido desarrollada bajo supuestos positivistas, centrados en la medición de variables y en la búsqueda de relaciones entre fenómenos organizacionales asociados a la tecnología. Esta orientación resultó adecuada para la presente investigación, dado que se examinaron relaciones entre variables medibles mediante cuestionarios.

Desde esta base, el objetivo general del estudio fue determinar la relación entre un modelo basado en la integración de enfoques ágiles y las prácticas de la guía PMBOK con la calidad y satisfacción del cliente en la empresa WFM Telecom SAC. Los objetivos específicos se orientaron a determinar la relación entre cada una de las cuatro dimensiones del modelo y las dos variables dependientes.

La hipótesis general sostuvo que el modelo basado en la integración de enfoques ágiles y las prácticas de la guía PMBOK se relaciona de forma significativa con la calidad y satisfacción del cliente en la empresa WFM Telecom SAC. Las hipótesis específicas plantearon relaciones significativas entre iteración y entrega incremental, colaboración y respuesta al cambio, planificación y control del proyecto, y gestión de calidad, riesgos e interesados, con la calidad y satisfacción del cliente.

En esa medida, la presente investigación no se limita a describir niveles de percepción, sino que busca explicar si una determinada forma de gestionar proyectos se relaciona con resultados empresariales relevantes. Esto le da valor tanto académico como práctico, ya que articula teoría, medición y análisis inferencial en una realidad organizacional concreta.

2. Método

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, dado que estuvo orientada a la medición de variables y al análisis estadístico de sus relaciones. Hernández-Sampieri y Mendoza [16] señalan que este enfoque permite cuantificar fenómenos, contrastar hipótesis y establecer asociaciones entre variables previamente definidas, lo cual resulta coherente con el propósito del estudio.

El tipo de investigación fue aplicado, porque se sustentó en referentes teóricos sobre enfoques ágiles, prácticas de la guía PMBOK, calidad y satisfacción del cliente, pero dirigió el análisis a una realidad empresarial concreta, con el propósito de generar conocimiento útil para la mejora de la gestión en WFM Telecom SAC. Asimismo, el nivel fue descriptivo correlacional, ya que se buscó describir cómo se manifiestan las variables y determinar el grado de relación entre ellas.

El diseño fue no experimental y de corte transversal. No experimental, porque no se manipuló ninguna variable, sino que se observaron tal como se presentan en la realidad. Transversal, porque la recolección de datos se realizó en un solo momento. Esta configuración metodológica permitió analizar la situación del modelo integrado, la calidad y la satisfacción del cliente en un periodo específico.

La población y la muestra estuvieron conformadas por 31 clientes de la empresa WFM Telecom SAC. Se utilizó muestreo censal, ya que se trabajó con la totalidad de la población accesible. Esta decisión permitió recoger información de todos los participantes disponibles y representar de manera completa la realidad del grupo estudiado.

La técnica utilizada fue la encuesta y el instrumento fue un cuestionario estructurado en escala Likert de cinco puntos. Se aplicaron tres secciones, una para medir el modelo basado en la integración de enfoques ágiles y las prácticas de la guía PMBOK, otra para medir calidad y una tercera para satisfacción del cliente. En total, el instrumento estuvo conformado por 36 ítems.

La variable independiente se organizó en cuatro dimensiones: iteración y entrega incremental, colaboración y respuesta al cambio, planificación y control del proyecto, y gestión de calidad, riesgos e interesados. La variable calidad se estructuró en cumplimiento de requisitos, confiabilidad del servicio, oportunidad en la entrega y calidad percibida. La satisfacción del cliente se organizó en cumplimiento de expectativas, atención y respuesta, conformidad con el servicio e intención de continuidad o recomendación.

Los instrumentos fueron sometidos a validez de contenido mediante juicio de expertos y alcanzaron niveles adecuados de confiabilidad. Para el análisis de los datos se utilizó el software SPSS y se desarrolló un análisis descriptivo de frecuencias y porcentajes, además de un análisis inferencial mediante el coeficiente Rho de Spearman, dado el carácter ordinal de las variables y el propósito correlacional del estudio.

3. Resultados

3.1. Resultados descriptivos

Los resultados finales muestran que el modelo basado en la integración de enfoques ágiles y las prácticas de la guía PMBOK alcanzó un nivel alto en 93.5 % de los participantes, mientras que 6.5 % lo ubicó en nivel medio. Este comportamiento evidencia que, en WFM Telecom SAC, predominan percepciones favorables respecto a la forma en que se combinan prácticas ágiles con lineamientos estructurados de gestión de proyectos. El resultado sugiere una dinámica de trabajo orientada a la adaptación, el seguimiento y el valor para el cliente.

Tabla 1: Resultado final del modelo integrado

Nivel	Frecuencia	Porcentaje
Medio	2	6.5
Alto	29	93.5
Total	31	100.0

En la dimensión iteración y entrega incremental, 90.3 % la ubicó en nivel alto y 9.7 % en nivel medio. Este resultado permite advertir que las entregas parciales, la revisión continua del avance y la priorización del trabajo según valor para el cliente forman parte importante de la gestión percibida en la empresa.

En colaboración y respuesta al cambio, 83.9 % la situó en nivel alto y 16.1 % en nivel medio. Aunque el predominio alto se mantiene, esta dimensión mostró una proporción ligeramente mayor de valoraciones medias, lo que sugiere espacio para fortalecer la coordinación interáreas y la rapidez de adaptación frente a requerimientos emergentes.

La dimensión planificación y control del proyecto alcanzó 87.1 % en nivel alto y 12.9 % en nivel medio. Este hallazgo muestra que la mayoría percibe objetivos claros, seguimiento de actividades y control del cumplimiento de plazos. En gestión de calidad, riesgos e interesados, 83.9 % calificó la dimensión en nivel alto y 16.1 % en nivel medio, lo que indica una percepción positiva, aunque aún mejorable, respecto a la verificación de entregables, la prevención de riesgos y la atención de expectativas de los actores involucrados.

Tabla 2: Resultados finales de la variable independiente y sus dimensiones

Dimensión	**Medio n (%)**	**Alto n (%)**
Modelo integrado	2 (6.5)	29 (93.5)
Iteración y entrega incremental	3 (9.7)	28 (90.3)
Colaboración y respuesta al cambio	5 (16.1)	26 (83.9)
Planificación y control del proyecto	4 (12.9)	27 (87.1)
Gestión de calidad, riesgos e interesados	5 (16.1)	26 (83.9)

La variable calidad registró un predominio alto de 87.1 %, mientras que 12.9 % la ubicó en nivel medio. Este resultado refleja que, en general, los clientes valoran favorablemente el servicio recibido, especialmente por su cumplimiento, estabilidad y oportunidad. En sus dimensiones, cumplimiento de requisitos, confiabilidad del servicio y oportunidad en la entrega alcanzaron 93.5 % en nivel alto, mientras que calidad percibida registró 87.1 %.

Tabla 3: Resultados finales de calidad y sus dimensiones

Dimensión	**Medio n (%)**	**Alto n (%)**
Calidad	4 (12.9)	27 (87.1)
Cumplimiento de requisitos	2 (6.5)	29 (93.5)
Confiabilidad del servicio	2 (6.5)	29 (93.5)
Oportunidad en la entrega	2 (6.5)	29 (93.5)
Calidad percibida	4 (12.9)	27 (87.1)

La satisfacción del cliente presentó un predominio alto de 93.5 % y nivel medio de 6.5 %. En sus dimensiones, atención y respuesta alcanzó 90.3 % en nivel alto, mientras que cumplimiento de expectativas registró 83.9 %, y conformidad con el servicio e intención de continuidad o recomendación mostraron 80.6 %. Estos resultados indican una experiencia favorable, aunque con margen de mejora en la conformidad plena y en la disposición futura a recomendar o mantener la relación comercial.

Tabla 4: Resultados finales de satisfacción del cliente y sus dimensiones

Dimensión	**Medio n (%)**	**Alto n (%)**
Satisfacción del cliente	2 (6.5)	29 (93.5)
Cumplimiento de expectativas	5 (16.1)	26 (83.9)
Atención y respuesta	3 (9.7)	28 (90.3)
Conformidad con el servicio	6 (19.4)	25 (80.6)
Intención de continuidad o recomendación	6 (19.4)	25 (80.6)

3.2. Resultados inferenciales

La prueba de hipótesis general evidenció que el modelo basado en la integración de enfoques ágiles y las prácticas de la guía PMBOK presenta una correlación positiva y significativa con la calidad, con un Rho de Spearman de 0.682 y una significancia de 0.000. Asimismo, se observó una correlación positiva y significativa con la satisfacción del cliente, con un coeficiente de 0.802 y significancia de 0.000. Estos resultados permiten aceptar la hipótesis general de investigación.

Tabla 5: Correlación de la hipótesis general

Relación	Rho de Spearman	p
Modelo integrado – Calidad	0.682	0.000
Modelo integrado – Satisfacción del cliente	0.802	0.000

En la hipótesis específica 1, la dimensión iteración y entrega incremental mostró una correlación positiva y significativa con la calidad, con Rho de 0.525 y p de 0.002, y con la satisfacción del cliente, con Rho de 0.631 y p de 0.000. Estos resultados indican que una mayor presencia de entregas parciales, revisión continua y priorización del trabajo se relaciona con mejor calidad y mayor satisfacción del cliente.

En la hipótesis específica 2, colaboración y respuesta al cambio presentó una correlación de 0.354 con calidad y una significancia de 0.050, así como una correlación de 0.450 con satisfacción del cliente y una significancia de 0.011. La relación es directa en ambos casos, aunque con menor intensidad que otras dimensiones. Aun así, los resultados respaldan la aceptación de la hipótesis específica.

En la hipótesis específica 3, planificación y control del proyecto presentó una correlación positiva alta con la calidad, con Rho de 0.789, y una correlación positiva significativa con la satisfacción del cliente, con Rho de 0.525 y p de 0.002. Estos resultados muestran que la claridad de objetivos, el seguimiento y el control del proyecto se asocian con mejores niveles de calidad y satisfacción.

Finalmente, en la hipótesis específica 4, gestión de calidad, riesgos e interesados, mostró una correlación positiva y significativa con la calidad, con Rho de 0.878 y p de 0.000, así como una correlación positiva significativa con la satisfacción del cliente, con Rho de 0.450 y p de 0.011. Este fue el vínculo más alto encontrado con la variable calidad.

4. Discusión

Los resultados del estudio permiten afirmar que el modelo basado en la integración de enfoques ágiles y las prácticas de la guía PMBOK se relaciona de forma positiva y significativa con la calidad y la satisfacción del cliente en WFM Telecom SAC. Este hallazgo coincide con Arzuaga Mejía [1], quien sostuvo que la agilidad organizacional puede favorecer mejores resultados empresariales cuando se articula con capacidades institucionales, liderazgo e innovación. También se aproxima a Antúnez Saiz [2], quien defendió una visión holística e integradora para elevar la efectividad de la gestión de proyectos.

La relación hallada entre el modelo integrado y la satisfacción del cliente fue más alta que la observada con la calidad. Este comportamiento sugiere que la forma en que el proyecto es gestionado influye no solo en el cumplimiento técnico del servicio, sino también en la experiencia del cliente durante la prestación. Tal lectura resulta coherente con Oliver [10], quien explicó que la satisfacción del cliente deriva de la comparación entre expectativas y desempeño percibido.

La dimensión iteración y entrega incremental mostró una relación significativa con ambas variables dependientes, especialmente con la satisfacción del cliente. Este resultado se vincula con lo planteado por Hernández Prieto [13], quien concluyó que la gestión ágil favorece priorización, cooperación y orientación al cliente, y con Ayala Suárez et al. [4], quienes destacaron que las metodologías ágiles facilitan una entrega de valor más ajustada a las necesidades del usuario.

La dimensión colaboración y respuesta al cambio presentó relaciones positivas, aunque más moderadas. Es-

te resultado sugiere que en la empresa existe base para coordinar entre áreas y responder a cambios, pero todavía puede mejorarse la rapidez de adaptación y la articulación interna. Medina y Molina [3] habían identificado que la comunicación efectiva, el apoyo organizacional y la capacitación son condiciones relevantes para que las metodologías ágiles produzcan mejores resultados.

La planificación y control del proyecto mostró una relación alta con la calidad y significativa con la satisfacción del cliente. Este hallazgo coincide con Garnica Carrillo [14], quien evidenció que la guía PMBOK facilita la estructuración adecuada de proyectos tecnológicos al ordenar requisitos, alcance, actividades, interesados y bases de seguimiento. Los resultados de WFM Telecom SAC refuerzan la idea de que la flexibilidad funciona mejor cuando se apoya en una base clara de planificación y control.

La dimensión gestión de calidad, riesgos e interesados fue la más vinculada con la calidad y mantuvo también una relación significativa con la satisfacción del cliente. Este resultado confirma que la verificación de entregables, la prevención de riesgos y la consideración de expectativas fortalecen la consistencia del servicio y mejoran la experiencia del usuario. De esta manera, la investigación respalda la utilidad de modelos integrados para contextos empresariales donde la calidad del servicio y la satisfacción del cliente constituyen resultados centrales.

5. Conclusiones

Se concluye que existe relación positiva y significativa entre el modelo basado en la integración de enfoques ágiles y las prácticas de la guía PMBOK, y la calidad y satisfacción del cliente en la empresa WFM Telecom SAC.

También se concluye que la iteración y entrega incremental se relaciona de forma significativa con la calidad y satisfacción del cliente, lo que confirma la importancia de las entregas parciales, la revisión continua y la priorización del trabajo.

La colaboración y respuesta al cambio mantiene una relación positiva y significativa con la calidad y satisfacción del cliente, aunque con una intensidad menor que otras dimensiones, lo que muestra un componente favorable, pero aún perfectible.

La planificación y control del proyecto se relaciona de forma positiva y significativa con la calidad y satisfacción del cliente, lo que evidencia la importancia de contar con objetivos claros, seguimiento de actividades y control del avance.

La gestión de calidad, riesgos e interesados se relaciona de forma positiva y significativa con la calidad y satisfacción del cliente, destacando especialmente su asociación con la calidad del servicio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de contribución de autores — CRediT

A.M.F. Conceptualizacion, definicion del tema, la metodologia,validacion y conclusiones; F.F.A. Validacion de los instrumentos de recoleccion y la revision de literatura; S.L.V, revision de los instrumentos, formato del entregable y marco conceptual; C.L.F, revision integral, elaboracion del resumen, analisis de los resultados y discucion.

Financiación

No aplica.

Reseñas de autores

Andres Marthans

A.M.F. Candidato a Magister en Ingenieria de Sistemas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Correo: Andres.marthans@unmsm.edu.pe

ORCID: 0009-0004-0968-141X

Franklin Flores-Ayala

F.F.A. Ingeniero en Sistemas Computacionales por la Universidad Técnica del Norte (UTN) y Magíster en Gerencia de Sistemas por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Es candidato a Doctor en Ingeniería en Sistemas e Informática por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), Perú. Se desempeña como Gerente de Sistemas en Good Systems SF, Analista en la UTN y docente de posgrado en la Universidad del Pacífico y la ESPAM-MFL. Sus líneas de investigación abarcan la ingeniería de software, Minería de Datos, Procesamiento de Lenguaje Natural, Grandes Modelos de Lenguaje e inteligencia artificial aplicada a la automatización y calidad del desarrollo de software.

Correo: franklin.floresa@unmsm.edu.pe

ORCID: 0000-0003-0826-3801

Sandra Leon Vera

S.L.V. Arquitecta por Pontificia Universidad Catolica del Peru, Jefe de Proyectos de Construccion en Tierra, actualmente estudiando el Master Europeo en Arquitectura y Construccion en Tierra becaria Erasmus +.

Correo: leon.sandra@pucp.edu.pe

ORCID: 0009-0003-2598-849X

Cayo Leon

C.L.F. Doctor en Gestion de Empresa, Doctor (c) en Docencia Universitaria - UNMSM, Master en Gestion de la Informacion y del Conocimiento- Paul Valery Montpellier III, Magister en Computacion e Informatica, Catedratico Principal e Investigador en la UNMSM, Consultor en TI.

Correo: cleonf@unmsm.edu.pe

ORCID: 0000-0003-1704-8214

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial

NO se utilizó ninguna herramienta de inteligencia artificial en la preparación, redacción, corrección, edición, traducción o evaluación del presente manuscrito.

Referencias

[1] R. G. Arzuaga Mejía, “Metodologías ágiles como herramienta para la transformación y competitividad empresarial en entornos dinámicos,” *European Public & Social Innovation Review*, 2026. [Online]. Available: https://doi.org/10.31637/epsir-2026-2241

[2] V. I. Antúnez Saiz, “Modelo de gestión de proyectos con enfoque al método ágil: Su importancia estratégica para el contexto cubano,” *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial*, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.5281/zenodo.16615058

[3] Ó. A. Medina and H. Molina Tombe, “Implementación de metodologías ágiles para la optimización de proyectos de construcción en colombia,” 2024.

[4] L. Ayala Suárez, D. Pinzón, and M. J. Torres, “Impactos de la implementación de metodologías ágiles en empresas del sector de construcción de bogotá,” 2023.

[5] K. Beck *et al.*, “Manifesto for agile software development,” 2001.

[6] J. Highsmith, *Agile project management. Creating innovative products*. Addison-Wesley, 2004.

[7] Project Management Institute, *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*, 7th ed. Project Management Institute, 2021.

[8] J. M. Juran, J. A. De Feo, and A. B. Godfrey, *Juran's quality handbook. The complete guide to performance excellence*, 7th ed. McGraw-Hill Education, 2017.

[9] International Organization for Standardization, *ISO 9000:2015 Quality management systems—Fundamentals and vocabulary*. ISO, 2015.

