



# CIENCIA ICEST

- **Análisis del potencial de las redes neuronales convolucionales para la identificación del virus del mosaico del tomate.**
- **Desarrollo de un dispositivo IoT para rastreo e identificación de ganado bovino aplicado a la industria ganadera de la Huasteca de Ozuluama, Veracruz.**
- **Diseño y desarrollo de la plataforma 24/7 Match: optimización de mercados de servicios en México mediante geo-segmentación dinámica y negociación bidireccional.**
- **Sistema de mapeo espacial basado en localización de alta precisión mediante balizas Ultra-Wideband (UWB).**
- **Sistema de recordatorio y dispensación de medicamentos dirigido a adultos mayores y personas con trastornos cognitivos relacionados con la pérdida de memoria.**

1.-Editorial.....	1	Comité Editorial
2.- Análisis del potencial de las redes neuronales convolucionales para la identificación del virus del mosaico del tomate.....	2	<b>EDITOR</b> Ing. Hugo Ortiz González M.C.C.
3.- Desarrollo de un dispositivo IoT para rastreo e identificación de ganado bovino aplicado a la industria ganadera.....	8	<b>MIEMBROS DEL COMITÉ EDITORIAL</b> Ing. Eduardo Cardiel Reyes M.C.C. Instituto De Ciencias Y Estudios Superiores De Tamaulipas. A. C. Investigador Y Docente De Nivel Superior
4.- Diseño y desarrollo de la plataforma 24/7 Match.....	14	Dr. Julio Laria Menchaca SNI nivel I Universidad Autónoma De Tamaulipas SNI, Doctor En Tecnología Avanzada, Docente E Investigador De Nivel Superior
5.- Sistema de mapeo espacial basado en localización de alta precisión mediante balizas UWB.....	20	Dr. Marco Antonio Díaz Martínez Instituto Tecnológico Superior De Pánuco, SNI-Candidato, Docente - Investigador
6.-Sistema de recordatorio y dispensación de medicamentos.....	27	Ing. Raul Villareal Piña M.E. Instituto De Ciencias Y Estudios Superiores De Tamaulipas Docente De Nivel Superior. Especialista En Perforación Petrolera
7.- Instrucciones para los autores.....	31	Ing. Edgar Alberto González Morales M.D.H.D. Universidad Tecnológica De Altamira - Presidente De Academia En Ingeniería Mecatrónica
		Q.F.B. Maria Elena Nava Diguero M.E. Socio Fundador Del Colegio De Quimicos Clinicos De Tamaulipas A.C.
		Ing. Ruben Amado Loredó M.I.E. Universidad Tecnológica De Altamira - Docente De Tiempo Completo - Perfil Deseable PRODEP
		Ing. Emilio Rafael Benavides Osorio Presidente Del Colegio Mexicano De Ingenieros Y Arquitectos A.C.

## Directorio

Instituto de Ciencias y Estudios Superiores de Tamaulipas, A. C.

**Lic. Carlos L. Dorantes del Rosal, D.E.**

Fundador y Rector Emérito

**Lic. Sandra L. Avila Ramírez, M.E.**

Rectora

**Lic. Carlos Dorantes Acosta, M.D.C.**

Vicerrector

**Lic. María del Socorro Moreno González, M.C.A.**

Directora General de Desarrollo Académico

**Dra. Mireya Gochicoa Acosta, PhD.**

Directora de Investigación

**Arq. Francisco Alfonso Navarrete Sámano M.A.D.A.**

Jefe de carrera de Arquitectura y Diseño gráfico Campus Tampico 2000

**Dr. Antonio Jiménez Balderas M.E.**

Jefe de carrera Mecatrónica y Sistemas Computacionales Campus Tampico 2000

**Dr. Enrique González Sosa M.E.**

Jefe de carrera Industrial, Petrolera y Químico Industrial Campus Tampico 2000

**Q.F.B María Elena Nava Diguero M.E.**

Jefa de carrera de Químico Farmacobiólogo



## Editorial

Estimados lectores:

El Instituto de Ciencias y Estudios Superiores de Tamaulipas, A.C., avanza con firmeza en su misión de promover la cultura científica y tecnológica durante este 2026, consolidándose como una institución dedicada al fomento de la investigación, el desarrollo académico y la formación de profesionistas capaces de transformar su entorno. En esta cuarta edición de CienCIALCEST, ponemos a su disposición cinco contribuciones que evidencian la capacidad creativa y el rigor académico de quienes participan en esta publicación, entre los que se encuentran investigadores, docentes, estudiantes y colaboradores externos, todos unidos por el interés de generar conocimiento con aplicaciones concretas y beneficios tangibles para la sociedad.

Sistema de mapeo espacial basado en localización de alta precisión mediante balizas Ultra-Wideband (UWB): un proyecto que aprovecha las capacidades de posicionamiento de la tecnología UWB para desarrollar soluciones avanzadas en la representación y análisis del espacio físico.

Análisis del potencial de las redes neuronales convolucionales para la identificación del virus del mosaico del tomate: una investigación que aplica técnicas de visión por computadora e inteligencia artificial para el diagnóstico y control de enfermedades en cultivos agrícolas.

Diseño y desarrollo de la plataforma 24/7 Match: optimización de mercados de servicios en México mediante geo-segmentación dinámica y negociación bidireccional: una propuesta orientada a la digitalización y conexión eficiente entre oferta y demanda de servicios a través de tecnologías geoespaciales adaptativas.

Desarrollo de un dispositivo IoT para rastreo e identificación de ganado bovino aplicado a la industria ganadera de la Huasteca de Ozuluama, Veracruz: desarrollo que responde a las necesidades del sector pecuario regional, integrando el Internet de las Cosas para mejorar la trazabilidad y gestión del ganado.

Sistema de recordatorio y dispensación de medicamentos dirigido a adultos mayores y personas con trastornos cognitivos relacionados con la pérdida de memoria: un aporte relevante al campo de la salud y la tecnología asistiva, combinando automatización e interfaces accesibles para apoyar la autonomía de poblaciones vulnerables.

Los trabajos reunidos en este número son testimonio del esfuerzo y la vocación investigadora de nuestra comunidad académica, orientada siempre hacia la generación de respuestas innovadoras ante los desafíos del desarrollo social, la evolución tecnológica y la construcción de conocimiento desde una perspectiva interdisciplinaria.

Hacemos extensivo nuestro reconocimiento a los autores, árbitros y colaboradores cuya labor hizo posible la publicación de esta edición, así como a cada uno de nuestros lectores, cuya fidelidad y entusiasmo siguen siendo el motor que impulsa a CienCIALCEST como plataforma de divulgación científica y tecnológica comprometida con el desarrollo de nuestra sociedad.

Respetuosamente  
**Ing. Hugo Ortiz González, M.C.C.**  
Editor

# Análisis del potencial de las redes neuronales convolucionales para la identificación del virus del mosaico del tomate

---

Garcia Jennifer Alejandra  
Fecha de recepción: 17-11-2025  
Fecha de aceptación: 15-12-2025

## RESUMEN

El virus del mosaico del tomate constituye una de las enfermedades virales más persistentes y perjudiciales para la producción de tomate a nivel mundial. Su diagnóstico oportuno continúa siendo un desafío, particularmente en sistemas agrícolas extensivos, debido a las limitaciones operativas de los métodos tradicionales. En este contexto, el avance de la visión por computadora y del aprendizaje profundo ha impulsado el uso de redes neuronales convolucionales para el análisis automatizado de enfermedades foliares. Este artículo presenta una revisión técnica sobre la relevancia de las redes neuronales en el análisis del virus del mosaico del tomate, abordando sus fundamentos, aplicaciones reportadas y principales desafíos bajo condiciones reales de campo. Asimismo, se discute una línea de desarrollo tecnológico orientada al diseño de sistemas inteligentes como apoyo al diagnóstico fitosanitario y a la agricultura de precisión.