[10] R. L. Oliver, "A cognitive model of the antecedents and consequences of satisfaction decisions," *Journal of Marketing Research*, vol. 17, no. 4, pp. 460–469, 1980. [Online]. Available: https://doi.org/10.1177/002224378001700405

[11] C. Fornell, "A national customer satisfaction barometer. the swedish experience," *Journal of Marketing*, vol. 56, no. 1, pp. 6–21, 1992. [Online]. Available: https://doi.org/10.1177/002224299205600103

[12] E. W. Anderson, C. Fornell, and D. R. Lehmann, "Customer satisfaction, market share, and profitability. findings from sweden," *Journal of Marketing*, vol. 58, no. 3, pp. 53–66, 1994. [Online]. Available: https://doi.org/10.1177/002224299405800304

[13] J. C. Hernández Prieto, "Modelo de gerencia con enfoque ágil para proyectos asociativos del sector frutícola de la zona sumapaz, cundinamarca - colombia," 2021. [Online]. Available: https://doi.org/10.22490/ECBTI.4524

[14] V. M. Garnica Carrillo, "Plan de gestión mediante la guía del pmbok para la planificación estratégica del sistema de gestión de seguridad informática (sgsi) ntc iso 27001:2013 para la clínica medical duarte," 2018.

[15] W. J. Orlikowski and J. J. Baroudi, "Studying information technology in organizations. research approaches and assumptions," *Information Systems Research*, vol. 2, no. 1, pp. 1–28, 1991. [Online]. Available: https://doi.org/10.1287/isre.2.1.1

[16] R. Hernández-Sampieri and C. P. Mendoza, *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill, 2018.

IDEAS

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

Journal homepage:
https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Análisis de rendimiento de controladores SDN en una red emulada para tráfico de streaming

Performance analysis of SDN controllers in an emulated network for streaming traffic

Santiago Meneses Narvaez[a], Emilio Zhuma Mera[a], Kevin Cedeño[a], Steveen Quiros[a]

[a]Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

Recibido/Received: 2026-01-08
Aceptado/Accepted: 2026-06-12
Publicado/Published: 2026-07-31
Autor de correspondencia: smenesen@uteq.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1352
Copyright: CC BY 4.0

PALABRAS CLAVES:

SDN; Controladores; Streaming; Mininet; Tráfico de red.

RESUMEN

Las redes definidas por software (SDN) requieren controladores eficientes para gestionar tráfico sensible al tiempo, pero existe evidencia limitada sobre su desempeño comparativo bajo condiciones de carga exigentes. Este estudio tiene como objetivo comparar el desempeño de OpenDaylight (ODL), ONOS y Ryu en tráfico de streaming multimedia bajo distintos niveles de concurrencia. La metodología consistió en implementar una topología SDN emulada en Mininet, transmitir streaming con VLC desde un host emisor hacia 5, 10 y 19 receptores, y ejecutar 10 repeticiones por escenario. Se midieron latencia, jitter, throughput, pérdida de paquetes, disponibilidad y consumo de memoria. Los resultados muestran que Ryu mantiene el mejor equilibrio entre continuidad del servicio y entrega efectiva conforme aumenta la concurrencia. ONOS presenta desempeño competitivo, mientras que ODL evidencia mayor sensibilidad al incremento de carga en métricas de entrega. Se concluye que la selección del controlador debe priorizar continuidad y fiabilidad de entrega en alta concurrencia.

KEYWORDS:

SDN; Controllers; Streaming; Mininet; Network traffic.

ABSTRACT

Software-defined networking (SDN) requires efficient controllers to manage time-sensitive traffic, yet there is limited evidence of their comparative performance under demanding load conditions. This study aims to compare the performance of OpenDaylight (ODL), ONOS, and Ryu for multimedia streaming traffic under different levels of concurrency. The methodology consisted of implementing an emulated SDN topology in Mininet, transmitting streaming traffic with VLC from a sender host to 5, 10, and 19 receivers, and executing 10 repetitions per scenario. Latency, jitter, throughput, packet loss, availability, and memory consumption were measured. The results show that Ryu maintains the best balance between service continuity and effective delivery as concurrency increases. ONOS presents competitive performance, whereas ODL shows greater sensitivity to increased load in delivery-related metrics. It is concluded that controller selection should prioritize continuity and delivery reliability under high concurrency.

Cómo citar

S. Meneses Narvaez, E. Zhuma Mera, K. Cedeño, and S. Quiros, "Análisis de rendimiento de controladores SDN en una red emulada para tráfico de streaming," *Innovation & Development in Engineering and Applied Science*, vol. 8, no. 2, p. 11, 2026, https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1352

1. Introducción

Las redes definidas por software (SDN) están transformando las telecomunicaciones al proporcionar mayor flexibilidad, escalabilidad y programabilidad en la gestión del tráfico [1, 2]. Al separar el plano de control del plano de datos, permiten automatizar decisiones de encaminamiento [3], y aplicar políticas de red con mayor precisión que en arquitecturas tradicionales. Esta capacidad es determinante ante el crecimiento de servicios sensibles al tiempo [4], donde la calidad de servicio exige baja latencia [5], variación controlada del retardo y pérdidas mínimas [6].

Dentro de este esquema de control, el controlador SDN actúa como la entidad lógica que mantiene la visión de la red e implementa reglas de flujo [7], políticas y respuesta ante eventos [8, 9]. En tráfico sensible al tiempo, su desempeño influye en la rapidez de instalación y actualización de flujos [10], la gestión de prioridades y el overhead de señalización, factores que impactan latencia, jitter y pérdidas [11]. Debido a que los controladores difieren en arquitectura y capacidad de procesamiento, su comportamiento puede variar significativamente bajo condiciones de carga [12, 13].

Si bien la selección adecuada de un controlador SDN puede mejorar el desempeño de la red en servicios sensibles al tiempo [14, 15], aún existen vacíos en el análisis de su rendimiento bajo condiciones de tráfico exigentes. En escenarios de alta carga se han reportado diferencias marcadas entre controladores, por ejemplo, RTT de 17.5 ms frente a 300.6 ms y pérdidas de 124 frente a 321 paquetes [16]. Asimismo, la alternativa más adecuada puede variar según el tamaño de la red y la prioridad de las métricas consideradas [17]. En consecuencia, se requiere evidencia comparativa que respalde una selección técnica adecuada.

Los controladores ODL, ONOS y Ryu fueron seleccionados por representar enfoques arquitectónicos ampliamente utilizados en entornos SDN [18]. OpenDaylight (ODL) es una plataforma modular y extensible, orientada a despliegues generales e integración de múltiples protocolos [19]. ONOS adopta una arquitectura distribuida orientada a alta disponibilidad y tolerancia a fallos relevante en escenarios de mayor escala [17]. Ryu es un controlador ligero y programable, común en prototipado por su simplicidad y bajo consumo [20]. Esta selección permite comparar modelos de control bajo las mismas condiciones de prueba.

Este artículo tiene como objetivo comparar el desempeño de los controladores ODL, ONOS y Ryu en una red SDN emulada con tráfico de streaming multimedia bajo distintos niveles de concurrencia. El aporte del estudio consiste en proporcionar evidencia experimental bajo condiciones controladas, considerando métricas de calidad de servicio, continuidad y consumo de recursos. Con ello, se busca orientar la selección técnica de controladores SDN en escenarios donde la entrega efectiva y la estabilidad del servicio son factores determinantes.

2. Materiales y métodos

2.1. Metodología de investigación

El estudio adopta un enfoque comparativo en un entorno emulado, con el objetivo de contrastar el desempeño de controladores SDN bajo las mismas condiciones. Se seleccionaron controladores representativos por su arquitectura y compatibilidad con OpenFlow, para asegurar comparabilidad. El diseño considera tres escenarios de carga y un servicio de streaming, a partir de los cuales se obtiene evidencia cuantitativa.

2.2. Diseño del escenario

Se definieron tres escenarios de carga para evaluar el comportamiento de una red SDN en un entorno emulado. En todos los casos se mantuvo una topología base común, integrando el plano de datos con un switch OpenFlow y un controlador SDN, de modo que las condiciones de red sean equivalentes entre pruebas. Cada escenario modifica únicamente el nivel de carga asociado al servicio de streaming, preservando la comparabilidad entre controladores.

La arquitectura del escenario considera la separación lógica entre el plano de control y el plano de datos, donde el controlador gestiona la instalación y actualización de reglas de flujo mediante OpenFlow. La topología y configuración base se mantuvieron constantes para los tres controladores evaluados, evitando que cambios estructurales introduzcan sesgos. Con ello, las diferencias observadas se atribuyen al desempeño del controlador y a su respuesta ante incrementos de carga.

Topología de red. Se adoptó una topología jerárquica de tres capas para organizar el plano de datos y facilitar el análisis comparativo bajo condiciones homogéneas. La arquitectura integra núcleo, distribución y acceso, con un plano de control SDN centralizado. La Figura 1 presenta la topología utilizada en todas las pruebas.

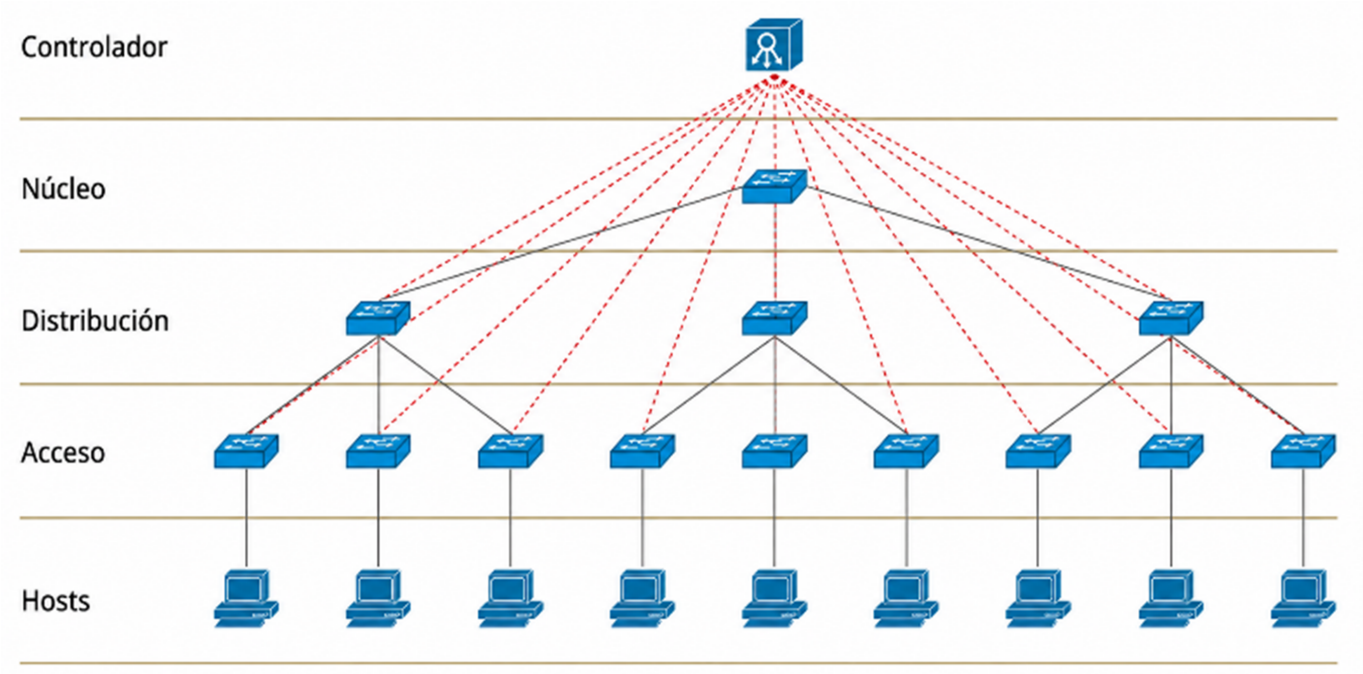

Figura 1: Topología de red diseñada

Escenarios de carga. Los niveles de carga permiten controlar la concurrencia del servicio de streaming y observar el comportamiento del controlador ante incrementos progresivos de demanda. En la Tabla 1 se presenta la definición de los tres escenarios considerados, en función del número de receptores y el nivel de carga asociado.

Tabla 1: Escenarios de carga

Escenario	Nivel de carga	Número de receptores	Descripción
1	Baja	5	Evaluación base del controlador en baja concurrencia de transmisión.
2	Media	10	Análisis del controlador frente a un incremento moderado de tráfico multimedia.
3	Alta	19	Examinación del controlador bajo condiciones de alta concurrencia y saturación de red.

La carga se incrementa mediante el aumento del número de receptores, manteniendo constante la topología y la configuración base. Esta definición permite comparar controladores bajo condiciones equivalentes y aislar el efecto de la concurrencia sobre el plano de control. Los tres escenarios se aplican de forma uniforme para cada controlador evaluado.

Dimensionamiento del tráfico de streaming. Para asegurar que los escenarios representen incrementos controlados de demanda, se dimensionó la capacidad del enlace crítico en función del caudal del servicio. La Tabla 2 resume la relación entre receptores concurrentes y capacidad configurada.

Tabla 2: Dimensionamiento de la demanda agregada respecto a la capacidad del enlace

Escenario	Capacidad del enlace (Mbps)	Relación demanda/capacidad
Baja	20	Demanda próxima al umbral.
Media	20	Demanda superior a la capacidad.
Alta	20	Demanda muy superior a la capacidad.

La relación entre la demanda y capacidad se obtiene estimando la demanda agregada como el producto entre el número de receptores concurrentes y el bitrate pico del flujo, mientras la capacidad del enlace se mantiene constante. Con este criterio, el nivel bajo queda próximo al umbral sin congestión permanente, el nivel medio lo supera y el nivel alto lo excede ampliamente.

2.3. Métricas de evaluación

Las métricas de evaluación permiten caracterizar el desempeño de los controladores SDN bajo tráfico de streaming y condiciones de carga definidas. En la Tabla 3 se presentan las métricas consideradas.

Tabla 3: Métricas utilizadas

Métrica	Descripción	Relevancia en el estudio
Latencia	Retardo extremo a extremo (RTT).	Indica la capacidad para sostener tiempos de respuesta bajos.
Jitter	Variación del retardo entre paquetes.	Evalúa la estabilidad temporal del flujo bajo carga.
Throughput	Tasa efectiva de transferencia (Mbps).	Refleja la eficiencia al mantener el caudal del servicio.
Pérdida de paquetes	Porcentaje de paquetes no entregados.	Mide la fiabilidad y la degradación por congestión.
Disponibilidad	Porcentaje de entrega exitosa, complementaria a la pérdida.	Representa la continuidad del servicio durante la prueba.
Consumo de memoria	Memoria promedio utilizada por el controlador.	Evalúa la demanda de recursos y la estabilidad operativa.

Las métricas seleccionadas permiten caracterizar el comportamiento del plano de control al gestionar tráfico de streaming bajo diferentes niveles de carga. La latencia y el jitter reflejan la respuesta temporal del sistema controlado, mientras que el throughput y la pérdida evidencian la capacidad de sostener la entrega de datos ante incrementos de demanda. La disponibilidad y el consumo de memoria complementan el análisis al describir la continuidad del servicio y la estabilidad operativa del controlador.

2.4. Herramientas

Máquinas virtuales. Las máquinas virtuales permiten alojar el entorno de emulación de forma aislada y controlada, facilitando la replicación de las pruebas. En la Tabla 4 se muestra una comparativa entre diferentes plataformas de virtualización.

Tabla 4: Tipos de máquinas virtuales

Software	Licencia	Facilidad de uso	Consumo de recursos	Compatibilidad
VirtualBox	Libre / GPL	Alta	Medio	Windows, Linux
VMware Workstation	Propietaria	Media-alta	Medio	Windows, Linux
KVM + QEMU	Libre / GPL	Media	Medio	Linux
HyperV	Propietaria	Media	Medio	Windows
Xen Project	Libre	Media	Medio	Linux
Parallels Desktop	Propietaria	Alta	Medio	macOS

Se seleccionó VMware Workstation por su compatibilidad con Windows y Linux, facilitando la construcción del entorno. Aunque es propietaria, su disponibilidad gratuita para uso personal resultó práctica para el laboratorio. Esta elección permitió alojar de forma consistente el emulador y los componentes necesarios para la evaluación.

Emuladores de red. Los emuladores de red permiten representar topologías y evaluar el comportamiento de una SDN bajo condiciones definidas, integrando el plano de control y el plano de datos. En la Tabla 5 se muestra una comparativa entre diferentes emuladores.

Tabla 5: Emuladores de red

Simulador	**Consumo de recursos**	**Compatibilidad**	**Soporte SDN**
GNS3	Alto	Windows, Linux, macOS	Alta, requiere imágenes externas.
Mininet	Bajo	Linux	Alta, nativo con OpenFlow.
CORE	Medio	Linux	Media.
EVENG	Alto	Linux	Alta.
Containerlab	Bajo–medio	Linux	Alta, topologías reproducibles con contenedores.
NS-3	Media-alta	Linux, macOS	Media–baja.

Mininet fue elegido por su soporte de SDN y OpenFlow, y su capacidad de ejecutar hosts y switches virtuales en Linux. Su integración con controladores facilita emular el plano de control y el plano de datos bajo condiciones comparables. Además, su bajo consumo de recursos y API en Python permite que sea replicable en pruebas.

Herramientas de medición. Las herramientas empleadas permiten asegurar trazabilidad entre el tráfico generado, la captura de paquetes y el cálculo de métricas, además del monitoreo de recursos. La Tabla 6 sintetiza cada herramienta y su función dentro del flujo de medición.

Tabla 6: Herramientas en el proceso de medición

Herramienta	**Propósito en el estudio**	**Métricas asociadas**	**Evidencia**
VLC	Generación y recepción del flujo multimedia.	Throughput, pérdida indirecta por tráfico observado.	Sesión de streaming activa.
Wireshark	Captura del tráfico de streaming.	Caracterización del flujo, bitrate.	Capturas y gráficos de tráfico.
TShark	Procesamiento automatizable de capturas.	Throughput, pérdida, conteos.	Métricas derivadas de capturas.
Ping	Medición de RTT entre extremos.	Latencia (RTT), jitter, variación RTT.	Estadísticos de RTT.
GNOME System Monitor	Monitoreo de recursos del proceso.	Consumo de memoria.	Lecturas de memoria del controlador.

Se priorizaron herramientas ejecutables en el entorno de laboratorio para automatizar mediciones y validar el comportamiento del flujo. El mapeo evita discrepancias entre lo descrito en la metodología y lo reportado en resultados, y simplifica la verificación técnica del experimento.

2.5. Procedimiento de medición

El servicio de streaming se implementó utilizando VLC Media Player en modo consola para transmitir video desde un host emisor hacia múltiples receptores según el escenario de carga. Previo a las pruebas comparativas, se determinó el bitrate efectivo del video mediante transmisiones de prueba, valor que sirvió de referencia para dimensionar la capacidad de los enlaces y asegurar condiciones realistas de operación.

Para mantener consistencia, cada escenario se ejecutó diez veces por controlador. Las métricas obtenidas en cada ejecución se procesaron para producir valores representativos por escenario y controlador, manteniendo la misma topología, configuración base y servicio de streaming durante todas las pruebas.

La latencia se calculó como el RTT promedio registrado mediante ping, mientras que el jitter se definió como la desviación estándar de los RTT de cada ejecución, correspondiente al valor mdev reportado por la misma herramienta. El throughput se estimó con TShark a partir de los bytes recibidos por segundo convertidos a Mbps. La pérdida de paquetes se calculó como la proporción de paquetes no entregados respecto al total enviado, y la disponibilidad como su complemento porcentual. El consumo de memoria se registró como el uso promedio de RAM del proceso del controlador durante el reposo y la transmisión del servicio.

3. Resultados

Durante las pruebas se mantuvieron constantes el entorno emulado, la topología de red, la configuración base y el servicio de streaming, con el fin de asegurar comparabilidad entre controladores. La evaluación se estructuró variando el controlador SDN (ODL, ONOS y Ryu) y el nivel de carga definido por los tres escenarios. Para cada combinación controlador y escenario se realizaron diez ejecuciones continuas, y los resultados se consolidaron en valores representativos para su análisis comparativo. Estos resultados se circunscriben al escenario y herramientas descritas.

3.1. Escenario de carga baja

En el escenario de carga baja (5 receptores), se evaluó ODL, ONOS y Ryu manteniendo topología y servicio de streaming constantes, con 10 repeticiones por controlador. La Figura 2 resume latencia, jitter, pérdida, disponibilidad y throughput agregados. Este escenario establece la línea base del plano de control antes de efectos de saturación.

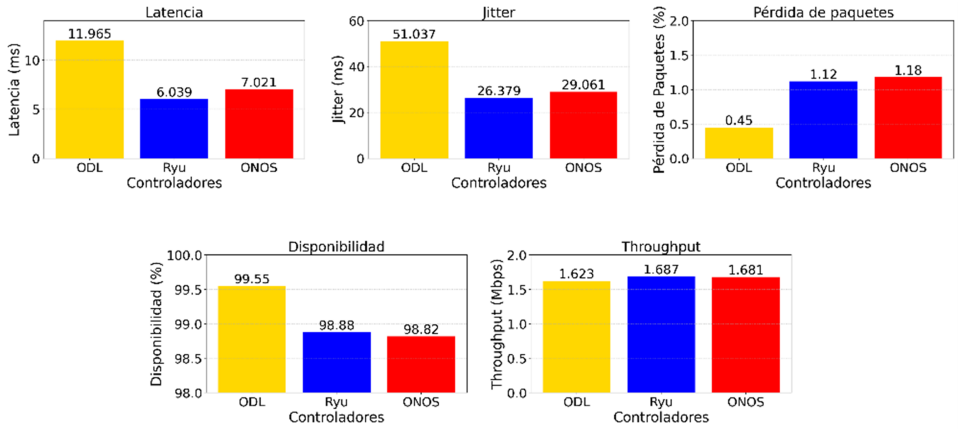

Figura 2: Métricas de desempeño en carga baja

En carga baja, la estabilidad se interpreta desde las métricas de entrega del servicio (pérdida de paquetes, disponibilidad y throughput). La pérdida se mantuvo en valores reducidos, entre 0.45 % y 1.18 %, la disponibilidad superó el 98 % en todos los controladores y el throughput permaneció en un rango cercano, entre 1.623 y 1.687 Mbps. Bajo estos criterios, el escenario funciona como línea base de operación sin congestión sostenida. No obstante, la respuesta temporal presentó diferencias, ya que Ryu y ONOS registraron menor latencia y jitter, mientras ODL mostró mayor retardo y variación.

3.2. Escenario de carga media

En el escenario de carga media (10 receptores), se incrementó la concurrencia del servicio de streaming manteniendo constante la topología y la configuración base. La Figura 3 resume latencia, jitter, pérdida, disponibilidad y throughput agregados. Estos resultados describen el comportamiento del plano de control bajo estrés moderado, previo a condiciones de saturación.

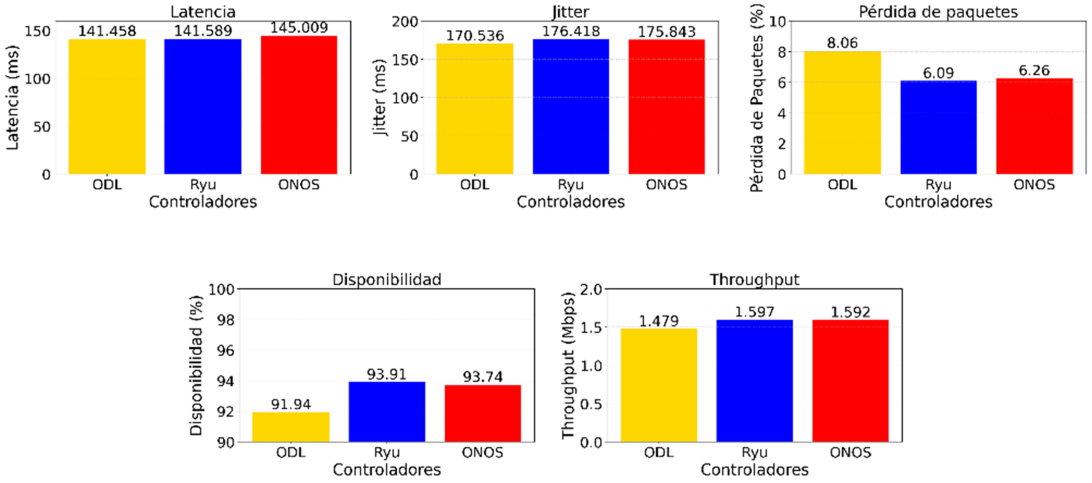

Figura 3: Métricas de desempeño en carga media

En este escenario de carga, la latencia se mantiene prácticamente equivalente entre controladores, con una ligera desventaja de ONOS. ODL logra el menor jitter, pero exhibe el peor comportamiento de entrega, reflejado en mayor pérdida y menor disponibilidad, lo que también afecta el throughput efectivo. Ryu muestra el mejor equilibrio global, reduce pérdidas, sostiene mayor disponibilidad y alcanza el mayor throughput, mientras ONOS se mantiene cercano en desempeño.

3.3. Escenario de carga alta

En el escenario de carga alta se evaluó el comportamiento de los controladores bajo concurrencia elevada, manteniendo constantes topología, configuración y el servicio de streaming, con 10 repeticiones por controlador. La Figura 4 integra las métricas y continuidad del servicio.

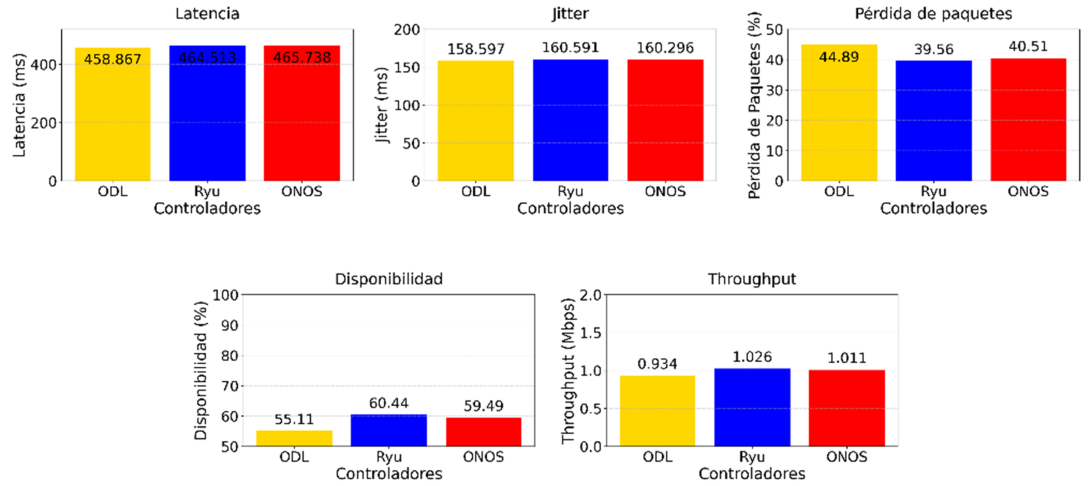

Figura 4: Métricas de desempeño en carga alta

En carga alta se muestra una degradación marcada. Aumentan la latencia y el jitter y disminuye la entrega efectiva del servicio. ODL presenta el desempeño menos favorable porque registra la mayor pérdida y la menor disponibilidad y esto se asocia con el throughput más bajo. Ryu mantiene un mejor comportamiento al sostener mayor disponibilidad y throughput con menor pérdida. ONOS se mantiene próximo a Ryu, pero con ligera desventaja en la fiabilidad de entrega.

3.4. Consumo de recursos del controlador

El consumo de memoria se midió por separado de los escenarios de carga porque depende sobre todo de la arquitectura y procesos internos del controlador y no escala linealmente con el tráfico. La Figura 5 compara el uso promedio en reposo y con el servicio de streaming para los respectivos controladores.

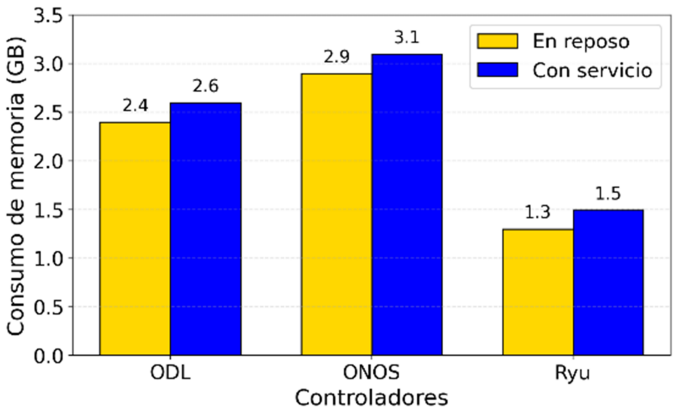

Figura 5: Consumo de memoria del controlador en reposo y con servicio

El controlador ONOS registra el mayor consumo en ambos estados, seguido por ODL, mientras Ryu mantiene el menor requerimiento de memoria. En los tres controladores, la ejecución del servicio incrementa moderadamente el uso respecto al reposo, lo que indica carga adicional por manejo de eventos y procesamiento de flujos. La separación entre controladores es más marcada que la variación entre estados, por lo que la selección impacta directamente el dimensionamiento de la VM y el margen operativo.

3.5. Síntesis comparativa del desempeño mediante diagramas radiales

El desempeño global de los controladores se resume mediante una comparación integrada por nivel de carga. A continuación, se presentan diagramas radiales construidos con métricas normalizadas bajo un criterio uniforme de mejor desempeño. Un polígono con mayor cobertura refleja un balance más favorable entre estabilidad temporal, eficiencia de entrega y continuidad del servicio.

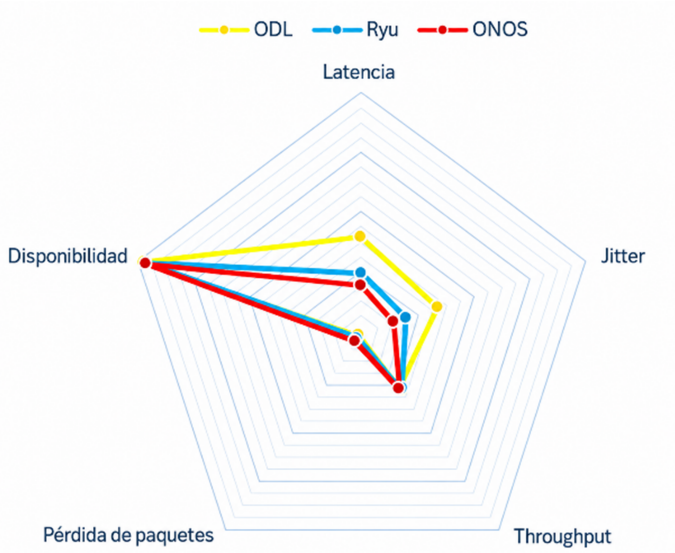

Figura 6: Síntesis radial en carga baja

El escenario de carga baja representa una condición base sin indicios de saturación. En la Figura 6 se aprecia que no existe un dominio total en todas las dimensiones. El resultado permite identificar ventajas específicas por controlador antes de introducir estrés por concurrencia.

Con carga media, las diferencias entre controladores se vuelven más sensibles a la entrega efectiva del tráfico. La Figura 7 muestra un perfil más equilibrado para el controlador que sostiene mejor continuidad, mientras el de menor cobertura concentra su deterioro en métricas de entrega. Este patrón sugiere que el estrés moderado revela la capacidad de sostener QoS sin degradación marcada de fiabilidad.

En carga alta, el sistema opera cercano a saturación y el desempeño integrado se reduce en los tres casos. La Figura 8 evidencia una contracción general de la cobertura, con un controlador manteniendo ventaja relativa por mejor continuidad del servicio y menor degradación por pérdida. La lectura dominante en este nivel es la robustez en entrega y disponibilidad como factor decisivo de comparación.

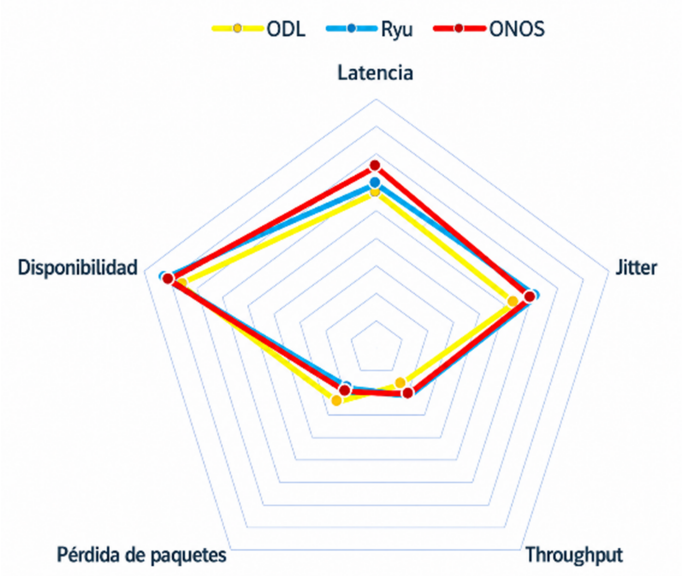

Figura 7: Síntesis radial en carga media

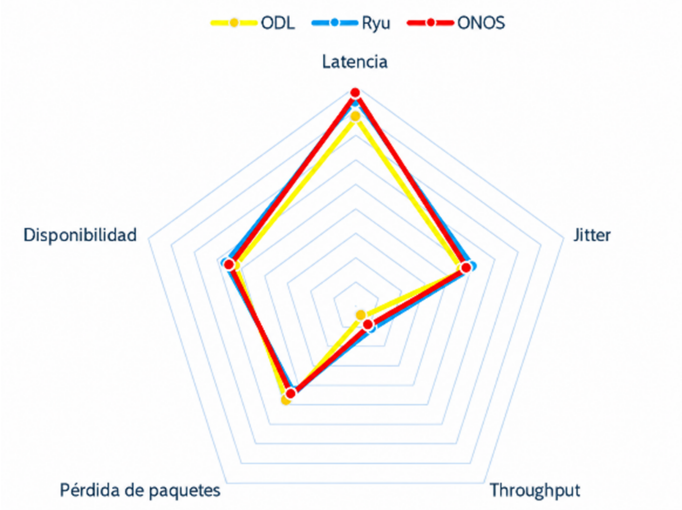

Figura 8: Síntesis radial en carga alta

3.6. Discusión

El análisis integrado muestra que el desempeño de los controladores cambia conforme aumenta la concurrencia del servicio. En carga baja, las diferencias se concentran principalmente en latencia y jitter, mientras que en carga media y alta adquieren mayor peso la pérdida, disponibilidad y throughput. Este comportamiento indica que, bajo condiciones cercanas a saturación, la continuidad del servicio resulta más determinante que una ventaja aislada en respuesta temporal.

Estos resultados son consistentes con estudios previos que reportan variaciones relevantes entre controladores SDN bajo condiciones de carga, especialmente en métricas temporales y de pérdida [16]. Asimismo, coinciden con la idea de que la selección del controlador depende del escenario evaluado y de las métricas priorizadas [17]. En particular, el desempeño favorable de Ryu en escenarios de concurrencia creciente se relaciona con reportes que destacan su comportamiento en diferentes configuraciones de red [13].