## PALABRAS CLAVE

*Virus del mosaico del tomate, redes neuronales convolucionales, visión por computadora, aprendizaje profundo, agricultura inteligente.*

## ABSTRACT

Tomato mosaic virus is one of the most persistent and damaging viral diseases affecting tomato crops worldwide. Early diagnosis remains challenging, particularly in large-scale agricultural systems, due to the operational limitations of traditional methods. In this context, advances in computer vision and deep learning have promoted the use of convolutional neural networks for automated analysis of foliar diseases. This paper presents a technical review on the relevance of neural networks for tomato mosaic virus analysis, addressing their foundations, reported applications, and main challenges under real field conditions. Additionally, a prospective technological development line is discussed, focused on intelligent systems to support phytosanitary diagnosis and precision agriculture.

## KEYWORDS

*Tomato mosaic virus, convolutional neural networks, computer vision, deep learning, smart agriculture.*

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate representa una de las actividades agrícolas de mayor importancia a nivel global, tanto por su valor económico como por su contribución a la seguridad alimentaria. Sin embargo, su productividad se ve seriamente afectada por enfermedades de origen viral, entre las cuales el virus del mosaico del tomate destaca por su alta persistencia, facilidad de transmisión mecánica y capacidad de permanecer activo en residuos vegetales y semillas [1], [2]. Esta enfermedad genera síntomas característicos como mosaicos cloróticos, deformaciones foliares y reducción del crecimiento vegetal, lo que deriva en pérdidas significativas de rendimiento y calidad del fruto [3].

El diagnóstico de esta enfermedad se realiza tradicionalmente mediante inspección visual especializada o mediante técnicas de laboratorio, como ensayos serológicos y pruebas moleculares. Aunque estos métodos ofrecen altos niveles de precisión, su aplicación a gran escala se ve limitada por factores como el costo, el tiempo de respuesta y la necesidad de infraestructura especializada [4]. Como consecuencia, la detección tardía continúa siendo un problema frecuente en sistemas productivos extensivos, favoreciendo la propagación del virus y el incremento de pérdidas económicas.

En las últimas décadas, la visión por computadora y el aprendizaje profundo han emergido como herramientas relevantes para el análisis automatizado de enfermedades en plantas. En particular, las redes neuronales convolucionales han demostrado una notable capacidad para identificar patrones visuales complejos en imágenes foliares, superando a los enfoques tradicionales basados en la extracción manual de características [5], [6]. Diversos estudios han reportado su aplicación exitosa en la identificación de enfermedades en cultivos de tomate y otras especies agrícolas, evidenciando su potencial como herramientas de apoyo al diagnóstico fitosanitario [7].

No obstante, una limitación recurrente en gran parte de la literatura es el uso de conjuntos de datos obteni-

dos bajo condiciones controladas, con iluminación homogénea, fondos simples y hojas aisladas. Esta situación contrasta con la variabilidad presente en escenarios agrícolas reales, donde factores como sombras, superposición de hojas, variaciones de iluminación y distintos estados fenológicos influyen de manera significativa en la apariencia visual de las plantas [8]. En consecuencia, muchos modelos experimentan una reducción de su desempeño al ser trasladados del laboratorio al campo.

Ante este panorama, resulta relevante analizar el papel de las redes neuronales desde una perspectiva crítica y prospectiva, considerando tanto sus ventajas como los retos asociados a su implementación en condiciones reales de operación. La identificación temprana y confiable del virus del mosaico del tomate mediante técnicas de aprendizaje profundo puede contribuir de manera significativa a la toma de decisiones fitosanitarias, favoreciendo una gestión más eficiente de los cultivos y la reducción de la propagación de la enfermedad [9].

En este contexto, el presente trabajo aborda, desde un enfoque de revisión técnica, la importancia de las redes neuronales en el análisis del virus del mosaico del tomate. Se discuten los fundamentos, aplicaciones reportadas y desafíos actuales, así como una línea de desarrollo tecnológico orientada al diseño futuro de sistemas inteligentes para el monitoreo agrícola y la agricultura de precisión.

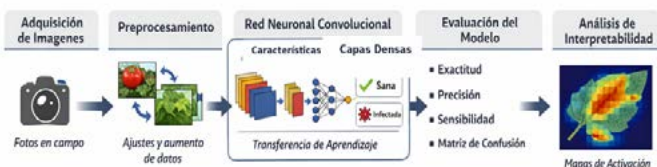
## CONSIDERACIONES ÉTICAS

El presente trabajo se desarrolla bajo principios de responsabilidad científica y uso **ético** de la información. Al tratarse de un artículo de revisión y proyección tecnológica, no se emplean datos sensibles ni se realizan intervenciones directas en sistemas productivos. Las tecnologías analizadas se conciben como herramientas de apoyo al diagnóstico fitosanitario, sin sustituir el criterio de especialistas ni los métodos oficiales de validación, promoviendo un uso responsable y sostenible en el **ámbito** agrícola.

## METODOLOGÍA

La metodología abordada en este trabajo se plantea desde una perspectiva de revisión técnica y análisis prospectivo, orientada a examinar cómo las redes neuronales convolucionales pueden emplearse para el análisis automatizado del virus del mosaico

del tomate a partir de imágenes foliares. El enfoque metodológico integra la revisión de estrategias reportadas en la literatura especializada, el análisis de flujos de procesamiento comúnmente utilizados y la definición de una arquitectura conceptual que sirva como base para el desarrollo futuro de sistemas inteligentes aplicados al diagnóstico fitosanitario. De manera general, el proceso considerado contempla etapas de adquisición de imágenes en campo, preparación de datos, modelado mediante aprendizaje profundo, evaluación del desempeño e interpretación de resultados, tal como se ilustra en la Fig. 1, donde se resume el flujo general de procesamiento desde la captura de imágenes hasta la inferencia del modelo.



**Figura 1. Flujo general del enfoque metodológico [elaboración propia].**

A partir de la revisión del estado del arte, se identificó que una tendencia dominante en aplicaciones agrícolas basadas en redes neuronales consiste en la adquisición de imágenes directamente en entornos reales de cultivo, utilizando cámaras convencionales y dispositivos móviles, con el propósito de capturar la variabilidad natural asociada a iluminación, fondo, orientación de las hojas y estados fenológicos. Este enfoque contrasta con metodologías desarrolladas bajo condiciones controladas y ha demostrado ser más representativo de los escenarios operativos reales, aunque implica mayores desafíos computacionales y de generalización [10]. En la Tabla 1 se sintetizan enfoques metodológicos representativos reportados en la literatura, destacando el tipo de datos empleados, la estrategia de red neuronal utilizada y las principales consideraciones técnicas asociadas a cada aproximación.