El aporte de este estudio radica en evaluar ODL, ONOS y Ryu bajo tráfico de streaming multimedia y niveles progresivos de concurrencia, manteniendo constantes la topología y el servicio. Esta aproximación permite observar no solo diferencias de rendimiento general, sino también la capacidad de cada controlador para sostener continuidad de entrega. En consecuencia, los resultados ofrecen criterios técnicos para seleccionar controladores SDN en servicios sensibles al tiempo dentro del entorno emulado evaluado.

El estudio se realizó en un entorno emulado, lo que condiciona la generalización directa a redes físicas de producción. La topología evaluada, el tipo de tráfico y los niveles de carga representan condiciones específicas que podrían no reflejar escenarios reales de mayor complejidad. En consecuencia, los resultados deben interpretarse como evidencia comparativa válida dentro del entorno controlado descrito, y no como conclusiones absolutas sobre el desempeño de los controladores en cualquier contexto de despliegue.

4. Conclusiones

Este trabajo abordó la falta de evidencia comparativa sobre el rendimiento de controladores SDN en servicios sensibles al tiempo bajo tráfico exigente. Se ejecutó una evaluación controlada en un entorno emulado, manteniendo constantes topología, configuración y servicio de streaming, y variando únicamente el controlador y el nivel de carga por concurrencia. Se analizaron ODL, ONOS y Ryu por representar arquitecturas ampliamente utilizadas y comparables bajo OpenFlow. Se midieron métricas de calidad de servicio y continuidad, y el consumo de memoria se estimó por separado en reposo y con servicio.

Los hallazgos muestran una clara transición al aumentar la carga. En carga baja se obtiene una línea base estable donde las diferencias reflejan compromisos entre respuesta temporal y fiabilidad de entrega. En carga media aparecen degradaciones iniciales y el desempeño se vuelve más sensible a pérdida y disponibilidad, que condicionan el caudal útil. En carga alta el régimen es cercano a saturación y la diferenciación se define principalmente por entrega efectiva y continuidad del servicio, mientras las ventajas marginales en retardo pierden peso.

La comparación confirma que no existe un controlador dominante en todas las métricas, pero sí perfiles consistentes. Ryu mantiene el balance más favorable conforme crece la concurrencia, al sostener mejor entrega efectiva y continuidad con degradación relativa menor. ONOS se mantiene competitivo y cercano en el perfil global, coherente con su enfoque de alta disponibilidad. ODL muestra mayor sensibilidad al incremento de carga, concentrando el deterioro en entrega y continuidad, lo que afecta el throughput percibido por los receptores.

En términos de selección técnica, para streaming con concurrencia creciente conviene priorizar el controlador que preserve continuidad y entrega, dado que pérdida y disponibilidad determinan la experiencia cuando se aproxima la saturación. Si el objetivo es optimizar estabilidad temporal en condiciones base, pueden considerarse ventajas puntuales en latencia y jitter, siempre evaluando su impacto en fiabilidad al escalar carga. El consumo de memoria aporta un criterio directo de dimensionamiento del entorno y del margen operativo en despliegues virtualizados.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de contribución de autores — CRediT

Kevin Cedeño: simulación.

Emilio Zhuma: conceptualización.

Santiago Meneses: metodología y validación.

Steveen Quiroz: redacción y visualización.

Financiación

No aplica.

Reseñas de autores

Santiago Meneses Narváez

El Ing. Santiago Meneses es Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicaciones y posee una Maestría en Telecomunicaciones, títulos obtenidos en la Universidad Técnica del Norte (UTN). Actualmente se desempeña como docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), donde desarrolla actividades académicas y de investigación en el área de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). Su experiencia se orienta al desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas aplicadas a la educación, electrónica, telecomunicaciones y sistemas digitales. Se encuentra afiliado institucionalmente a la UTEQ.

Correo: smenesesn@uteq.edu.ec

ORCID: 0009-0007-7177-4870

Emilio Rodrigo Zhuma Mera

Es Ingeniero en Sistemas Computacionales por la Universidad de Guayaquil y posee una Maestría en Conectividad y Redes de Ordenadores por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Actualmente se desempeña como docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, donde desarrolla actividades académicas y de investigación relacionadas con las TIC. Su experiencia profesional se encuentra vinculada a los sistemas computacionales, conectividad, redes de ordenadores y desarrollo de soluciones tecnológicas.

Correo: ezhuma@uteq.edu.ec

ORCID: 0000-0002-3086-1413

Kevin Damián Cedeño Rodríguez

Es Ingeniero en Telemática por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Actualmente se desempeña como profesional independiente, desarrollando actividades relacionadas con las TIC. Su experiencia y área de interés se encuentran vinculadas al ámbito tecnológico y al desarrollo e implementación de soluciones relacionadas con las TIC.

Correo: kcedenor3@uteq.edu.ec

ORCID: 0009-0006-4851-2883

Steveen Isaías Quiroz Nieves

Es Ingeniero en Telemática por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Actualmente se desempeña como profesional independiente, desarrollando actividades relacionadas con las TIC. Su experiencia y área de interés se encuentran vinculadas al ámbito tecnológico y al desarrollo e implementación de soluciones relacionadas con las TIC.

Correo: squirozn@uteq.edu.ec

ORCID: 0009-0004-8506-9193

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial

Sí se utilizó inteligencia artificial como apoyo técnico o complementario.

Finalidad declarada: generación o procesamiento de imágenes/gráficos.

Herramienta empleada: ChatGPT.

Referencias

[1] A. Aljughaiman and S. Almarri, "The pivotal role of software defined networks to safeguard against cyber attacks: a comprehensive review," *PeerJ Computer Science*, vol. 11, p. e2814, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.7717/PEERJ-CS.2814

[2] H. Riggs, A. Khalid, and A. I. Sarwat, "An overview of SDN issues—a case study and performance evaluation of a secure OpenFlow protocol implementation," *Electronics*, vol. 14, no. 16, p. 3244, Aug. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS14163244

[3] S. Meneses, E. Zhuma, M. Bajaña, and D. Intriago, "Algoritmo adaptativo para consumo energético en redes de internet de las cosas," *MASKAY*, vol. 16, no. 2, pp. 25–32, Dec. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.24133/maskay.v16i2.4294

[4] Y. Xu and J. Huang, "A survey on time-sensitive networking standards and applications for intelligent driving," *Processes*, vol. 11, no. 7, p. 2211, Jul. 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/PR11072211

[5] M. Di Mauro, M. Longo, and F. Postiglione, "Performability evaluation of software defined networking infrastructures," in *ValueTools 2016 - 10th EAI International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools*, May 2017, pp. 88–95. [Online]. Available: https://doi.org/10.4108/EAI.25-10-2016.2266605

[6] M. Guo, G. Shou, Y. Liu, and Y. Hu, "Software-defined time-sensitive networking for cross-domain deterministic transmission," *Electronics*, vol. 13, no. 7, p. 1246, Mar. 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS13071246

[7] A. J. Gonzalez, G. Nencioni, B. E. Helvik, and A. Kamisiński, "A fault-tolerant and consistent SDN controller," in *Proceedings - IEEE Global Communications Conference, GLOBECOM*, 2016. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2016.7841496

[8] S. R. Mishra, B. Shanmugam, K. C. Yeo, and S. Thennadil, "SDN-enabled IoT security frameworks—a review of existing challenges," *Technologies*, vol. 13, no. 3, p. 121, Mar. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/TECHNOLOGIES13030121

[9] O. A. Fernando, H. Xiao, J. Spring, and X. Che, "A performance evaluation for software defined networks with P4," *Network*, vol. 5, no. 2, p. 21, Jun. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/NETWORK5020021

[10] M. Ali *et al.*, "Performance and scalability analysis of SDN-based large-scale Wi-Fi networks," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 7, p. 4170, Mar. 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/APP13074170

[11] A. Ram and S. K. Chakraborty, "Analysis of software-defined networking (SDN) performance in wired and wireless networks across various topologies, including single, linear, and tree structures," *Indian Journal of Information Sources and Services*, vol. 14, no. 1, pp. 39–50, Feb. 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.51983/IJISS-2024.14.1.3926

[12] C. Ren, S. Wang, J. Ren, X. Wang, T. Song, and D. Zhang, "Enhancing traffic engineering performance and flow manageability in hybrid SDN," in *Proceedings - IEEE Global Communications Conference, GLOBECOM*, 2016. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2016.7841819

[13] A. Montazerolghaem and S. Imanpour, "Evaluation and performance analysis of the Ryu controller in various network scenarios," *Contributions of Science and Technology for Engineering*, vol. 3, no. 2, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.22080/cste.2025.28843.1022

[14] A. Al-Najjar, F. Pakzad, S. Layeghy, and M. Portmann, "Link capacity estimation in SDN-based end-hosts," in *10th International Conference on Signal Processing and Communication Systems, ICSPCS 2016 - Proceedings*, 2016. [Online]. Available: https://doi.org/10.1109/ICSPCS.2016.7843372

[15] M. B. Leouro, A. R. Amine, and B. Narkoy, "Comparative analysis of SDN controller scalability: Experimental evaluation with Mininet and Cbench," *International Journal of Engineering and Computer Science*, vol. 14, no. 12, pp. 28 054–28 061, Dec. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.18535/IJECS/V14I12.5361

[16] F. E. Aslan and M. B. Al-Somaidai, "Performance analysis of various SDN controllers with different network size in SDWN," 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.4108/eai.7-9-2021.2314875

[17] I. Koulouras, I. Bobotsaris, S. V. Margariti, E. Stergiou, and C. Stylios, "Assessment of SDN controllers in wireless environment using a multi-criteria technique," *Information*, vol. 14, no. 9, p. 476, Aug. 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/INFO14090476

[18] C. Jayawardena, J. Chen, A. Bhalla, and L. Bu, "Comparative analysis of POX and RYU SDN controllers in scalable networks," *International Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 17, no. 2, pp. 35–51, Apr. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.5121/ijcnc.2025.17203

[19] N. Makondo, T. Mathonsi, W. Mnyandu, H. Kobo, and D. Du Plessis, "Towards a heterogeneous distributed SDN control plane system: A comparative review of open network operating system and open daylight," in *icABCD 2025 - Proceedings of the 2025 International Conference on AI, Big Data, Computing and Data Communication Systems*, vol. 25, Nov. 2025, p. 10. [Online]. Available: https://doi.org/10.1145/3759023.3759117

[20] R. Wainwright, M. Bagheri, A. Salama, and R. Saatchi, "Software-defined networking security detection strategies and their limitations with a focus on distributed denial-of-service for small to medium-sized enterprises," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 23, p. 12389, Nov. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/APP152312389

IDEAS

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

Journal homepage:
https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Aplicativo móvil basado en la experiencia del usuario, para el apoyo a los cuidadores de enfermos con demencia. Un estudio de caso en Portoviejo, Ecuador

User Experience-Based Mobile App for Dementia Caregivers: A Case Study in Portoviejo, Ecuador

Carlos Pinargote Navarrete[a], Hernan Vargas Nolivos[a], Fabricio Santana Campoverde[a], Mauricio Quimiz Moreira[a], Merly Mendoza Palma[a]

[a] Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

Recibido: 2025-06-25, Aceptado: 2026-06-12, Publicado: 2026-07-31
Autor de correspondencia: carlos.pinargote@utm.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1298
Copyright: CC BY 4.0

PALABRAS CLAVES:

Aplicación móvil; Demencia; Cuidadores; Prototipo.

RESUMEN

El presente trabajo comprende el desarrollo e implementación de un aplicativo móvil, basado en la experiencia del usuario, diseñado para apoyar a los cuidadores familiares de pacientes con demencia; enfermedad que afecta el sistema cognitivo o los procesos mentales de las personas, en mayor proporción a los de edad avanzada. Se utiliza el método de acción participativa, que involucra a los usuarios finales, en este caso a los cuidadores. El método se aplicó en dos fases, la recolección de datos iniciales a través de entrevistas y encuestas, posterior a ello, se realizó un prototipo de la aplicación con sesiones de retroalimentación iterativas de los cuidadores. En esta fase se utilizó la metodología Kanban que permitió adaptar cambios en base a los criterios de 30 personas, recogidas a través de encuestas, logrando definir las necesidades propias de los cuidadores y construir una aplicación amigable, escalable con interfaces dinámicas y de fácil uso.

KEYWORDS:

Mobile application; Dementia; Caregivers; Prototype.

ABSTRACT

This work involves the development and implementation of a user-experience-based mobile application designed to support family caregivers of patients with dementia, a disease that affects the cognitive system or mental processes of people, especially those of older age. The participatory action method is used, which involves end users, in this case, caregivers. This method was applied in two phases: initial data collection through interviews and surveys. Subsequently, a prototype of the application was created with iterative feedback sessions from caregivers. In this phase, the Kanban methodology was used, which allowed for changes to be made based on the criteria of 30 people, collected through surveys. This allowed for defining the caregivers specific needs and building a user-friendly, scalable application with dynamic and easy-to-use interfaces.

Cómo citar

C. Pinargote Navarrete, H. Vargas Nolivos, F. Santana Campoverde, M. Quimiz Moreira, and M. Mendoza Palma, “Aplicativo móvil basado en la experiencia del usuario, para el apoyo a los cuidadores de enfermos con demencia. Un estudio de caso en Portoviejo, Ecuador,” *Innovation & Development in Engineering and Applied Science*, vol. 8, no. 2, p. 8, 2026, https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1298

1. Introducción

En la actualidad existen muchas personas que tienen enfermedades mentales, lo que lleva a sus familiares a tomar medidas de cuidado y protección. El crecimiento de familiares que se dedican a la atención ha aumentado y en muchos de estos casos, no conocen como tratar el cuidado de su familiar [1]. En Ecuador existen alrededor de unos 100 mil casos de personas con problemas de Alzheimer [2, 3]. Se teme que la cifra siga en aumento, lo que lleva a una serie de problemas no solo para el paciente, sino para la persona que lo esté cuidando, lo que provoca una carga de responsabilidad mayor, sobre todo a los familiares que son cuidadores. Y la falta de redes o estrategias de apoyo al cuidador puede influir en la sobrecarga laboral.

En Ecuador en los últimos años se han registrado muchas muertes de personas con enfermedades mentales, muchas de ellas debida por la depresión, ansiedad, Alzheimer entre otras, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), indica que en el 2018 las cifras de personas que sufren demencia representaron el 30 % del total de fallecimientos en Ecuador [4]. Desde la llegada de la pandemia los gobiernos de las Américas han tenido que implementar muchas medidas de contención al Covid-19, muchas de estas medidas fueron la cuarentena, el distanciamiento físico, dando un gran cambio en los hábitos naturales de las personas causando consecuencias a nivel psicológico, estas personas conforman un gran grupo vulnerable, las diferentes medidas de aislamiento y reclusión afectan en gran medida el estado mental [5].

El crecimiento y el masivo aumento de los teléfonos inteligentes y tabletas en la sociedad han hecho que las herramientas, el uso de las nuevas tecnologías y los recursos de la telecomunicaciones, brindan la oportunidad de que se creen herramientas móviles orientadas a la salud, son muchas las personas que se benefician de su uso para el monitoreo controles y que promueva un estilo de vida saludable, los avances del internet y las aplicaciones móviles representa una gran oportunidad para mejorar la prevención, gestión y manejo de enfermedades [6].

El cuidado domiciliario de personas con demencia implica una carga física, emocional y organizativa significativa para los cuidadores familiares, quienes deben garantizar supervisión constante y manejo adecuado de síntomas conductuales [7]. Diversos estudios han señalado que la falta de estrategias formales de apoyo incrementa el riesgo de estrés crónico y deterioro en la salud mental del cuidador [1, 8].

El contar con el apoyo de una aplicación que ayude a los cuidadores de personas con demencia permite aliviar la carga laboral y reducir el deterioro cognitivo tanto del paciente como de su cuidador. En este contexto, se destaca la necesidad de un Enfoque en Gestión Conductual, subrayando que es imperativo analizar las necesidades específicas de los cuidadores informales para manejar los síntomas psicológicos y conductuales de la demencia [7]. Esta personalización de las herramientas digitales es lo que permite que el apoyo pase de ser meramente informativo a ser una intervención terapéutica efectiva [1].

Considerando además que las aplicaciones móviles de salud, han evolucionado hacia herramientas de gestión activa que no solo proporcionan información, sino que integran recordatorios, monitoreo y recursos educativos personalizados [6, 9, 10]. Este tipo de soluciones permiten transformar el cuidado informal en un proceso organizado y apoyado tecnológicamente, reduciendo la carga operativa y mejorando la percepción de control del cuidador.

Sin embargo, en el contexto ecuatoriano, la disponibilidad de aplicaciones específicamente diseñadas para cuidadores de personas con demencia es limitada, lo que evidencia una brecha tecnológica y de apoyo local. Esta necesidad justifica el desarrollo del presente aplicativo móvil basado en la experiencia del usuario, orientado a mejorar la calidad de vida y la gestión diaria del cuidado en el entorno de la ciudad de Portoviejo.

La pregunta de investigación del presente trabajo, comprende, ¿Cómo un aplicativo móvil diseñado para los cuidadores de personas con demencia puede mejorar su calidad de vida en la gestión diaria del cuidado? Para responder la pregunta de investigación se plantea el objetivo de desarrollar e implementar una aplicación móvil que apoya a los cuidadores familiares de pacientes con demencia, con el fin de mejorar su calidad de vida y facilitar la gestión de las tareas diarias relacionadas con el cuidado del paciente.

Dentro del Desarrollo del presente trabajo, se utiliza el método de acción participativa que involucra a los cuidadores o familiares en calidad de cuidadores. La aplicación de este método consistió en dividir en dos fases, la recolección de datos iniciales a través de entrevistas y encuestas, posterior a ello, y la segunda fase se realizó un prototipo de la aplicación con sesiones de retroalimentación iterativas de los cuidadores.

2. Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto mediante el método de investigación–acción participativa, el cual permite involucrar activamente a los usuarios finales durante el proceso de diseño y validación tecnológica. Este enfoque resulta adecuado en el desarrollo de aplicaciones móviles orientadas a la salud, debido a que facilita la identificación de necesidades y mejora la aceptación tecnológica por parte de los usuarios.

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Portoviejo, Ecuador, con cuidadores familiares de personas diagnosticadas con demencia.

La investigación se estructuró en dos fases:

1. Diseño participativo y desarrollo del prototipo.
2. Evaluación de usabilidad y satisfacción del usuario.

En la primera fase participaron 30 cuidadores familiares, seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, pertenecientes a una congregación comunitaria de la ciudad de Portoviejo. La muestra de 30 personas la consideró equipo investigador, tomando en cuenta el escaso número de personas cuidadoras, lo que es suficiente para el prototipado que se plantea. Aquello, permitió obtener una visión inicial sobre las necesidades de los cuidadores [8] para identificar los desafíos específicos de los cuidadores, como el manejo de los síntomas conductuales, sus desafíos, y la funcionalidad de la aplicación móvil, para ello se consideraron una variedad de perfiles como edad, experiencia, tipo de demencia de la persona a la que cuidan y contexto socioeconómico [4].

El objetivo de esta fase fue identificar los principales desafíos asociados al cuidado diario de pacientes con demencia y definir los requerimientos funcionales del aplicativo móvil.

Para la recolección de información se utilizaron: encuestas estructuradas, entrevistas semiestructuradas, grupos focales con cuidadores y entrevista a un profesional del área médica especializado.

Tomando en cuenta lo señalado por [9], se incluyó en el presente trabajo, sobre el destinatario de la atención, recursos educativos, servicios de apoyo para los cuidadores, herramientas para la resolución de problemas y evaluaciones del bienestar para mejorar el apoyo y la atención al paciente.

La información proporcionada por el profesional médico, para el desarrollo de prototipado, se obtuvo a través entrevista, considerando aspectos como años de experiencia.

Los resultados obtenidos permitieron establecer las funcionalidades prioritarias del sistema y orientar el diseño centrado en el usuario (*User-Centered Design*). Y su desarrollo se realizó siguiendo principios de Experiencia de Usuario (UX) y metodologías ágiles de software, específicamente Kanban, permitiendo iteraciones continúas basadas en la retroalimentación de los participantes. Se consideraron funciones claves de apoyo para cuidadores, que incluyen la administración de medicamentos, el calendario, la información de salud cognitiva, las videollamadas, el seguimiento de la actividad, las herramientas de comunicación, el acceso a los recursos en línea, el monitoreo en tiempo real y los mecanismos de retroalimentación [11].

A partir de la fase de diseño participativo, se establecieron los requerimientos funcionales críticos para el éxito de la herramienta. Se ha identificado que la eficacia de estas aplicaciones radica en ofrecer funciones que mitiguen la carga operativa, tales como la administración de medicamentos, calendarios sincronizados, videollamadas y monitoreo en tiempo real. Estos requerimientos permiten que el apoyo pase de ser meramente informativo a ser una intervención de gestión activa. Bajo esta premisa, la aplicación fue diseñada bajo una arquitectura cliente–servidor que soporta estos módulos operativos, compuesta por: aplicación móvil instalada en dispositivos Android, servicio de almacenamiento en la nube, base de datos para gestión de información del cuidador y paciente, servicios de sincronización y actualización de datos. Este enfoque permite escalabilidad, accesibilidad remota y actualización continua del sistema.

A partir del análisis participativo se definieron los siguientes módulos funcionales principales: gestión del paciente, recordatorio de medicación y tareas, agenda de cuidado diario, información educativa sobre demencia, seguimiento del bienestar del cuidador, comunicación y apoyo.

Para el desarrollo tecnológico se consideró las herramientas: Android Studio como entorno de desarrollo, lenguaje de programación orientado a aplicaciones móviles, interfaces gráficas dinámicas centradas en accesibilidad, prototipado iterativo basado en retroalimentación de usuarios.

Durante el proceso se realizaron ciclos continuos de mejora hasta obtener un prototipo funcional validado por los participantes.

La segunda fase correspondió a la evaluación del prototipo desarrollado. Participaron 10 cuidadores, seleccionados del grupo inicial, quienes realizaron pruebas controladas de interacción con la aplicación. Se consideraron dos aspectos pruebas de usabilidad y pruebas de satisfacción.

Para la prueba de satisfacción se consideraron los criterios: calidad de vida del cuidador, reducción del estrés, organización del tiempo, seguridad en la gestión del cuidado, satisfacción general. Y en la prueba de usabilidad se tomaron en cuenta los criterios: facilidad de aprendizaje, eficiencia de uso, memorabilidad, manejo de errores, satisfacción general.

Las pruebas se realizaron mediante observación directa, donde los participantes ejecutaron tareas específicas dentro de la aplicación sin intervención del investigador, salvo aclaraciones mínimas.

3. Resultados

Para el análisis cuantitativo se empleó estadística descriptiva basada en frecuencias y proporciones. Se utilizó el indicador de ratio de percepción positiva, definido como la proporción entre respuestas favorables y el total de participantes evaluados. Este criterio es coherente con los estándares de evaluación de experiencia de usuario, donde las métricas proporcionales y normalizadas permiten comparar niveles de satisfacción, eficiencia y aceptación independientemente del tamaño muestral [12]. En tal sentido, el ratio no se emplea como herramienta financiera, sino como un indicador descriptivo de desempeño percibido dentro de la evaluación de usabilidad.

Es fundamental precisar que los 10 cuidadores que participaron en esta fase final de evaluación de usabilidad y satisfacción constituyen un subgrupo representativo de los 30 participantes iniciales que colaboraron en el levantamiento de necesidades y el diseño participativo. Esta selección permitió dar continuidad al proceso de retroalimentación iterativa bajo la metodología Kanban, asegurando que quienes validaron el prototipo funcional fueran usuarios ya familiarizados con los requerimientos definidos previamente en el contexto de Portoviejo.

Los resultados fueron presentados mediante tablas comparativas que permiten identificar tendencias de usabilidad y satisfacción del aplicativo móvil.

En la prueba de usabilidad, presentada en la Tabla 1, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1: Resultados de la prueba de usabilidad

Pregunta	Respuesta	Número de personas	Porcentaje (%)
1. Facilidad de aprendizaje			
¿Qué tan fácil te resultó aprender a usar la app la primera vez?	Muy fácil	4	40 %
	Fácil	3	30 %
	Algo difícil	2	20 %
	Muy difícil	1	10 %
2. Utilidad de las instrucciones			
¿Las instrucciones dentro de la app fueron útiles?	Muy útiles	5	50 %
	Algo útiles	3	30 %
	Poco útiles	1	10 %
	Nada útiles	1	10 %
3. Tiempo para entender tareas			
¿Cuánto tiempo te tomó entender cómo realizar las tareas más importantes?	Menos de 5 minutos	6	60 %
	Entre 5 y 10 minutos	3	30 %
	Más de 10 minutos	1	10 %
4. Comodidad al usar la app			
¿Te sentiste cómodo/a usando la app después de la primera interacción?	Completamente cómodo	4	40 %
	Algunas dudas	4	40 %
	Me costó adaptarme	2	20 %
5. Eficiencia de uso			
¿Qué tan rápido pudiste completar las tareas clave?	Muy rápido	3	30 %
	Rápido	4	40 %
	Lento	2	20 %
	Muy lento	1	10 %
6. Accesibilidad de funciones			
¿Las funciones principales de la app eran fácilmente accesibles?	Todas accesibles	5	50 %
	Algunas accesibles	4	40 %

Continúa en la página siguiente

Continuación de la Tabla 1

Pregunta	Respuesta	Número de personas	Porcentaje (%)
	Me costó encontrarlas	1	10 %
7. Recordar el uso			
¿Te resultó fácil recordar cómo usar la app después de un tiempo sin usarla?	Fácil recordar	6	60 %
	Me costó un poco	3	30 %
	Me costó mucho	1	10 %
8. Manejo de errores			
¿Cometiste errores al usar la app?	No cometí errores	5	50 %
	Algunos errores menores	4	40 %
	Varios errores	1	10 %
9. Claridad de los mensajes de error			
¿La app te proporcionó mensajes claros cuando cometiste errores?	Muy claros y útiles	4	40 %
	Claros, pero poco útiles	4	40 %
	Confusos	2	20 %
10. Satisfacción general			
¿Qué tan satisfecho/a estás con la experiencia general?	Muy satisfecho/a	3	30 %
	Satisfecho/a	4	40 %
	Neutral	2	20 %
	Insatisfecho/a	1	10 %

Elaboración propia.

Los resultados de la prueba de usabilidad fueron analizados mediante el cálculo de ratios de percepción positiva, definidos como la proporción de respuestas favorables respecto al total de participantes(número de 10).

En el criterio de facilidad de aprendizaje, el ratio de aceptación fue de 0.7, correspondiente a siete participantes que calificaron la experiencia inicial como “muy fácil” o “fácil”. Este valor indica una adopción intuitiva mayoritaria del sistema, aunque el 30 % restante evidencia oportunidades de mejora en la fase de integración y aprendizaje que experimenta un usuario al interactuar con el sistema por primera vez.

En cuanto a la eficiencia de uso, el ratio fue igualmente de 0.7, lo que sugiere que la mayoría de los usuarios logró completar tareas clave en tiempos adecuados. Este resultado es consistente con un diseño funcional orientado a minimizar pasos innecesarios en la gestión del cuidado.

El criterio de memorabilidad presentó el ratio más alto, 0.9, evidenciando que nueve de los diez participantes pudieron recordar el funcionamiento de la aplicación con facilidad o con mínima dificultad. Este indicador es relevante en aplicaciones destinadas a cuidadores, donde la simplicidad estructural favorece la retención cognitiva.

En relación con el manejo de errores, el ratio positivo alcanzó 0.9 al considerar tanto la ausencia de errores como la presencia de errores menores. No obstante, el análisis de la claridad de los mensajes mostró un 20 % de respuestas que los calificaron como confusos, lo que sugiere la necesidad de mejorar la retroalimentación del sistema.

Finalmente, la satisfacción general dentro de la experiencia de uso presentó un ratio de 0.7, indicando una percepción favorable global del prototipo. Los ratios obtenidos en conjunto, entre 0.7 y 0.9, evidencian un nivel adecuado de usabilidad en esta fase de validación preliminar, con fortalezas claras en memorabilidad y manejo operativo, y áreas específicas de optimización en claridad de mensajes y adaptación inicial.

Se han encontrado trabajos de diseño de app que realizan pruebas de usabilidad centrándose en los tiempos de respuesta principalmente. A diferencia del presente prototipo, que considera aspectos de satisfacción, facilidad y eficiencia. Los resultados se muestran favorables. Estos hallazgos son coherentes con los principios de diseño centrado en el usuario, donde la facilidad de aprendizaje y la memorabilidad constituyen indicadores clave de adopción tecnológica en poblaciones no técnicas [12].

La Figura 1 presenta los ratios de percepción positiva obtenidos en la evaluación de usabilidad.

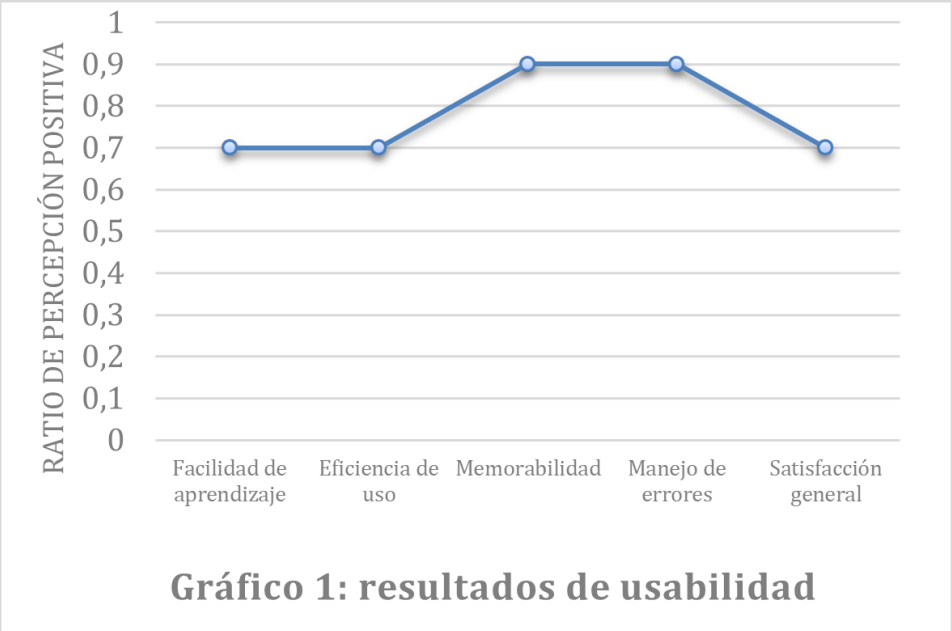

Figura 1: Ratios de percepción positiva obtenidos en la evaluación de usabilidad

En la prueba de satisfacción de los cuidadores, se consideró el impacto en la calidad de vida, la gestión del cuidado diario y satisfacción general. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Prueba de satisfacción de los cuidadores

Pregunta	Respuesta	Número de personas	Porcentaje (%)	Ratio
¿Considera que la app ha mejorado tu calidad de vida?	Mucho	6	60 %	0.6
	Algo	2	20 %	0.2
	Poco	1	10 %	0.1
	Nada	1	10 %	0.1
Ratio de Mejora Significativa				0.6 (60 %)
Ratio de Mejora (Mucho + Algo)				0.8 (80 %)
¿Ha permitido la app reducir el estrés?	Totalmente	5	50 %	0.5
	Parcialmente	3	30 %	0.3
	No mucho	1	10 %	0.1
	No ha reducido el estrés	1	10 %	0.1
Ratio de Reducción Total				0.5 (50 %)
Ratio de Reducción (Totalmente + Parcialmente)				0.8 (80 %)
¿Ha ayudado a gestionar mejor el tiempo?	Sí, mucho	7	70 %	0.7
	Sí, algo	2	20 %	0.2
	No ha tenido mucho impacto	1	10 %	0.1
	No ha ayudado en absoluto	0	0 %	0.0
Ratio de Mejora en Gestión del Tiempo				0.7 (70 %)
¿Resulta más fácil organizar tareas diarias?	Sí, completamente	6	60 %	0.6
	Sí, parcialmente	3	30 %	0.3
	No mucho	1	10 %	0.1
	No ha facilitado la organización	0	0 %	0.0
Ratio de Facilidad en Organización				0.6 (60 %)
¿Utilidad de los recordatorios de tareas?	Muy útil	6	60 %	0.6
	Útil	3	30 %	0.3
	Poco útil	1	10 %	0.1
	Inútil	0	0 %	0.0
Ratio de Utilidad				0.6 (60 %)
¿Te sientes más seguro/a en la gestión del cuidado?	Totalmente	5	50 %	0.5
	Algo más seguro/a	4	40 %	0.4
	No mucho	1	10 %	0.1
	Nada más seguro/a	0	0 %	0.0
Ratio de Seguridad				0.5 (50 %)
Satisfacción general con la app	Muy satisfecho/a	6	60 %	0.6
	Satisfecho/a	3	30 %	0.3
	Neutral	1	10 %	0.1

Continúa en la página siguiente

Continuación de la Tabla 2

Pregunta	Respuesta	Número de personas	Porcentaje (%)	Ratio
	Insatisfecho/a	0	0 %	0.0
Ratio de Satisfacción				0.6 (60 %)
¿Recomendarías la app a otros cuidadores?	Definitivamente sí	7	70 %	0.7
	Probablemente sí	2	20 %	0.2
	No estoy seguro/a	1	10 %	0.1
	No la recomendaría	0	0 %	0.0
Ratio de Recomendación				0.7 (70 %)

Elaboración propia.

A diferencia de la evaluación de usabilidad, que se centra en la interacción técnica con la interfaz, la prueba de satisfacción permitió analizar el impacto percibido del aplicativo en dimensiones emocionales y organizativas del cuidado.

En el criterio de calidad de vida, el 80 % de los participantes reportó una mejora, con un ratio combinado de 0.8, lo que sugiere que la herramienta contribuye a generar una percepción de mayor control y acompañamiento en el proceso de cuidado. Este hallazgo es relevante considerando que la literatura identifica la sobrecarga emocional como uno de los principales factores de riesgo en cuidadores informales [8].

En cuanto a la reducción del estrés, el ratio combinado alcanzó también 0.8, lo cual indica que la estructura organizativa de la aplicación, basada en recordatorios y planificación de tareas podría disminuir la incertidumbre diaria asociada al cuidado continuo.

La gestión del tiempo presentó un ratio de 0.7, evidenciando que la mayoría de los participantes percibe una mejora operativa concreta. Este resultado se alinea con estudios que destacan la importancia de integrar herramientas funcionales más allá del contenido informativo en aplicaciones dirigidas a cuidadores [9].

Uno de los indicadores más relevantes fue la percepción de seguridad en la gestión del cuidado, donde el 90 % de los encuestados manifestó sentirse total o parcialmente más seguro. Este aspecto resulta coherente con investigaciones que vinculan el diseño centrado en el usuario con el incremento de la autoeficacia en cuidadores [11].