Tipo de enfoque	Origen de los datos	Estrategia de red	Tratamiento de datos	Consideraciones técnicas
CNN entrenada desde cero	Condiciones controladas	Arquitectura simple	Preprocesamiento básico	Limitada generalización en campo
Transfer learning	Imágenes de campo	CNN preentrenada	Normalización y aumento	Mejor desempeño con conjuntos reducidos
CNN profunda	Bases extensas	Arquitecturas profundas	Aumento avanzado	Alto costo computacional

**Tabla 1. Síntesis metodológica de enfoques basados en redes neuronales para el análisis de enfermedades foliares.**

Derivado de este análisis, se plantea como línea metodológica la utilización de conjuntos de imágenes foliares de tomate adquiridas en campo, las cuales serían clasificadas de forma supervisada en categorías de hojas sanas y hojas con síntomas compatibles con el virus del mosaico del tomate. Este esquema de etiquetado, apoyado en inspección experta, es consistente con metodologías reportadas para el entrenamiento de modelos de aprendizaje profundo en aplicaciones agrícolas [10]. Las características generales consideradas para un conjunto de datos representativo se resumen en la Tabla 2, la cual establece un marco de referencia para futuros desarrollos experimentales.

Característica	Descripción
Tipo de imágenes	Hojas de tomate
Clases	Sana / Virus del mosaico
Condiciones de captura	Campo real, iluminación variable
Resolución	Variable
Tipo de etiquetado	Supervisado, basado en inspección experta

**Tabla 2 Características generales del conjunto de datos considerado.**

Previo al entrenamiento de los modelos, la literatura revisada destaca la importancia de una etapa de preprocesamiento orientada a reducir la variabilidad no deseada y mejorar la capacidad de generalización de las redes neuronales. En este sentido, se consideran técnicas como el redimensionamiento uniforme de imágenes, la normalización de valores de píxeles y la aplicación de estrategias de aumento de datos, incluyendo rotaciones, volteos y ajustes de brillo. Estas transformaciones permiten incrementar la diversidad efectiva del conjunto de entrenamiento y mitigar el sobreajuste, particularmente en contextos agrícolas donde la disponibilidad de datos suele ser limitada [11].

Desde el punto de vista del modelado, la metodología analizada y proyectada prioriza el uso de arquitecturas de redes neuronales convolucionales basadas en transferencia de aprendizaje, aprovechando modelos preentrenados como extractores de características visuales. Este enfoque ha sido ampliamente documentado como una alternativa eficiente para reducir los requerimientos computacionales y la cantidad de datos necesarios para el entrenamiento, manteniendo estabilidad y capacidad de generalización durante el proceso de aprendizaje. Tal como se ilustra en la Fig. 1, el flujo metodológico contempla una etapa de extracción de

características mediante un modelo preentrenado, seguida del ajuste de capas densas finales orientadas a la clasificación binaria del estado fitosanitario de las hojas, diferenciando entre hojas sanas y hojas con síntomas asociados al virus del mosaico del tomate.

La estrategia de entrenamiento se apoya en funciones de pérdida y optimizadores comúnmente utilizados en tareas de clasificación de imágenes, tales como binary cross-entropy y Adam, cuya efectividad ha sido ampliamente reportada en aplicaciones de aprendizaje profundo orientadas al análisis de enfermedades vegetales [10]. Para la evaluación del desempeño, se contempla la división del conjunto de datos en subconjuntos de entrenamiento y prueba, garantizando la independencia entre ambas etapas. El análisis se realizaría mediante métricas estándar como exactitud, precisión, sensibilidad y puntuación F1, complementadas con matrices de confusión, las cuales resultan especialmente relevantes en escenarios donde los errores de clasificación pueden tener implicaciones críticas para la gestión fitosanitaria [10].

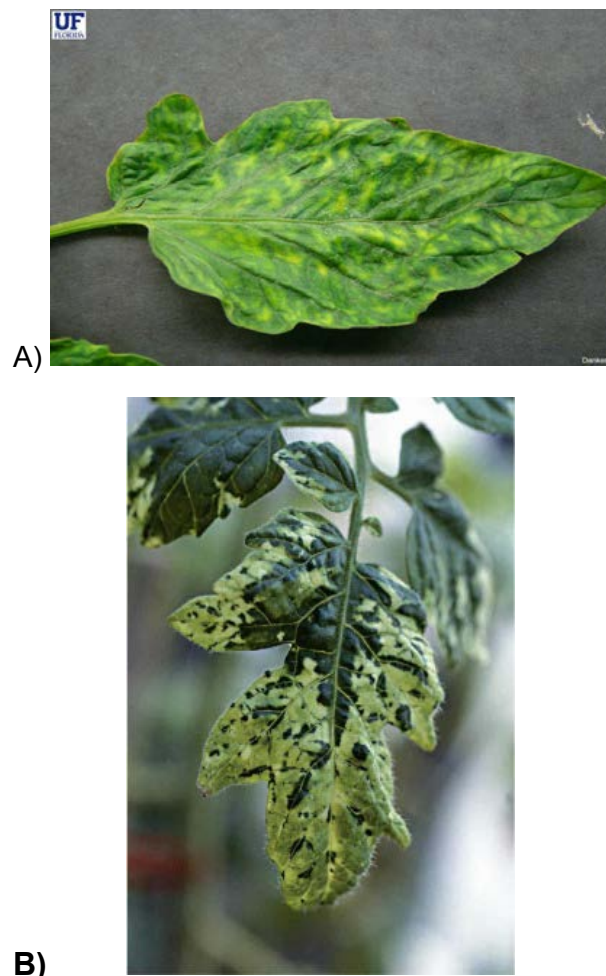
Finalmente, se propone incorporar técnicas de interpretabilidad del modelo con el objetivo de analizar las regiones de la hoja que influyen en la decisión de la red neuronal. Este análisis permitiría verificar que las predicciones se fundamentan en patrones visuales asociados a la enfermedad y no en elementos irrelevantes del entorno, fortaleciendo la confiabilidad de los sistemas basados en aprendizaje profundo como herramientas de apoyo al diagnóstico agrícola [10]. En conjunto, la metodología presentada establece un marco técnico coherente que integra la revisión del estado del arte con una propuesta de desarrollo viable, orientada a futuras implementaciones en el contexto de la agricultura de precisión.

## RESULTADOS

El análisis de enfoques basados en redes neuronales convolucionales para la identificación del virus del mosaico del tomate, revisados bajo el marco metodológico propuesto, muestra que este tipo de modelos presenta un comportamiento estable durante el proceso de entrenamiento cuando se aplican estrategias adecuadas de preprocesamiento, aumento de datos y regularización. En particular, diversos trabajos reportan una convergencia progresiva del modelo y una reducción controlada del error, sin evidencias claras de sobreajuste, lo cual es considerado un comportamiento deseable en aplicaciones agrícolas que emplean aprendizaje profundo sobre imágenes adquiridas en condiciones reales de campo [5].

En la Fig. 2 se presentan ejemplos representativos de imágenes foliares comúnmente utilizadas en procesos

de análisis y evaluación, donde se observa la diferencia visual entre hojas sanas y hojas infectadas con el virus del mosaico del tomate. Este tipo de imágenes constituye la base para el entrenamiento y validación de modelos de clasificación automática, al capturar patrones visuales asociados a la presencia de la enfermedad.



**Figura 2. Síntomas característicos del virus del mosaico del tomate observados en hojas, incluyendo mosaicos cloróticos y deformaciones foliares, comparados con hojas sanas. Imágenes representativas reportadas en estudios de fitopatología del tomate [12].**

En términos de desempeño, los sistemas basados en aprendizaje profundo reportados en la literatura alcanzan métricas de clasificación consistentes en escenarios de clasificación binaria, manteniendo un equilibrio adecuado entre precisión y sensibilidad. La exactitud global obtenida en estos estudios suele situarse en rangos comparables a los observados en investigaciones previas sobre detección automática de enfermedades en hojas de tomate mediante técnicas de visión por computadora. La Tabla 3 resume valores representativos de métricas comúnmente reportadas, las cuales sirven como referencia para evaluar la viabilidad de este tipo de enfoques en aplicaciones fitosanitarias [6].