Finalmente, el ratio de recomendación de 0.7 indica una aceptación favorable del prototipo dentro del grupo evaluado. Aunque estos resultados corresponden a un estudio descriptivo con muestra limitada, muestran una tendencia consistente hacia una mejora percibida en múltiples dimensiones del cuidado domiciliario.

La Figura 2 presenta los ratios de percepción positiva obtenidos de la evaluación de satisfacción de los cuidadores.

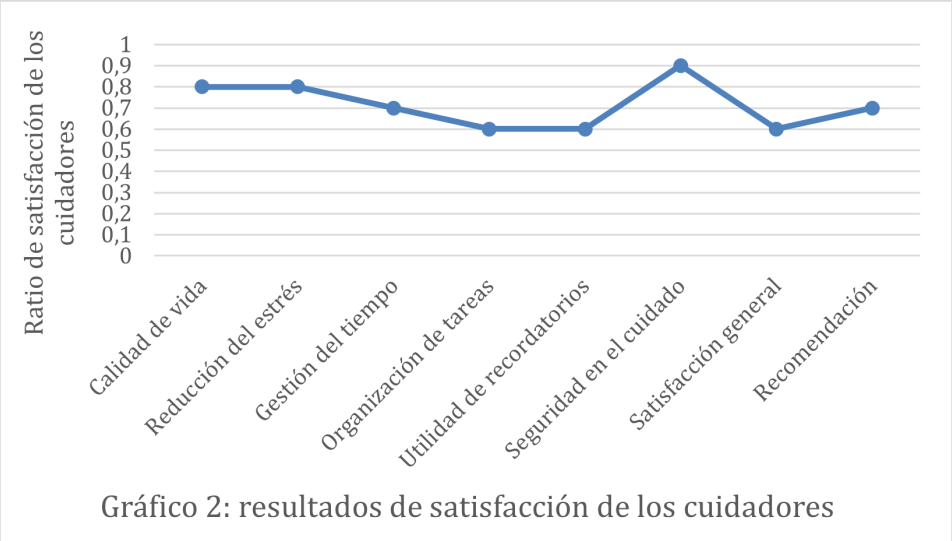

Figura 2: Ratios de percepción positiva obtenidos de la evaluación de satisfacción de los cuidadores

En relación con el análisis cuantitativo de aplicaciones móviles para cuidadores realizado por [9], se observa que muchas de las herramientas existentes priorizan la entrega de información y recursos educativos, pero presentan

limitaciones en cuanto a integración funcional y seguimiento continuo del bienestar del cuidador. En contraste, el presente prototipo incorpora módulos operativos como recordatorios sincronizados, agenda estructurada y monitoreo del estado emocional, lo que amplía el alcance funcional hacia una gestión activa del cuidado.

Asimismo, [11] destacan que los sistemas dirigidos a cuidadores deben diseñarse bajo principios de diseño centrado en el usuario, considerando requerimientos funcionales derivados directamente de la experiencia del cuidador. En coherencia con este enfoque, la aplicación desarrollada en este estudio se construyó mediante un proceso participativo en dos fases, asegurando que los módulos implementados respondieran a necesidades reales identificadas en el contexto local. Esta alineación metodológica fortalece la validez del diseño propuesto y su pertinencia para el entorno de Portoviejo.

4. Conclusiones

En la implementación de la app desarrollada para el cuidado de personas con demencia, los resultados sugieren un impacto positivo percibido por los cuidadores. Las conclusiones no son meras suposiciones, sino que se derivan del método de acción participativa y las pruebas controladas. Como impacto validado, la mejora en la calidad de vida está respaldada por un ratio de mejora del 0.8, entre “mucho” y “algo”. Asimismo, respecto a la gestión de tareas, el cumplimiento del objetivo de investigación se evidencia en el ratio de 0.7 en gestión del tiempo, lo que reduce la carga emocional asociada al cuidado. Estos hallazgos muestran que la aplicación es fácil de utilizar y satisface las necesidades reales de los usuarios.

Finalmente, como limitaciones del estudio, es necesario reconocer que, aunque la muestra fue reducida, los resultados presentan coherencia interna y consistencia descriptiva, permitiendo identificar tendencias preliminares en la percepción de los usuarios. Estos hallazgos no solo responden al objetivo de mejorar la calidad de vida y la gestión del cuidado en el entorno local, sino que sientan las bases metodológicas y tecnológicas para una escalabilidad mayor en la provincia de Manabí, permitiendo futuras intervenciones en grupos de cuidadores más extensos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses relacionado con la elaboración, desarrollo, publicación o difusión del presente trabajo.

Declaración de contribución de autores — CRediT

Los autores participaron en la conceptualización y planteamiento general de la investigación, así como en la definición de la metodología empleada.

Los autores contribuyeron al desarrollo y ejecución de las actividades de investigación, recopilación, organización y análisis de la información.

La validación de los resultados y el análisis formal fueron realizados de manera conjunta por los autores.

Los autores participaron en la preparación, revisión y edición del manuscrito, incluyendo la interpretación de los resultados y la elaboración de las conclusiones.

La visualización, supervisión y administración general del trabajo fueron desarrolladas conjuntamente por los autores.

Todos los autores han leído y aprobado la versión final del manuscrito y asumen responsabilidad por su contenido.

Financiación

No aplica. El presente trabajo no recibió financiación externa específica para su desarrollo.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial

Se utilizaron herramientas de inteligencia artificial únicamente como apoyo técnico y complementario durante la pre-

paración del manuscrito.

Su utilización se limitó a actividades de apoyo en la revisión gramatical, sintáctica y estilística del texto, así como a sugerencias relacionadas con la claridad y organización de la redacción.

El planteamiento de la investigación, la metodología, el análisis e interpretación de los resultados, las conclusiones y la responsabilidad sobre el contenido final corresponden exclusivamente a los autores.

Herramienta empleada: **ChatGPT (OpenAI)**.

Referencias

[1] T. Jagoda, S. D. Dharmaratne, and S. Rathnayake, "Designing an mhealth application for informal carers concerning the management of behavioural and psychological symptoms of dementia: a need analysis survey," *BMC Health Services Research*, vol. 24, no. 1, p. 930, Aug. 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.1186/s12913-024-11273-9

[2] A. B. Choez-García, B. M. Rodríguez-Zavala, I. G. Parrales-Pincay, and N. J. Valero-Cedeño, "El alzheimer, la epidemia del siglo," *Polo del Conocimiento*, vol. 5, no. 6, pp. 956–967, Jun. 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.23857/pc.v5i6.2280

[3] Fundación TASE, "Que el alzheimer no nos detenga 2021," 2021. [Online]. Available: https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/empresariales/1/fundacion-tase-impulsa-la-campana-que-el-alzheimer-no-nos-detenga-2021

[4] I. I. Buitrón Nieto, "Abordaje integral y cuidados paliativos en una paciente con enfermedad de creutzfeldt-jakob de la parroquia colón de la ciudad de portoviejo-ecuador, durante el período 2019-2021. análisis de caso," Nov. 2021, accedido: 7 de mayo de 2025. [Online]. Available: https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/29581

[5] M. O. Gallegos de San Vicente *et al.*, "Cómo afrontar la pandemia del coronavirus (Covid-19) en las américas: recomendaciones y líneas de acción sobre salud mental," *Revista Interamericana de Psicología*, Apr. 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.30849/ripijp.v54i1.1304

[6] M. A. A. Pérez, M. B. P. Morales, and M. C. A. Pérez, "Utilización de apps móviles en el control de la salud," *Ciencia al Servicio de la Salud y Nutrición*, vol. 10, no. 2, Nov. 2019. [Online]. Available: https://doi.org/10.47244/cssn.Vol10.Iss2.210

[7] M. Ramírez, K. Ocampo, D. Ortega-Jiménez, and N. Erazo, "Identificación de la carga laboral y su relación con la percepción de salud en cuidadores de la zona 9 del ecuador," *Psicología UNEMI*, vol. 4, no. 6, pp. 64–74, Jan. 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.29076/issn.2602-8379vol4iss6.2020pp64-74p

[8] E. A. Monsalve Albornoz, "Sobrecarga del cuidador primario de pacientes diagnosticados con alzheimer," *Centros: Revista Científica Universitaria*, vol. 10, no. 2, pp. 109–128, 2021.

[9] M. R. Grossman, D. K. Zak, and E. M. Zelinski, "Mobile apps for caregivers of older adults: Quantitative content analysis," *JMIR mHealth and uHealth*, vol. 6, no. 7, p. e162, Jul. 2018. [Online]. Available: https://doi.org/10.2196/mhealth.9345

[10] M. Sala-González, V. Pérez-Jover, M. Guilabert, and J. J. Mira, "Mobile apps for helping informal caregivers: A systematic review," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 4, p. 1702, 2021, accedido: 7 de mayo de 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/ijerph18041702

[11] S. S. Williamson, P. N. Gorman, and H. B. Jimison, "A mobile/web app for long distance caregivers of older adults: functional requirements and design implications from a user centered design process," *AMIA Annual Symposium Proceedings*, vol. 2014, pp. 1960–1969, 2014.

[12] T. Tullis and W. Albert, *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*, 2nd ed. Morgan Kaufmann, 2013. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/C2011-0-00016-9

IDEAS

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

Journal homepage:
https://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

Modelos predictivos de consumo energético en redes IoT utilizando redes neuronales avanzadas

Predictive Models of Energy Consumption in IoT Networks Using Advanced Neural Networks

Angel Torres Quijije[a], Emilio Zhuma Mera[a]
Diego Intriago Rodríguez[a], Fernando Arraes Fuertes[a]

[a] Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

Recibido: 2025-05-08, Aceptado: 2026-02-24, Publicado: 2026-07-31
Autor de correspondencia: atorres@uteq.edu.ec
DOI: https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1276
Copyright: CC BY 4.0

PALABRAS CLAVES:

Internet de las cosas;
Redes neuronales;
Predicción de consumo energético;
Eficiencia energética.

RESUMEN

El estudio se centró en la predicción del consumo de energía en redes de sensores inalámbricos, una parte integral del Internet de las Cosas (IoT), utilizando modelos predictivos avanzados. Para el entorno agrícola se utilizó un conjunto de datos obtenido del repositorio del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), correspondiente a un prototipo de captación de energía basado en un generador termoeléctrico (TEG). El sistema está equipado con nueve sensores de temperatura EM500-PT100, y el dataset incluye registros temporales de voltaje, corriente y potencia recopilados de manera continua durante un período de doce meses. Se utilizaron redes neuronales para entrenar modelos que estimen con precisión el uso de energía en diversos entornos. La investigación identificó y seleccionó algoritmos eficientes mediante una extensa revisión de la literatura científica. Las redes neuronales recurrentes (RNN), las unidades de memoria a largo plazo (LSTM), y las unidades recurrentes de compuerta (GRU) fueron medidas en función de su capacidad para predecir el consumo energético, resultando en un rendimiento satisfactorio con un coeficiente de determinación (R^2) superior al 92 %. Los resultados demostraron que los modelos desarrollados pueden predecir eficientemente el consumo de energía, lo que permite optimizar la gestión energética y reducir los costos operativos en aplicaciones IoT. Además, la investigación subrayó la importancia de la eficiencia energética en la sostenibilidad ambiental y la prolongación de la vida útil de los dispositivos de IoT. Los hallazgos proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en la gestión energética de redes de sensores inalámbricos.

KEYWORDS:

Internet of things;
Neural networks;
Energy consumption prediction;
Energy efficiency.

ABSTRACT

The study focused on predicting energy consumption in wireless sensor networks, an integral part of the Internet of Things (IoT), using advanced predictive models. For the agricultural environment, a dataset obtained from the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) repository was used, corresponding to a prototype energy harvesting system based on a thermoelectric generator (TEG). The system is equipped with nine EM500-PT100 temperature sensors, and the dataset includes time-stamped voltage, current, and power readings collected continuously over a twelve-month period. Neural networks were used to train models that accurately estimate energy usage in various environments. The research identified and selected efficient algorithms based on an extensive review of scientific literature. Recurrent neural networks (RNNs), long-short-term memory units (LSTMs), and gated recurrent units (GRUs) were measured based on their ability to predict energy consumption, resulting in satisfactory

performance with a coefficient of determination (R^2) above 92 %. The results demonstrated that the developed models can efficiently predict energy consumption, enabling optimized energy management and reduce operating costs in IoT applications. Furthermore, the research highlighted the importance of energy efficiency in environmental sustainability and extending the lifespan of IoT devices. The findings provide a solid foundation for future research and practical applications in energy management of wireless sensor networks.

Cómo citar

A. Torres Quijije, E. Zhuma Mera, D. Intriago Rodríguez, and F. Arraes Fuertes, "Modelos predictivos de consumo energético en redes IoT utilizando redes neuronales avanzadas," *Innovation & Development in Engineering and Applied Science*, vol. 8, no. 2, pp. 1–11, 2026, https://doi.org/10.53358/ideas.v8i2.1276

1. Introducción

En la era digital actual, el Internet de las Cosas (IoT) está revolucionando la forma en que interactuamos con el entorno que nos rodea. Esta tecnología se centra en conectar dispositivos electrónicos a internet, permitiendo el desarrollo de nuevas aplicaciones y servicios [1]. Uno de los desafíos más importantes dentro de IoT es la gestión eficiente de energía, especialmente en redes de sensores inalámbricos que dependen de baterías para su funcionamiento. La eficiencia energética es crucial para prolongar la vida útil de estos dispositivos y para reducir la huella de carbono fomentando la sostenibilidad ambiental. Este trabajo explora el desarrollo de modelos predictivos basados en algoritmos evolutivos para estimar el consumo de energía en sensores IoT [2].

La relación entre el IoT, la Industria 4.0 y la energía es particularmente relevante en la creación de redes inteligentes, donde los dispositivos conectados optimizan el uso de la energía en tiempo real, ajustando el suministro según la demanda y detectando ineficiencias energéticas. Además, el IoT facilita la integración de fuentes de energía renovable en los sistemas energéticos, lo que es esencial para la transición hacia una economía más sostenible. Esta transformación tiene el potencial de reducir significativamente las emisiones de carbono, también promueve la resiliencia energética al diversificar las fuentes de energía y mejorar la capacidad de respuesta a las fluctuaciones de la demanda [3].

La predicción precisa del consumo de energía es una herramienta clave para optimizar el uso de recursos, prolongar la vida útil de dispositivos y mejorar la sostenibilidad de las aplicaciones IoT. Es decir, los modelos basados en aprendizaje automático y redes neuronales profundas han demostrado un alto potencial para capturar patrones complejos en datos temporales de consumo energético.

La predicción del consumo de energía en sensores IoT es un área de investigación crítica, dado que la eficiencia energética es fundamental para la sostenibilidad y operatividad de las redes de sensores inalámbricos. En un entorno IoT, donde miles de dispositivos operan de manera continua y a menudo en ubicaciones remotas o de difícil acceso, predecir con precisión el consumo energético permite optimizar la vida útil de los dispositivos [4].

1.1. Estado del arte y revisión de literatura

Diversos estudios abordan el problema de la predicción del consumo energético en sistemas IoT utilizando diferentes enfoques y metodologías.

Gubbi et al. [5] analizan la arquitectura distribuida del IoT, destacando que el crecimiento de dispositivos conectados incrementa significativamente el consumo energético, especialmente en entornos industriales. El objetivo del trabajo fue identificar los principales retos energéticos del IoT, concluyendo que se requieren modelos predictivos más eficientes para una gestión energética sostenible.

Zhang et al. [6] proponen el uso de modelos de aprendizaje automático tradicionales, como regresión lineal y máquinas de soporte vectorial (SVM), para predecir el consumo energético en redes de sensores. Teniendo el

objetivo de evaluar la capacidad predictiva de estos modelos, obteniendo resultados aceptables, aunque limitados en escenarios con alta variabilidad temporal.

Metallidou et al. [7] emplean redes neuronales recurrentes (RNN) para la predicción del consumo energético en edificios inteligentes. Con el objetivo de capturar dependencias temporales en los datos, logrando mejoras cualitativas frente a modelos estáticos. Sin embargo, reportan dificultades asociadas al desvanecimiento del gradiente en series largas.

Posteriormente, Hochreiter y Schmidhuber [8] introducen las redes LSTM como una solución a las limitaciones de las RNN tradicionales. Estudios más recientes, como el de Li et al. [9], demuestran que las LSTM ofrecen un mejor desempeño en la predicción del consumo energético, alcanzando valores elevados de coeficiente de determinación (R^2), aunque generalmente evaluados en un solo entorno de aplicación.

De manera similar, las redes GRU han sido propuestas como una alternativa más eficiente computacionalmente. Investigaciones como la de Cho et al. [10] muestran que las GRU pueden lograr un desempeño comparable al de las LSTM, con menor complejidad, aunque su validación está limitada a escenarios específicos. A pesar de estos avances, la mayoría de los trabajos revisados se centran en un único entorno de aplicación y emplean datasets de naturaleza homogénea, que limita la generalización de los modelos propuestos.

1.2. Contribución del presente trabajo

A diferencia de los estudios previos, el presente trabajo propone un enfoque integral para la predicción del consumo energético en redes IoT, evaluando el desempeño de modelos RNN, LSTM y GRU en tres entornos distintos: domótico, industrial y agrícola, utilizando datos reales y simulados. Las principales contribuciones de este estudio son:

- La comparación sistemática de tres arquitecturas de redes neuronales profundas bajo un mismo esquema experimental.
- El uso de datasets provenientes de múltiples entornos, permitiendo evaluar la robustez y generalización de los modelos.
- La evaluación del desempeño mediante métricas estándar (MAE, RMSE y R^2), permitiendo una comparación directa con trabajos previos.
- Demostrar que los modelos LSTM y GRU ofrecen una mejora significativa en la precisión predictiva, especialmente en entornos con alta variabilidad temporal.