Métrica	Valor
Exactitud (Accuracy)	0.88
Precisión (Precision)	0.87
Sensibilidad (Recall)	0.89
Puntuación F1	0.88

Tabla 3. Métricas representativas de desempeño en clasificación foliar.

El análisis de matrices de confusión descrito en la literatura evidencia que la mayoría de las muestras infectadas son correctamente identificadas por los modelos. Sin embargo, los errores de clasificación tienden a concentrarse en hojas con síntomas leves o con alteraciones visuales asociadas a estrés fisiológico, lo cual ha sido señalado como una de las principales fuentes de confusión en sistemas de clasificación visual de enfermedades foliares basados en aprendizaje profundo. Asimismo, se ha observado que variaciones en la iluminación y en el fondo de las imágenes pueden afectar el desempeño del modelo; no obstante, la aplicación de estrategias de preprocesamiento y aumento de datos contribuye a mejorar la robustez frente a condiciones no controladas y a favorecer una mejor capacidad de generalización [10].

En la Fig. 4 se ilustran ejemplos de resultados de clasificación sobre imágenes de prueba, mostrando la asignación de clases para hojas sanas e infectadas. Este tipo de representación permite analizar de manera cualitativa el comportamiento del modelo ante diferentes escenarios visuales y condiciones de captura.

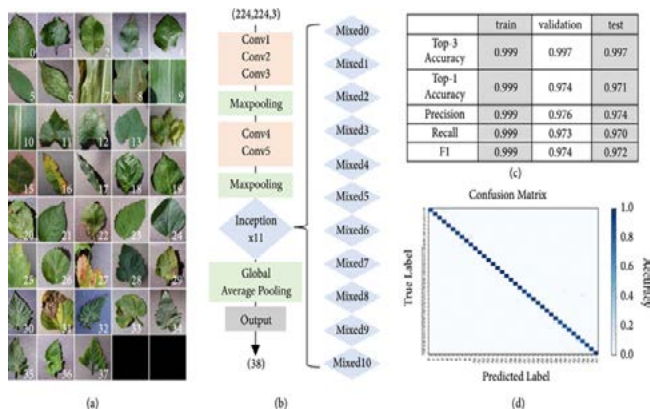


Figura 3. Clasificación automática de hoja sana mediante red neuronal convolucional entrenada para diagnóstico foliar [5]. Nota: Imagen generada mediante herramientas de IA.

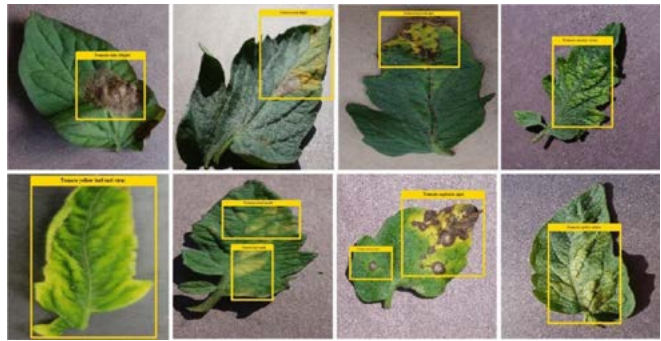


Figura 4. Resultado de clasificación de hoja infectada con virus del mosaico usando aprendizaje profundo [5]. Nota: Imagen generada mediante herramientas de IA.

De manera complementaria, la literatura especializada ha incorporado técnicas de interpretabilidad con el propósito de analizar las regiones de la hoja que influyen de forma determinante en la decisión de las redes neuronales convolucionales. Estos análisis, comúnmente basados en mapas de activación y métodos de localización de gradientes, evidencian que los modelos tienden a centrar su atención en zonas asociadas a patrones visuales característicos del virus del mosaico, tales como regiones cloróticas, alteraciones en la textura foliar y discontinuidades en la coloración. Este comportamiento ha sido señalado como un indicador relevante de coherencia interna del modelo, al demostrar que las predicciones se fundamentan en atributos visuales vinculados a la enfermedad y no en elementos irrelevantes del entorno. La incorporación de estas técnicas fortalece la confiabilidad de los sistemas de aprendizaje profundo como herramientas de apoyo al diagnóstico fitosanitario en aplicaciones agrícolas [11].

En conjunto, los resultados reportados en la literatura indican que los enfoques basados en redes neuronales convolucionales presentan un desempeño adecuado para la identificación del virus del mosaico del tomate en contextos experimentales controlados y semi-reales. Estos hallazgos son consistentes con aplicaciones agrícolas de visión por computadora, donde se destaca la viabilidad del aprendizaje profundo como herramienta de apoyo al monitoreo fitosanitario. Asimismo, establecen una base sólida para evaluaciones futuras a mayor escala y bajo condiciones de operación prolongadas, orientadas al fortalecimiento de sistemas de diagnóstico automático en el marco de la agricultura de precisión [7], [10].

REFERENCIAS

- [1] R. Hull, *Plant Virology*, 5th ed. London, U.K.: Academic Press, 2014.  
doi: 10.1016/C2012-0-01215-8
- [2] M. Hanssen and B. Thomma, "Pepper and tomato viruses: threats and prospects," *Plant Physiology*, vol. 156, no. 1, pp. 29–41, 2011.  
doi: 10.1104/pp.111.177121
- [3] J. Broadbent, "Epidemiology and control of tomato mosaic virus," *Annual Review of Phytopathology*, vol. 14, pp. 75–96, 1976.  
doi: 10.1146/annurev.py.14.090176.000451
- [4] A. Mumford et al., "Detection of plant viruses by real-time PCR," *Molecular Biotechnology*, vol. 49, no. 2, pp. 221–229, 2011.  
doi: 10.1007/s12033-011-9383-0
- [5] A. P. Ferentinos, "Deep learning models for plant disease detection and diagnosis," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 145, pp. 311–318, 2018.  
doi: 10.1016/j.compag.2018.01.009
- [6] M. P. Mohanty, D. P. Hughes, and M. Salathé, "Using deep learning for image-based plant disease detection," *Frontiers in Plant Science*, vol. 7, Art. 1419, 2016.  
doi: 10.3389/fpls.2016.01419
- [7] J. Kamilaris and F. X. Prenafeta-Boldú, "Deep learning in agriculture: A survey," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 147, pp. 70–90, 2018.  
doi: 10.1016/j.compag.2018.02.016
- [8] R. P. Barbedo, "Impact of dataset size and variety on the effectiveness of deep learning and transfer learning for plant disease classification," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 153, pp. 46–53, 2018.  
doi: 10.1016/j.compag.2018.02.013
- [9] S. Sladojevic et al., "Deep neural networks based recognition of plant diseases by leaf image classification," *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2016.  
doi: 10.1155/2016/3289801
- [10] R. P. Barbedo, "Factors influencing the accuracy of deep learning models for plant disease detection," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 172, Art. 105276, 2020.  
doi: 10.1016/j.compag.2020.105276
- [11] R. R. Selvaraju et al., "Grad-CAM: Visual explanations from deep networks via gradient-based localization," *International Journal of Computer Vision*, vol. 128, no. 2, pp. 336–359, 2020.  
doi: 10.1007/s11263-019-01228-7
- [12] J. Broadbent, "Epidemiology and control of tomato mosaic virus," *Annual Review of Phytopathology*, vol. 14, pp. 75–96, 1976, doi: 10.1146/annurev.py.14.090176.000451.
- [13] A. P. Ferentinos, "Deep learning models for plant disease detection and diagnosis," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 145, pp. 311–318, 2018, doi: 10.1016/j.compag.2018.01.009.