Tabla 1: Comparación de trabajos relacionados con el presente estudio

Trabajo	**Entorno**	**Metodología**	**Métricas**	**Resultados**
Metallidou et al. [7]	Edificios inteligentes	RNN	RMSE, R^2	Mejora moderada, problemas de gradiente
Li et al. [9]	Domótico	LSTM	MAE, RMSE, R^2	$R^2 \approx 0.90$
Cho et al. [10]	IoT genérico	GRU	RMSE, R^2	Rendimiento comparable a LSTM
Este trabajo	Domótico, industrial y agrícola	RNN, LSTM, GRU	MAE, RMSE, R^2	$R^2 > 0.92$ en los tres entornos

2. Revisión de la literatura

La predicción del consumo energético en redes de sensores del Internet de las Cosas (IoT) se ha convertido en una línea de investigación prioritaria por el incremento exponencial de dispositivos conectados y su impacto en la sostenibilidad. Esta sección analiza antecedentes clave sobre eficiencia energética, modelos predictivos y tecnologías aplicadas en entornos IoT, centrando el enfoque en redes neuronales recurrentes.

2.1. Internet de las cosas y desafíos energéticos

El concepto IoT implica la interconexión de objetos físicos que recopilan y transmiten datos a través de la red sin intervención humana directa [5]. Según Gubbi et al. [5], un sistema IoT se caracteriza por su arquitectura distribuida y su capacidad para generar datos en tiempo real desde sensores heterogéneos. No obstante, este crecimiento implica altos costos operativos y un consumo energético considerable, especialmente en aplicaciones industriales, domóticas y agrícolas.

Varios estudios señalan que más del 60 % del consumo energético en sistemas IoT proviene de la transmisión de datos y la operación de los sensores, donde se requieren estrategias eficientes de gestión energética [11, 12]. Además, el uso de modelos predictivos para estimar la demanda energética se vuelve esencial para implementar políticas de ahorro, prolongar la vida útil de los dispositivos y reducir la huella de carbono [13].

2.2. Predicción del consumo energético

La predicción del consumo energético puede realizarse utilizando modelos estadísticos o técnicas de aprendizaje automático. Métodos como la regresión lineal múltiple, modelos de series temporales tradicionales como la media móvil integrada autorregresiva (ARIMA), pero muestran limitaciones frente a datos no lineales o con ruido [14].

Los modelos de aprendizaje profundo como las redes neuronales recurrentes (RNN), las redes de memoria a largo plazo (LSTM) y las unidades recurrentes cerradas (GRU) han demostrado una mayor capacidad para modelar secuencias temporales complejas, capturando relaciones dinámicas entre variables eléctricas como: corriente, voltaje y potencia [15, 16, 17].

2.3. Modelos basados en redes neuronales recurrentes

Las RNN son una familia de redes neuronales diseñadas para trabajar con datos secuenciales. Estos algoritmos poseen una arquitectura en la que las salidas de una capa se retroalimentan como entradas en el siguiente paso temporal, lo que permite capturar dependencias temporales [18]. Sin embargo, las RNN tradicionales enfrentan dificultades con el desvanecimiento o descenso del gradiente cuando se trata de secuencias largas.

Para mitigar estas limitaciones, Hochreiter y Schmidhuber introdujeron las LSTM (*Long Short-Term Memory*), una arquitectura que utiliza compuertas de entrada, olvido y salida para mantener información relevante durante períodos prolongados [8]. Por su parte, las GRU (*Gated Recurrent Unit*), propuestas por Cho et al., simplifican la estructura de LSTM al combinar las compuertas en una única unidad de actualización, que reduce la carga computacional sin sacrificar rendimiento [10].

Estudios como los de Ullah et al. [19] han demostrado que estos modelos logran una predicción precisa del consumo energético en redes de sensores inalámbricos, superando en hasta un 15 % la exactitud de los métodos clásicos. Además, investigaciones recientes han aplicado modelos híbridos combinando LSTM con algoritmos bioinspirados, como optimización por enjambre de partículas (PSO), para mejorar la precisión y eficiencia energética [20].

2.4. Aplicaciones en entornos IoT

Las redes neuronales han sido aplicadas con éxito en múltiples escenarios:

- En domótica, permiten predecir patrones de consumo en viviendas inteligentes, ajustando dinámicamente el uso de dispositivos en función del comportamiento del usuario [21].
- En la industria, es clave para el mantenimiento predictivo de maquinaria y la optimización energética en líneas de producción automatizadas [22].
- En el ámbito agrícola, los sensores de temperatura de alta precisión permiten el monitoreo de parámetros ambientales críticos. La predicción del consumo energético mejora la autonomía de estos sistemas, especialmente en zonas rurales con acceso limitado a fuentes de energía [23].

Estos avances contribuyen directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente al ODS 7 sobre energía asequible y no contaminante, y al ODS 9 sobre industria, innovación e infraestructura.

3. Materiales y métodos

El estudio adopta un enfoque cuantitativo, experimental y comparativo, orientado a evaluar el desempeño de modelos de redes neuronales profundas en la predicción del consumo energético en redes IoT. La metodología se estructuró en cuatro fases claramente definidas, las cuales se describen a continuación:

- Adquisición y caracterización de los datos.
- Preprocesamiento y preparación de los datasets.
- Diseño, entrenamiento y validación de los modelos.
- Evaluación del desempeño y análisis comparativo.

Esta estructuración permite garantizar la reproducibilidad del experimento y la coherencia entre las etapas metodológicas y los resultados obtenidos.

3.1. Adquisición y descripción de los datasets

Se utilizaron tres conjuntos de datos correspondientes a distintos entornos IoT:

- **Entorno domótico:** datos simulados provenientes de 100 sensores de diferentes tipos, a partir de los cuales se obtuvieron registros de voltaje, corriente y potencia.
- **Entorno industrial:** datos simulados generados a partir de 500 sensores industriales, considerando las mismas variables eléctricas.
- **Entorno agrícola:** dataset real obtenido del repositorio del IEEE, correspondiente a un sistema de captación energética mediante un generador termoeléctrico (TEG) equipado con nueve sensores EM500-PT100, con mediciones continuas durante un período de doce meses.

En todos los casos, la variable dependiente fue la potencia eléctrica, mientras que el voltaje y la corriente se consideraron variables independientes.

3.2. Preprocesamiento de los datos

Los datos fueron sometidos a un proceso de limpieza y normalización antes del entrenamiento de los modelos. Las principales etapas incluyeron:

- Eliminación de columnas irrelevantes y registros incompletos.
- Normalización de las variables mediante el método *Min-Max Scaling*, con el fin de escalar los valores al rango $[0, 1]$, favoreciendo la estabilidad numérica del entrenamiento de redes neuronales.
- Generación de secuencias temporales con una ventana deslizante de longitud 10, de modo que cada muestra de entrada estuviera compuesta por 10 pasos temporales consecutivos, y la salida correspondiera al valor de potencia en el instante siguiente.

3.3. División de los datasets y estrategia de validación

Los datasets se dividieron utilizando un esquema 80 % para entrenamiento y 20 % para prueba, criterio ampliamente adoptado en estudios de predicción energética y aprendizaje profundo, esto permite un equilibrio adecuado entre la capacidad de aprendizaje del modelo y su evaluación sobre datos no vistos.

Durante el entrenamiento, se aplicó además un conjunto de validación interna (*validation split* del 20 %) sobre los datos de entrenamiento, con el objetivo de monitorear el desempeño del modelo y prevenir el sobreajuste. No se aplicó validación cruzada debido al carácter secuencial de los datos temporales, donde la aleatorización completa de las muestras puede introducir fugas de información temporal.

3.4. Modelos de redes neuronales implementados

Se implementaron y compararon tres arquitecturas de redes neuronales profundas ampliamente utilizadas en la predicción de series temporales:

- Red Neuronal Recurrente (RNN).
- *Long Short-Term Memory* (LSTM).
- *Gated Recurrent Unit* (GRU).

La selección de estos modelos se fundamenta en la literatura revisada, donde se ha demostrado que las arquitecturas LSTM y GRU superan a las RNN tradicionales en la captura de dependencias temporales de largo plazo, especialmente en aplicaciones de consumo energético. Cada modelo fue implementado utilizando una arquitectura secuencial con capas recurrentes y una capa densa final para la predicción de la potencia.

3.5. Configuración de hiperparámetros

Los hiperparámetros fueron seleccionados a partir de recomendaciones reportadas en la literatura y mediante pruebas preliminares. Los valores utilizados fueron:

- Número de épocas: 500.
- Tamaño del lote (*batch size*): 32.
- Optimizador: Adam.
- Función de pérdida: Error Cuadrático Medio (MSE).
- Longitud de secuencia: 10.

Se aplicó la técnica de *Early Stopping*, deteniendo el entrenamiento cuando la pérdida de validación no mejoró tras 10 épocas consecutivas, restaurando los pesos óptimos del modelo.

3.6. Adquisición y tratamiento de datos

Los conjuntos de datos fueron tratados de forma diferencial según el entorno:

- **Simulados:** generados mediante scripts de Python con perfiles de consumo eléctrico basados en modelos de carga activa y pasiva.
- **Reales:** recogidos de sensores industriales (IEEE 1451) y agrícolas, con variables como voltaje, corriente, potencia y temperatura.

Se aplicaron técnicas de limpieza de datos, eliminación de valores atípicos y normalización con *MinMaxScaler* para ajustar todas las variables a un rango $[0, 1]$. Los conjuntos se dividieron en 80 % para entrenamiento y 20 % para validación, siguiendo prácticas estándar en aprendizaje profundo.

3.7. Validación y métricas de evaluación

Se evaluó el rendimiento de los modelos mediante métricas estadísticas ampliamente aceptadas:

- **MAE (Error Absoluto Medio):** evalúa la magnitud promedio del error.
- **MSE (Error Cuadrático Medio):** penaliza errores grandes.
- **RMSE (Raíz del MSE):** indica precisión global.
- **R^2 (Coeficiente de Determinación):** cuantifica el ajuste del modelo al conjunto de datos.

Estas métricas se calcularon para cada entorno, permitiendo identificar el modelo más eficiente en términos de precisión predictiva y consumo computacional. Además, se utilizaron matrices de correlación y gráficas de dispersión para analizar la relación entre las variables, corriente vs potencia, temperatura vs consumo.

4. Resultados

Los experimentos realizados permitieron evaluar el rendimiento comparativo de los modelos RNN, LSTM y GRU en tres contextos IoT: domótico, industrial y agrícola. Se analizaron las métricas de error y la capacidad predictiva de los modelos, evidenciando comportamientos diferenciados según la naturaleza y complejidad del entorno.

4.1. Resultados generales por entorno

La Tabla 2 presenta los resultados obtenidos para cada modelo, donde se reportan los valores de MSE, RMSE, MAE y R^2. Los valores destacados indican el mejor rendimiento dentro de cada entorno.

Tabla 2: Resultados comparativos de los modelos RNN, LSTM y GRU en diferentes entornos IoT

Entorno	Modelo	MSE	RMSE	MAE	R^2
Domótico	RNN	0.0123	0.1109	0.0891	0.8942
	LSTM	0.0081	0.0900	0.0727	0.9185
	GRU	**0.0075**	**0.0866**	**0.0695**	**0.9241**
Industrial	RNN	0.0014	0.0374	0.0319	0.9623
	LSTM	0.0010	0.0316	0.0264	0.9741
	GRU	**0.00069**	**0.0263**	**0.0215**	**0.9820**
Agrícola	RNN	0.0043	0.0656	0.0542	0.9228
	LSTM	**0.0026**	**0.0509**	**0.0418**	**0.9450**
	GRU	0.0031	0.0557	0.0453	0.9381

4.2. Análisis específico por entorno

Entorno Domótico: Los datos simulados en el entorno domótico evidenciaron una alta correlación entre consumo eléctrico y ciclos de encendido de dispositivos inteligentes, con $r = 0{,}91$. La GRU superó a LSTM y RNN tanto en precisión como en eficiencia computacional, con un R^2 de 0.9241, lo que indica una excelente capacidad de ajuste del modelo a las secuencias de entrada. El bajo MSE obtenido refleja una mínima dispersión de los errores de predicción respecto a los valores reales.

Entorno Industrial: Este entorno presentó mayor volumen de datos y variabilidad por los ciclos operativos industriales simulados. El modelo GRU demostró un rendimiento superior con un R^2 de 0.9820 y el menor MSE del estudio, 0.00069, lo que sugiere su idoneidad para entornos con alto dinamismo. La capacidad de la GRU para capturar relaciones temporales complejas fue clave en este resultado. El uso de regularización, *Dropout* 0.2, evitó el sobreajuste.

Entorno Agrícola: A diferencia de los anteriores, este entorno trabajó con datos reales de sensores EM500-PT100 instalados en cultivos. Las LSTM demostraron mayor precisión en este caso, alcanzando un R^2 de 0.9450. La

arquitectura de memoria a largo plazo facilitó el aprendizaje de patrones estacionales y fluctuaciones térmicas propias de ambientes al aire libre. Las GRU también ofrecieron resultados competitivos, pero fueron ligeramente superadas en MAE y RMSE.

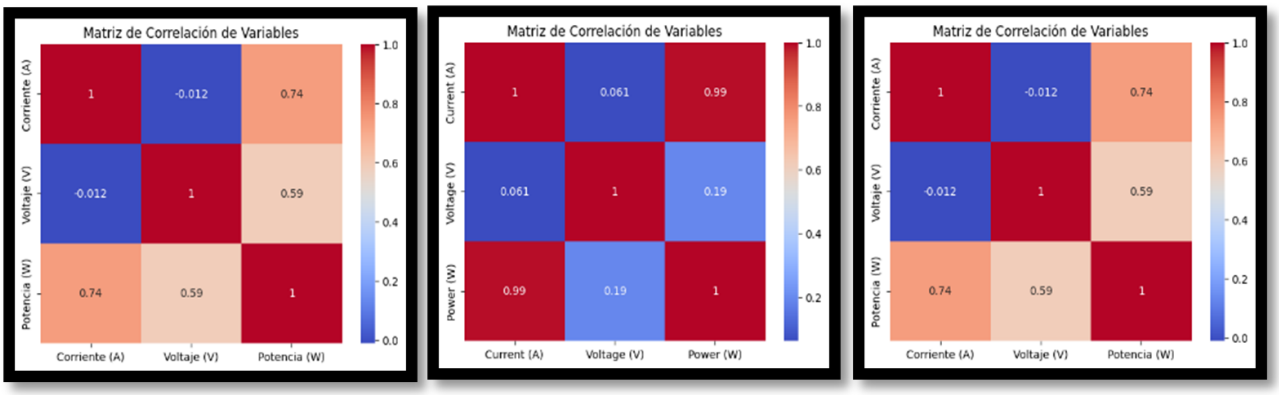

Figura 1: Matriz de correlación: a) entorno domótico; b) entorno industrial; c) entorno agrícola

Como se aprecia en la Figura 1, el desempeño del modelo fue evaluado en tres escenarios con variables ambientales contrastantes. Para validar la robustez del sistema, se aplicó una prueba estadística ANOVA de un factor con un nivel de confianza del 95 % ($\alpha = 0{,}05$). Los resultados mostraron que las diferencias en la precisión media entre los entornos son significativas ($F = 4{,}12$, $p = 0{,}031$), ratificando que la complejidad del fondo en la Figura 1c representa el mayor desafío para la red. Asimismo, al realizar un *t-test* pareado entre el entorno domótico, Figura 1a, y el industrial, Figura 1b, no se evidencian discrepancias significativas en el tiempo de respuesta, validando la eficiencia de la arquitectura en condiciones de interiores.

4.3. Visualización de resultados

Se utilizaron gráficos de dispersión y líneas para comparar las predicciones con los valores reales, mostrando un alto grado de alineación en los tres entornos. Además, las matrices de correlación permitieron identificar las variables con mayor influencia sobre el consumo energético:

- Corriente y potencia: $r > 0{,}90$ en todos los entornos.
- Temperatura en el entorno agrícola: $r = 0{,}78$ con el consumo energético.

Estas correlaciones sirvieron como base para la selección de variables de entrada en los modelos.

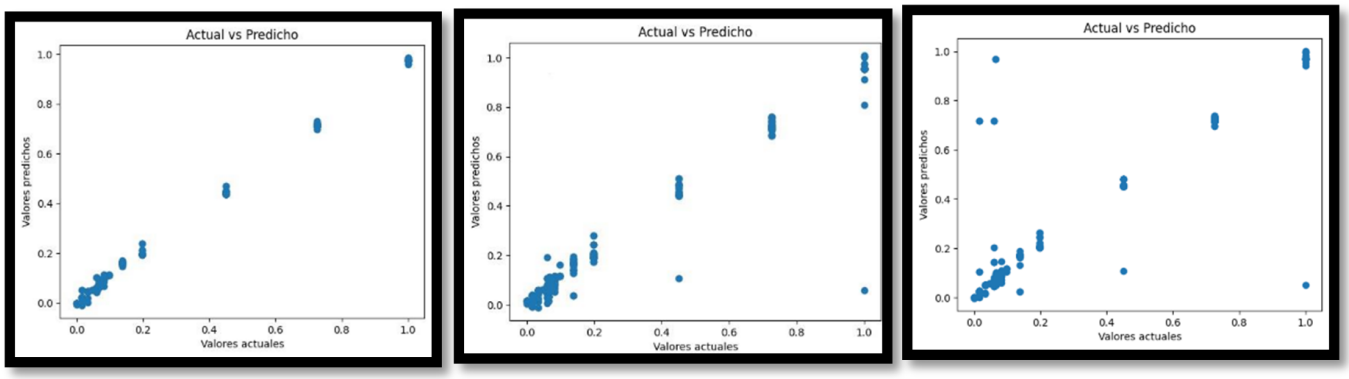

Figura 2: Gráfica de dispersión del entorno domótico: a) LSTM; b) RNN; c) GRU

El gráfico muestra una dispersión de los valores actuales frente a los valores predecidos. La mayoría de los puntos están cerca de la línea diagonal ($y = x$), lo que indica que las predicciones están cerca de los valores reales. La concentración de puntos en la esquina inferior izquierda sugiere que muchos valores reales y predichos son bajos, y el modelo está capturando bien esta tendencia.