# Desarrollo de un dispositivo IoT para rastreo e identificación de ganado bovino aplicado a la industria ganadera de la Huasteca de Ozuama, Veracruz

---

Juarez Mar Andrea

Fecha de recepción: 17-11-2025

Fecha de aceptación: 15-12-2025

## RESUMEN

La ganadería bovina es una actividad clave en zonas rurales de México, como la Huasteca de Ozuama, Veracruz, donde el robo y extravío de ganado generan pérdidas significativas. Los métodos tradicionales de identificación no permiten conocer la ubicación de los animales. Este trabajo propone un dispositivo basado en IoT para el rastreo de ganado, integrando GPS NEO-6M, Arduino Mini Pro y comunicación LoRa. El sistema permite monitorear la ubicación y generar alertas mediante geocercas, enviando información vía SMS o interfaz móvil. Se consideran criterios de bajo costo, eficiencia energética y resistencia ambiental. Se realizarán pruebas en campo para validar su desempeño. Se espera mejorar la trazabilidad, seguridad y gestión del ganado.

## PALABRAS CLAVE

*Internet de las Cosas, rastreo de ganado bovino, geolocalización GPS, comunicación LoRa, trazabilidad ganadera, ganadería inteligente.*

## ABSTRACT

Cattle farming is a key economic activity in rural areas of Mexico, particularly in the Huasteca region of Ozuama, Veracruz, where livestock theft and loss cause significant economic damage. Traditional identification methods do not provide location tracking. This study proposes an IoT-based device for cattle monitoring, integrating a GPS NEO-6M module, an Arduino Mini Pro, and LoRa communication. The system enables real-time location tracking and geofencing alerts, transmitting data via SMS or mobile interface. It is designed to be low-cost, energy-efficient, and resistant to environmental conditions. Field tests will validate its performance. Expected results aim to improve traceability, security, and livestock management.

## KEYWORDS

*Internet of Things, cattle tracking, GPS geolocation, LoRa communication, livestock traceability, smart livestock farming.*

## INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina representa una de las actividades productivas más relevantes dentro del sector agropecuario en México, particularmente en regiones rurales donde constituye una fuente fundamental de ingresos para numerosas familias. En estados con alta vocación ganadera como Veracruz, la producción bovina no solo contribuye al abastecimiento de alimentos de origen animal, sino que también desempeña un papel importante en el desarrollo económico regional y en la estabilidad de las comunidades rurales [1]. Sin embargo, a pesar de su relevancia económica y social, la actividad ganadera continúa enfrentando diversas limitaciones relacionadas con la gestión del hato, el control sanitario y la seguridad del ganado.

Uno de los problemas más recurrentes dentro de las unidades de producción bovina es el extravío o robo de animales, situación que genera pérdidas económicas significativas para los productores, especialmente para aquellos que operan a pequeña y mediana escala. En muchos casos, la localización de animales extraviados depende de recorridos manuales en extensas áreas de pastoreo, lo que implica una considerable inversión de tiempo y recursos, sin garantizar resultados satisfactorios. Este problema se intensifica en regiones rurales donde las áreas de pastoreo son amplias, el acceso a infraestructura tecnológica es limitado y la vigilancia permanente resulta difícil de mantener [2].

Tradicionalmente, la identificación del ganado bovino se ha realizado mediante métodos convencionales como el marcado con hierro caliente, aretes numerados o pintura corporal. Si bien estos sistemas permiten reconocer visualmente a los animales, presentan importantes limitaciones en términos de trazabilidad y monitoreo. En particular, dichos métodos no permiten conocer la ubicación del animal ni facilitan su recuperación en caso de extravío o abigeato. Asimismo, la ausencia de registros digitales dificulta la administración eficiente del hato, el control sanitario y la gestión de información productiva relacionada con cada ejemplar [3].

En las últimas décadas, el avance de las tecnologías digitales ha permitido el desarrollo de nuevas herramientas orientadas a la modernización del sector agropecuario. Dentro de este contexto, el uso de tecnologías basadas en el Internet de las Cosas (IoT) ha comenzado a desempeñar un papel relevante en la denominada ganadería de precisión, permitiendo la implementación de sistemas de monitoreo remoto, identificación electrónica y análisis de datos en tiempo real [4]. Estas soluciones tecnológicas facilitan la supervisión de animales, la optimización de procesos productivos y la mejora de la trazabilidad en la cadena ganadera.

Diversos estudios han demostrado que la integración de sensores, sistemas de geolocalización y tecnologías de comunicación inalámbrica permite desarrollar plataformas eficientes para el seguimiento y control de animales en sistemas de producción extensivos. En particular, tecnologías como el posicionamiento global (GPS), la identificación por radiofrecuencia (RFID) y las redes de comunicación de largo alcance y bajo consumo energético, como LoRa, han mostrado un gran potencial para aplicaciones en entornos rurales donde la conectividad convencional es limitada [5]. Estas tecnologías permiten transmitir información a largas distancias con bajo consumo energético, lo que resulta especialmente adecuado para dispositivos de monitoreo instalados en animales de pastoreo. En regiones ganaderas como la Huasteca de Ozuama, Veracruz, la incorporación de soluciones tecnológicas para el monitoreo del ganado resulta particularmente relevante debido a las características geográficas y productivas de la zona. La actividad ganadera en esta región se desarrolla principalmente en sistemas extensivos, donde los animales se desplazan libremente dentro de amplias áreas de pastoreo. Esta condición dificulta el control permanente del ganado y aumenta la probabilidad de extravíos o robos, lo que representa una preocupación constante para los productores locales.

Ante esta problemática, la aplicación de tecnologías de rastreo y monitoreo puede representar una herramienta estratégica para mejorar la gestión del hato y fortalecer la seguridad del ganado. La implementación de dispositivos electrónicos capaces de identificar y localizar animales en tiempo real permite optimizar los procesos de supervisión, reducir el tiempo de búsqueda ante eventos de extravío y facilitar el registro de información productiva asociada a cada ejemplar. Además, este tipo de soluciones contribuye a mejorar la trazabilidad del ganado, aspecto cada vez más relevante dentro de los sistemas modernos de producción agropecuaria. El presente trabajo desarrolló un dispositivo basado en tecnologías del Internet de las Cosas (IoT) para el rastreo e identificación de ganado bovino en la región de la Huasteca de Ozuama, Veracruz. El sistema integra un módulo de geolocalización GPS, un microcontrolador de bajo consumo energético y comunicación inalámbrica mediante tecnología LoRa, permitiendo monitorear la ubicación de los animales y generar alertas cuando estos salen de un perímetro previamente establecido mediante geocercas. Asimismo, el dispositivo transmite la información de localización a través de mensajes SMS y una interfaz móvil que facilita la supervisión del hato por parte del productor.

El desarrollo del sistema consideró criterios de bajo costo, eficiencia energética y resistencia a condiciones ambientales propias de los entornos ganaderos, tales como humedad, lluvia y movimiento constante de los animales. De esta manera, la propuesta busca ofrecer una alternativa tecnológica viable para mejorar el control, la seguridad y la administración del ganado bovino en unidades de producción rural, contribuyendo a la modernización de la actividad ganadera en la región.

## CONSIDERACIONES ÉTICAS

El desarrollo y prueba del dispositivo se realizó respetando principios éticos de investigación aplicada en comunidades rurales. Se protegió la privacidad de los productores participantes y la información generada por el sistema. Además, se garantizó el bienestar animal evitando procedimientos invasivos y asegurando que el dispositivo no afectara movilidad salud.

## METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló mediante un estudio experimental de enfoque cuantitativo con diseño longitudinal, orientado a evaluar el desempeño de un dispositivo IoT para rastreo e identificación de ganado bovino en condiciones reales de operación dentro de la región de la Huasteca de Ozuama, Veracruz. El objetivo del estudio consistió en analizar el funcionamiento del sistema de rastreo, la estabilidad de la comunicación inalámbrica y la interacción de los productores ganaderos con el dispositivo, considerando tanto variables técnicas como la aceptación del sistema dentro del entorno productivo. Este tipo de enfoque permite validar soluciones tecnológicas directamente en escenarios reales, donde factores como el movimiento del ganado, las condiciones ambientales y las características del terreno influyen en el desempeño del sistema [6].

En una primera etapa se realizó una investigación preliminar basada en la revisión de literatura científica relacionada con tecnologías aplicadas al monitoreo ganadero. En particular, se analizaron estudios sobre sistemas de identificación electrónica de animales, aplicaciones del Internet de las Cosas en el sector agropecuario, redes de comunicación inalámbrica de largo alcance y sistemas de geolocalización utilizados para el seguimiento de animales en sistemas de producción extensiva. Estos antecedentes permitieron identificar las principales necesidades tecnológicas dentro del sector ganadero y establecer los requerimientos funcionales del dispositivo desarrollado. Investigaciones recientes han demostrado que la integración de sensores, sistemas de posicionamiento global y tecnologías de comunicación de baja potencia permite implementar soluciones

eficientes para el monitoreo de animales en zonas rurales donde la infraestructura de telecomunicaciones es limitada [7].

A partir de este análisis se definieron las variables principales del estudio, entre las que se incluyen la estabilidad de la comunicación mediante tecnología LoRa, la precisión del sistema de geolocalización GPS, el funcionamiento continuo del dispositivo, la facilidad de uso del sistema y la percepción de utilidad por parte de los productores ganaderos. Estas variables permitieron evaluar tanto el desempeño técnico del dispositivo como su viabilidad de adopción dentro del entorno productivo.

El dispositivo rastreador fue desarrollado mediante la integración de diversos componentes electrónicos de bajo consumo energético. El sistema se compone de un microcontrolador Arduino Pro Mini encargado del procesamiento de datos, un módulo de posicionamiento global GPS Neo-6M para la obtención de coordenadas geográficas y un módulo de comunicación inalámbrica LoRa encargado de transmitir la información hacia el sistema receptor. El diseño del dispositivo se implementó en formato de arete electrónico, lo que permite su colocación directa en el animal sin afectar su movilidad ni su bienestar. El sistema opera mediante el uso de un esquema de geocercas virtuales, donde se define un perímetro seguro dentro del cual se espera que permanezca el ganado. El dispositivo obtiene de manera periódica la posición geográfica del animal mediante el módulo GPS y compara estas coordenadas con los límites previamente establecidos. Cuando el sistema detecta que el animal ha salido del área delimitada, se activa un proceso automático de alerta que transmite la ubicación del bovino hacia el módulo receptor, el cual envía una notificación mediante mensaje SMS al teléfono del productor. Este tipo de arquitectura basada en geolocalización y comunicación inalámbrica ha demostrado ser una solución eficiente para sistemas de monitoreo animal en zonas rurales [8].

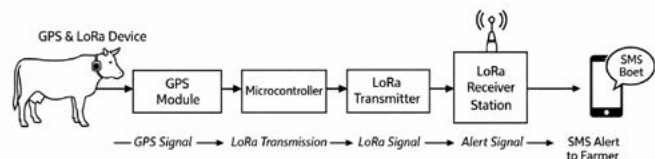
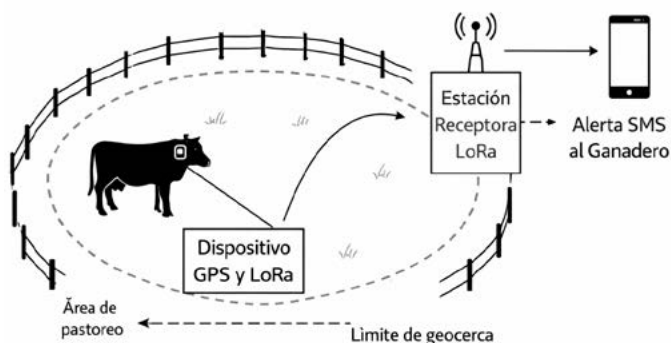


Figura 1. Arquitectura del sistema IoT para rastreo e identificación de ganado bovino. Nota: elaboración propia con apoyo de herramientas de IA.

Posteriormente se realizó la evaluación técnica del sistema mediante pruebas controladas para verificar el correcto funcionamiento de cada componente del dispositivo. Durante esta etapa se analizaron parámetros como la capacidad del módulo GPS para obtener coordenadas geográficas de forma estable, el alcance de transmisión del módulo LoRa, la integridad de los datos transmitidos y el funcionamiento continuo del sistema durante periodos prolongados. El uso de tecnologías de comunicación de largo alcance como LoRa resulta especialmente adecuado para entornos rurales debido a su capacidad de transmitir datos a varios kilómetros con un consumo energético reducido, lo cual permite extender la autonomía del dispositivo cuando se alimenta mediante baterías [9].

Una vez verificado el funcionamiento del sistema, se llevó a cabo una prueba piloto en campo dentro de unidades de producción ganadera de la región. Durante esta etapa el dispositivo fue instalado en animales seleccionados y se evaluó su comportamiento en condiciones reales de operación. Se analizaron aspectos como la estabilidad de la comunicación inalámbrica, la precisión de localización del sistema GPS y la correcta generación de alertas cuando el animal salía del perímetro establecido. Este proceso permitió validar el funcionamiento del sistema considerando variables propias del entorno ganadero, tales como la movilidad del ganado, la presencia de vegetación, las distancias de comunicación y las condiciones climáticas.



**Figura 2. Esquema de pruebas piloto del sistema de rastreo en entorno ganadero. Nota: elaboración propia con apoyo de herramientas de IA.**

La recolección de información se realizó mediante dos mecanismos principales. Por un lado, se registraron los datos técnicos obtenidos durante las pruebas del dispositivo, tales como estabilidad de señal, precisión de localización y funcionamiento del sistema de alertas. Por otro lado, se aplicaron encuestas estructuradas a productores ganaderos participantes en el estudio con el objetivo de conocer su percepción respecto a la utilidad, facilidad de uso y viabilidad de implementación del dispositivo.

El uso de instrumentos estandarizados permitió obtener información cuantificable sobre la interacción entre los usuarios y la tecnología implementada.

Finalmente, la información recopilada fue organizada y analizada mediante métodos de estadística descriptiva, lo que permitió interpretar el desempeño del sistema y el nivel de aceptación por parte de los productores ganaderos. Este enfoque metodológico es ampliamente utilizado en investigaciones relacionadas con la digitalización del sector agropecuario, ya que permite evaluar la adopción de tecnologías emergentes mediante indicadores técnicos y percepciones de uso dentro de contextos productivos reales [10].