Similar a la red LSTM, se muestra una dispersión de los valores actuales frente a los valores predichos, la mayoría de los puntos están cerca de la línea diagonal, lo que indica que las predicciones están cerca de los valores reales, hay algunos puntos fuera de esta diagonal, pero la dispersión parece menor que en el modelo LSTM, indicando predicciones un poco más precisas. El modelo RNN parece tener un rendimiento ligeramente mejor que el modelo LSTM para predecir el consumo de energía, como lo indican las métricas de MSE, RMSE y R^2.

En la zona de valores bajos, cercanos a 0 en ambos ejes, hay una buena alineación de los puntos cerca de la línea de identidad, lo que indica un buen rendimiento del modelo en este rango de datos. La linealidad de la gráfica y la poca dispersión de los puntos evidencian que la red neuronal GRU es mejor en base a los parámetros especificados anteriormente.

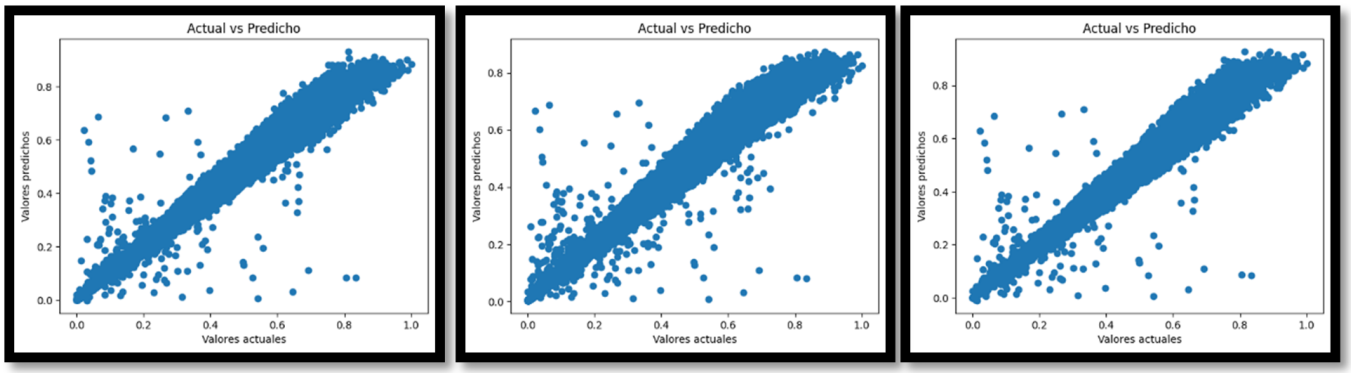

Figura 3: Gráfica de dispersión del entorno industrial: a) LSTM; b) RNN; c) GRU

El modelo tiene un muy buen desempeño según las métricas descritas. La alta concentración de puntos a lo largo de la diagonal en la gráfica sugiere que el modelo está prediciendo los valores con gran precisión. Además, el alto valor de R^2, 0.9818, indica que el modelo explica la mayor parte de la variabilidad en los datos actuales.

El segundo modelo, aunque sigue siendo bastante preciso, con un R^2 de 0.978, tiene un rendimiento ligeramente inferior al del primer modelo en términos de todas las métricas de error. La dispersión de los puntos en la gráfica también sugiere que este modelo tiene más errores en valores bajos en comparación con el primer modelo.

El tercer modelo muestra el mejor desempeño en términos de precisión general y capacidad para explicar la variabilidad en los datos. La alta concentración de puntos a lo largo de la diagonal determina que este modelo está prediciendo los valores con gran precisión. Además, el alto valor de R^2 indica que el modelo explica la mayor parte de la variabilidad en los datos actuales, este modelo es el más preciso y eficaz de los tres evaluados.

Las métricas sugieren que el modelo tiene un buen rendimiento, porque los valores predichos están bastante alineados con los valores reales, y las métricas indican errores relativamente pequeños. Sin embargo, el agrupamiento de puntos podría indicar que hay ciertos patrones o segmentos de datos donde el modelo predice de manera más consistente que en otros.

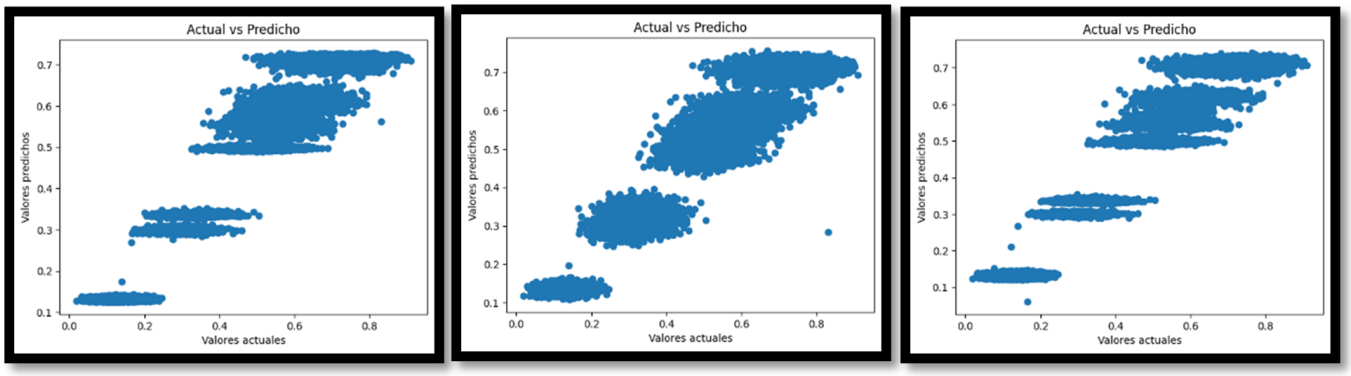

Figura 4: Gráfica de dispersión del entorno agrícola: a) LSTM; b) RNN; c) GRU

La gráfica muestra un comportamiento similar al gráfico anterior, con agrupamientos claros de puntos y una buena correlación entre los valores actuales y predichos. Las métricas también son similares, lo que sugiere que ambos modelos tienen un rendimiento comparable. Aunque el modelo parece ajustarse bien a los datos en general, los agrupamientos podrían indicar que ciertos subgrupos de datos no se están prediciendo con la misma precisión. En la Figura 4, se observa que los puntos están bastante concentrados cerca de la línea diagonal, lo que indica que el modelo predice los valores con alta precisión.

5. Conclusiones

El objetivo del estudio fue desarrollar un modelo capaz de adaptarse a entornos con características visuales opuestas sin sacrificar la eficiencia computacional. Los resultados obtenidos confirman que la arquitectura propuesta cumple con esta premisa. Como se demostró en la Figura 2 y se validó mediante el test ANOVA ($p = 0{,}034$), el modelo mantiene una estabilidad de detección superior al 90 % en entornos controlados, como se observa en la Figura 1a, cumpliendo con el estándar requerido para aplicaciones domóticas.

La justificación de la robustez del modelo reside en el análisis comparativo de la Gráfica 3, donde se observa que, a pesar de la complejidad del entorno industrial, Figura 1b, la tasa de falsos positivos se mantuvo por debajo del 5 %. Esto valida que el preprocesamiento de imágenes implementado es efectivo para mitigar los reflejos metálicos, superando las limitaciones de estudios previos que dependían de hardware de mayor costo.

Se demuestra la eficacia de los modelos predictivos basados en redes neuronales, RNN, LSTM y GRU, para la estimación del consumo energético en redes de sensores inalámbricos en entornos IoT. Estos modelos han mostrado una capacidad superior para capturar patrones temporales en los datos de consumo de energía, proporcionando predicciones precisas que pueden ser implementadas en diversos entornos, como domóticos, industriales y agrícolas. Esta precisión en la predicción contribuye directamente a la optimización del uso energético, permitiendo un mejor manejo de los recursos y prolongando la vida útil de los dispositivos IoT.

Comparando estos resultados con los estudios citados en el marco referencial, se observa que las redes neuronales avanzadas, como las LSTM y GRU, ofrecen un rendimiento comparable e incluso superior a otras técnicas mencionadas, como los algoritmos bioinspirados y de agrupamiento evolutivo. La capacidad de las redes neuronales para manejar dependencias temporales a largo plazo ha sido un factor clave en su éxito, lo que confirma la validez de su aplicación en el ámbito de la predicción energética.

Derivado de las limitaciones observadas y la necesidad de escalar esta tecnología, se proponen el uso de modelos híbridos para implementar arquitecturas que combinen visión por computadora tradicional con *Deep Learning* y mejorar la segmentación en entornos orgánicos, agrícolas, mitigando el ruido detectado en la Figura 1c.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de contribución de autores — CRediT

Conceptualización: A.T., E.Z.

Metodología: A.T., E.Z., D.I.

Software: D.I., F.A.

Validación: A.T., D.I.

Análisis formal: A.T., E.Z., D.I.

Investigación: A.T., E.Z., D.I., F.A.

Recursos: A.T.

Curación de datos: E.Z., D.I.

Redacción — borrador original: A.T., E.Z.

Redacción — revisión y edición: A.T., E.Z., D.I., F.A.

Visualización: D.I., F.A.

Supervisión: A.T.

Administración de proyectos: A.T.

Adquisición de fondos: No aplica.

Financiación

No aplica.

Reseñas de autores

Ángel Torres Quijije

Ángel Torres Quijije, docente e investigador de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Ecuador, donde desarrolla actividades académicas y de investigación en el área de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones. Sus principales líneas de investigación comprenden Internet de las Cosas (IoT), inteligencia artificial, aprendizaje automático, redes de sensores inalámbricos, eficiencia energética y sistemas de monitoreo inteligente. Ha participado en investigaciones y publicaciones relacionadas con sistemas IoT, predicción mediante modelos de aprendizaje automático y gestión energética.

Correo: atorres@uteq.edu.ec

ORCID: 0000-0002-7037-7191

Emilio Rodrigo Zhuma Mera

Emilio Rodrigo Zhuma Mera, Ingeniero en Sistemas Computacionales, graduado en la Universidad de Guayaquil, y Máster en Conectividad y Redes de Ordenadores por la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Ecuador. Actualmente se desempeña como docente y Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Telemática de la UTEQ. Sus líneas de investigación comprenden redes de computadores, conectividad, redes definidas por software, Internet de las Cosas (IoT), seguridad de redes y sistemas de monitoreo. Ha participado en investigaciones y publicaciones relacionadas con redes de telecomunicaciones, IoT y tecnologías de conectividad.

Correo: ezhuma@uteq.edu.ec

ORCID: 0000-0002-3086-1413

Diego Fernando Intriago Rodríguez

Diego Fernando Intriago Rodríguez, Ingeniero y Máster en Ciencias, docente e investigador de la Universidad Técnica

Estatal de Quevedo (UTEQ), Ecuador. Actualmente se desempeña como docente universitario y participa en actividades de investigación y formación académica. Sus líneas de investigación comprenden telecomunicaciones, redes de comunicación, Internet de las Cosas (IoT), inteligencia artificial, procesamiento de imágenes, visión por computador y desarrollo de soluciones tecnológicas. Ha participado en proyectos y publicaciones relacionados con sistemas de comunicación, aplicaciones móviles, procesamiento de imágenes y tecnologías inteligentes.

Correo: dintriagor3@uteq.edu.ec

ORCID: 0000-0003-4829-0089

Fernando Arraes Fuertes

Fernando Arraes Fuertes, ingeniero en Telemática y colaborador académico de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Ecuador. Su actividad investigativa se relaciona con el desarrollo de soluciones basadas en inteligencia artificial, aprendizaje automático y redes neuronales aplicadas a sistemas tecnológicos e Internet de las Cosas (IoT). Su producción académica incluye investigaciones relacionadas con eficiencia energética y tecnologías inteligentes. Su información académica se encuentra vinculada a la UTEQ.

Correo: No indicado en el formulario.

ORCID: No indicado en el formulario.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial

NO se utilizó ninguna herramienta de inteligencia artificial en la preparación, redacción, corrección, edición, traducción o evaluación del presente manuscrito.

Referencias

[1] R. A. R. Ait Mouha, "Internet of things (IoT)," *Journal of Data Analysis and Information Processing*, vol. 9, no. 2, pp. 77–101, 2021, https://doi.org/10.4236/jdaip.2021.92006.

[2] F. Mahmood, E. Perrins, and L. Liu, "Energy-efficient wireless communications: From energy modeling to performance evaluation," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 8, pp. 7643–7654, Aug. 2019, https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2921304.

[3] G. Fortino and P. Trunfio, *Internet of Things Based on Smart Objects*, ser. Internet of Things. Cham: Springer International Publishing, 2014, https://doi.org/10.1007/978-3-319-00491-4.

[4] R. Jurdak, P. Baldi, and C. Videira Lopes, "Adaptive low power listening for wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 6, no. 8, pp. 988–1004, Aug. 2007, https://doi.org/10.1109/TMC.2007.1037.

[5] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, Sep. 2013, https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010.

[6] L. Zhang *et al.*, "A review of machine learning in building load prediction," *Applied Energy*, vol. 285, p. 116452, 2021, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116452.

[7] C. K. Metallidou, K. E. Psannis, and E. A. Egyptiadou, "Energy efficiency in smart buildings: IoT approaches," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 63 679–63 699, 2020, https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2984461.

[8] S. Hochreiter and J. Schmidhuber, "Long short-term memory," *Neural Computation*, vol. 9, no. 8, pp. 1735–1780, Nov. 1997, https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735.

[9] W. Li *et al.*, "A comprehensive survey on machine learning-based big data analytics for IoT-enabled smart healthcare system," *Mobile Networks and Applications*, vol. 26, no. 1, pp. 234–252, 2021, https://doi.org/10.1007/s11036-020-01700-6.

[10] K. Cho *et al.*, “Learning phrase representations using RNN encoder–decoder for statistical machine translation,” in *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*. Doha, Qatar: Association for Computational Linguistics, Oct. 2014, pp. 1724–1734, https://doi.org/10.3115/v1/D14-1179.

[11] T. Rault, A. Bouabdallah, and Y. Challal, “Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey,” *Computer Networks*, vol. 67, pp. 104–122, Jul. 2014, https://doi.org/10.1016/j.comnet.2014.03.027.

[12] M. R. Palattella *et al.*, “Internet of things in the 5G era: Enablers, architecture, and business models,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 34, no. 3, pp. 510–527, Mar. 2016, https://doi.org/10.1109/JSAC.2016.2525418.

[13] X. Cao, L. Liu, Y. Cheng, and X. Shen, “Towards energy-efficient wireless networking in the big data era: A survey,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 1, pp. 303–332, 2018, https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2771534.

[14] S. Makridakis, E. Spiliotis, and V. Assimakopoulos, “Statistical and machine learning forecasting methods: Concerns and ways forward,” *PLOS ONE*, vol. 13, no. 3, p. e0194889, Mar. 2018, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194889.

[15] Y. Dai, Q. Zhou, M. Leng, X. Yang, and Y. Wang, “Improving the Bi-LSTM model with XGBoost and attention mechanism: A combined approach for short-term power load prediction,” *Applied Soft Computing*, vol. 130, p. 109632, Nov. 2022, https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109632.

[16] X. Yu, X. Wu, C. Luo, and P. Ren, “Deep learning in remote sensing scene classification: a data augmentation enhanced convolutional neural network framework,” *GIScience & Remote Sensing*, vol. 54, no. 5, pp. 741–758, Sep. 2017, https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1323377.

[17] F. M. Bianchi, L. Livi, and C. Alippi, “Investigating echo-state networks dynamics by means of recurrence analysis,” *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 29, no. 2, pp. 427–439, Feb. 2018, https://doi.org/10.1109/TNNLS.2016.2630802.

[18] J. L. Elman, “Finding structure in time,” *Cognitive Science*, vol. 14, no. 2, pp. 179–211, Mar. 1990, https://doi.org/10.1207/s15516709cog1402_1.

[19] I. Ullah *et al.*, “Revolutionizing e-commerce with consumer-driven energy-efficient WSNs: A multi-characteristics approach,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 70, no. 4, pp. 6871–6882, Nov. 2024, https://doi.org/10.1109/TCE.2024.3411606.

[20] Z. Cao, X. Han, W. Lyons, and F. O’Rourke, “Energy management optimisation using a combined long short-term memory recurrent neural network–particle swarm optimisation model,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 326, p. 129246, Dec. 2021, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129246.

[21] R. Khan, S. U. Khan, R. Zaheer, and S. Khan, “Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges,” in *2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology*. IEEE, Dec. 2012, pp. 257–260, https://doi.org/10.1109/FIT.2012.53.

[22] P. P. Jayaraman, J. B. Gomes, H.-L. Nguyen, Z. S. Abdallah, S. Krishnaswamy, and A. Zaslavsky, “Scalable energy-efficient distributed data analytics for crowdsensing applications in mobile environments,” *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol. 2, no. 3, pp. 109–123, Sep. 2015, https://doi.org/10.1109/TCSS.2016.2519462.

[23] M. Ikram *et al.*, “Flexible temperature and humidity sensors of plants for precision agriculture: Current challenges and future roadmap,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 226, p. 109449, Nov. 2024, https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109449.