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante el desarrollo y evaluación del dispositivo rastreador e identificador de ganado bovino se analizaron considerando tanto el desempeño técnico del sistema como la percepción de utilidad por parte de los productores ganaderos participantes en el estudio. Las pruebas se realizaron en condiciones reales de operación dentro de unidades de producción bovina ubicadas en la región de la Huasteca de Ozuama, Veracruz, lo que permitió evaluar el comportamiento del sistema en escenarios representativos del entorno ganadero.

Durante la fase de pruebas técnicas se evaluaron variables relacionadas con la precisión de localización GPS, la estabilidad de la comunicación inalámbrica mediante tecnología LoRa y la capacidad del sistema para generar alertas cuando el animal abandona el perímetro establecido. Los resultados obtenidos indican que el dispositivo fue capaz de mantener un funcionamiento estable durante los periodos de evaluación, registrando coordenadas geográficas de forma continua y transmitiendo la información al sistema receptor sin interrupciones significativas. En particular, el módulo GPS Neo-6M permitió obtener coordenadas geográficas con un nivel de precisión adecuado para aplicaciones de monitoreo ganadero en campo abierto. Asimismo, la comunicación LoRa demostró ser una alternativa eficiente para la transmisión de datos en zonas rurales, donde la conectividad convencional puede ser limitada. La combinación de estas tecnologías permitió establecer un sistema de monitoreo capaz de detectar cuando un animal abandona el área delimitada mediante geocercas y enviar una alerta al productor a través de mensajes SMS.

Parámetro evaluado	Método de evaluación	Resultado promedio	Interpretación
Precisión de localización GPS	Comparación entre coordenadas reales y registradas	±5 m	Precisión adecuada para monitoreo de ganado
Tiempo de actualización de posición	Registro del intervalo de lectura GPS	5–10 s	Permite monitoreo continuo
Alcance de comunicación LoRa	Prueba de transmisión en campo abierto	2.5–3 km	Cobertura suficiente para unidades ganaderas
Tiempo de generación de alerta	Medición desde salida del perímetro hasta notificación	8–15 s	Respuesta rápida del sistema
Consumo energético del dispositivo	Medición de corriente promedio	Bajo consumo	Permite operación prolongada

**Tabla 1. Evaluación técnica del desempeño del dispositivo**

Los resultados presentados en la Tabla 1 indican que el sistema mantiene un nivel de precisión y estabilidad adecuado para aplicaciones de monitoreo ganadero en sistemas de producción extensivos. La precisión de localización obtenida permitió identificar la posición aproximada del animal dentro del área de pastoreo, mientras que el alcance de transmisión LoRa resultó suficiente para cubrir distancias representativas dentro de unidades de producción rural. Además del análisis técnico del sistema, se evaluó la percepción de utilidad del dispositivo mediante encuestas estructuradas aplicadas a productores ganaderos participantes en el estudio. En total se recopilaron 35 respuestas relacionadas con el uso potencial de tecnologías de monitoreo aplicadas al control del ganado bovino.

Los resultados indican que la mayoría de los productores considera que los dispositivos tecnológicos de monitoreo pueden contribuir significativamente a mejorar el control del ganado y reducir pérdidas asociadas al extravío o robo de animales. Asimismo, se identificó que los factores más relevantes para la adopción de este tipo de tecnología están relacionados con el costo del dispositivo, la cobertura de comunicación y la durabilidad del equipo.

Variable evaluada	Categoría con mayor frecuencia	Frecuencia	Porcentaje
<b>Situación más asociada a la pérdida de ganado</b>	Enfermedades	14	40 %
<b>Ambiente donde ocurre mayor pérdida</b>	Grandes extensiones de pastoreo	13	37 %
<b>Función tecnológica más relevante</b>	Localización del animal	14	40 %
<b>Factor clave para adquisición</b>	Costo del dispositivo	13	37 %
<b>Resultado esperado del sistema</b>	Reducción de pérdidas	16	46 %

**Tabla 2. Resultados de percepción y aceptación del sistema por productores ganaderos.**

Los resultados obtenidos reflejan que la localización del animal es percibida como la función más importante que debe ofrecer un sistema de monitoreo ganadero, lo que coincide con el objetivo principal del dispositivo desarrollado en esta investigación. De igual forma, la reducción de pérdidas económicas fue identificada como el principal beneficio esperado por los productores. El análisis de resultados sugiere que la implementación de tecnologías de rastreo basadas en IoT puede representar una herramienta viable para mejorar la gestión del ganado bovino en regiones rurales. La integración de sistemas de geolocalización, comunicación inalámbrica de largo alcance y mecanismos de alerta automática permite incrementar el control sobre el hato ganadero y reducir el tiempo requerido para localizar animales extraviados.

Los resultados obtenidos durante las pruebas piloto indican que el dispositivo propuesto presenta un nivel adecuado de funcionalidad y aceptación por parte de los productores ganaderos, lo que sugiere que su implementación podría contribuir al fortalecimiento de la seguridad y eficiencia en sistemas de producción ganadera de pequeña y mediana escala.

#### REFERENCIAS

- [1] J. Hernández, M. Rodríguez, and L. García, "La ganadería bovina en México y su importancia en el desarrollo rural," *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, vol. 9, no. 2, pp. 215–226, 2018. doi: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i2.4473>
- [2] A. Martínez and R. López, "Impacto del abigeato en sistemas ganaderos de pequeña escala en México," *Revista Mexicana de Agronegocios*, vol. 44, pp. 325–336, 2019. doi: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.292301>
- [3] C. Pérez, J. Ramírez, and P. Torres, "Sistemas de identificación y trazabilidad en la producción ganadera," *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, vol. 33, no. 1, pp. 45–55, 2020. doi: <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v33n1a05>
- [4] M. Silva, L. Gómez, and R. Fernández, "Internet de las cosas aplicado a la ganadería de precisión," *Ingeniería e Investigación*, vol. 41, no. 3, pp. 67–75, 2021. doi: <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v41n3.90912>
- [5] D. Andrade, F. Vargas, and S. Méndez, "Aplicación de tecnologías de comunicación LoRa para monitoreo de ganado en zonas rurales," *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, no. 101, pp. 52–60, 2022. doi: <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200925>
- [6] R. Morales, J. Vargas, and P. Salinas, "Aplicaciones del Internet de las cosas en la producción agropecuaria," *Revista Ingeniería Agrícola*, vol. 11, no. 2, pp. 45–54, 2021. DOI: No disponible.
- [7] L. Gómez and C. Torres, "Sistemas de monitoreo ganadero basados en sensores y geolocalización," *Ingeniería e Investigación*, vol. 40, no. 3, pp. 72–80, 2020. doi: <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v40n3.80000>
- [8] F. Martínez, J. López, and D. Herrera, "Evaluación de redes LoRa para aplicaciones rurales de monitoreo," *DYNA (Colombia)*, vol. 89, no. 222, pp. 105–112, 2022. doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n222.90000>
- [9] P. Andrade, M. Rojas, and C. Gómez, "Tecnologías IoT aplicadas al monitoreo de animales en sistemas ganaderos extensivos," *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, no. 101, pp. 33–42, 2020. doi: <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200010>
- [10] S. Carvalho, R. Pereira, and A. Santos, "Digital livestock farming: monitoring systems for cattle management," *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 38, pp. 55–63, 2021. doi: <https://doi.org/10.24054/16927257.v38.n38.2021.1000>

# Diseño y desarrollo de la plataforma 24/7 Match: optimización de mercados de servicios en México mediante geo-segmentación dinámica y negociación bidireccional

---

Mireles González Eivy Alexander

Fecha de recepción: 17-11-2025

Fecha de aceptación: 15-12-2025

## RESUMEN

En la última década, la economía de plataformas ha transformado la prestación de servicios; sin embargo, en México persisten problemas como informalidad, falta de verificación y poca transparencia. Este trabajo propone "24/7 Match", una plataforma digital para optimizar la contratación de servicios técnicos mediante geosegmentación dinámica y negociación bidireccional. Basada en un modelo de marketplace, integra verificación de usuarios, reputación y asignación geoespacial eficiente. Se desarrolla como una Progressive Web App (PWA), combinando análisis teórico y desarrollo práctico. Los resultados indican mejoras en tiempos de búsqueda, eficiencia logística y confianza. La plataforma se perfila como una solución viable para fortalecer la seguridad, transparencia y formalización del sector.

## PALABRAS CLAVE

*Economía de plataformas, marketplace digital, geo-segmentación, servicios técnicos, Progressive Web App, economía bajo demanda.*

## ABSTRACT

In the last decade, the platform economy has transformed service delivery; however, in Mexico, challenges such as informality, lack of verification, and limited transparency persist. This study proposes "24/7 Match," a digital platform designed to optimize technical service contracting through dynamic geosegmentation and bidirectional negotiation. Based on a marketplace model, it integrates user verification, reputation systems, and efficient geospatial assignment. The system is developed as a Progressive Web App (PWA), combining theoretical analysis and practical implementation. Results show improvements in search time, logistical efficiency, and trust. The platform represents a viable solution to enhance security, transparency, and formalization in urban service markets.

## KEYWORDS

*Platform economy, digital marketplace, geo-segmentation, on-demand services, Progressive Web App (PWA), bidirectional negotiation, technical service platforms.*

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el desarrollo de las tecnologías digitales ha modificado de forma significativa la manera en que se organizan numerosos mercados de servicios. El acceso generalizado a internet móvil, junto con la adopción masiva de teléfonos inteligentes, ha facilitado la aparición de plataformas digitales capaces de conectar de manera directa a proveedores y usuarios. Este tipo de sistemas ha permitido coordinar transacciones de manera más rápida, reducir intermediarios tradicionales y crear nuevos modelos de negocio basados en la interacción digital entre oferta y demanda. Diversos estudios han señalado que estas plataformas se han convertido en uno de los motores más relevantes de transformación económica en la última década, al reorganizar sectores completos mediante la intermediación tecnológica [5].

El crecimiento de la llamada economía bajo demanda se ha hecho especialmente visible en actividades como el transporte urbano, la entrega de alimentos, el hospedaje temporal y otros servicios que requieren una respuesta rápida a las necesidades de los usuarios. En estos casos, las plataformas digitales integran herramientas como geolocalización, sistemas de reputación y pagos electrónicos que permiten coordinar servicios en tiempo real. Como resultado, millones de usuarios pueden solicitar y recibir servicios con mayor rapidez y previsibilidad que mediante los mecanismos tradicionales de contratación. Este tipo de mercados digitales, conocidos como *platform markets*, han demostrado que la tecnología puede reducir fricciones operativas y mejorar la eficiencia en la asignación de recursos [6].

Sin embargo, no todos los sectores han experimentado el mismo nivel de digitalización. Existen actividades que, por su naturaleza o por factores culturales y económicos, continúan operando en gran medida bajo esquemas tradicionales. Uno de los casos más evidentes corresponde a los servicios técnicos y de mantenimiento para el hogar o pequeños negocios. Trabajos como plomería, electricidad, cerrajería o reparaciones generales siguen dependiendo con frecuencia de recomendaciones personales, anuncios informales o publicaciones en redes sociales sin ningún tipo de verificación.

Este modelo de contratación presenta limitaciones importantes. Para los usuarios, encontrar un técnico confiable puede convertirse en un proceso lento y lleno de incertidumbre. En muchos casos, la única referencia disponible proviene de la recomendación de un conocido o de comentarios en redes sociales que no necesariamente reflejan la calidad real del servicio. A esto se suma un elemento particularmente sensible: la contratación de este tipo de servicios implica, con frecuencia, permitir el

acceso de un desconocido al hogar o al lugar de trabajo. En consecuencia, la percepción de riesgo se vuelve un factor determinante durante el proceso de decisión.

Desde la perspectiva de los trabajadores de oficio, la situación tampoco resulta sencilla. Muchos proveedores cuentan con amplios conocimientos técnicos, pero carecen de herramientas que les permitan ampliar su cartera de clientes o gestionar de forma eficiente su actividad laboral. La dependencia del “boca a boca” limita la visibilidad de su trabajo y genera periodos prolongados sin actividad. En consecuencia, es común que los ingresos sean inestables y que gran parte del tiempo laboral se destine a la búsqueda de nuevos clientes en lugar de a la prestación efectiva de servicios.

A esta situación se añade otro elemento característico del sector: la dificultad para establecer precios estandarizados. A diferencia de otros servicios digitales, donde el costo puede determinarse previamente mediante tarifas fijas o algoritmos, muchos trabajos técnicos requieren una evaluación directa del problema antes de definir un presupuesto. Las condiciones de cada servicio pueden variar considerablemente dependiendo del tipo de reparación, el estado de las instalaciones o los materiales necesarios para completar el trabajo. Por esta razón, en la práctica cotidiana suele existir un proceso de negociación entre el usuario y el proveedor antes de realizar el servicio.

En este contexto, la digitalización del sector requiere soluciones tecnológicas que no solo conecten a usuarios y proveedores, sino que también consideren las particularidades del mercado de servicios técnicos. Una plataforma eficaz debe ser capaz de reducir la incertidumbre en la contratación, mejorar la visibilidad de los proveedores confiables y facilitar acuerdos transparentes entre ambas partes.

Con base en estas consideraciones, el presente trabajo plantea el diseño y desarrollo de la plataforma digital “24/7 Match”, concebida como un marketplace especializado en la contratación de servicios técnicos urgentes en zonas urbanas de México. La propuesta incorpora un sistema de geo-segmentación dinámica, que permite identificar proveedores disponibles en áreas cercanas al usuario, y un mecanismo de negociación bidireccional previo a la contratación, diseñado para que ambas partes puedan acordar condiciones y costos antes de iniciar el servicio.

Para validar esta propuesta, la investigación contempla el desarrollo de un prototipo funcional basado en

una arquitectura de Progressive Web App (PWA), lo que permite ofrecer accesibilidad desde múltiples dispositivos sin necesidad de instalar aplicaciones nativas. Este enfoque tecnológico facilita la implementación inicial del sistema y permite evaluar su funcionamiento en un entorno urbano específico.

En términos generales, el estudio busca demostrar que la incorporación de herramientas digitales especializadas puede mejorar significativamente la manera en que se contratan los servicios técnicos. Al integrar verificación de usuarios, segmentación geográfica y mecanismos de negociación previos al servicio, la plataforma 24/7 Match propone una alternativa orientada a fortalecer la confianza entre usuarios y proveedores, optimizar la asignación de trabajos y contribuir a la modernización del mercado de servicios de oficios en el contexto urbano mexicano.

### CONSIDERACIONES ÉTICAS

El desarrollo de la plataforma 24/7 Match se plantea bajo principios de responsabilidad tecnológica, priorizando la protección de datos personales, la transparencia en las interacciones entre usuarios y proveedores y el uso seguro de la información generada en la plataforma. Asimismo, se promueve la verificación de identidad, el respeto a la privacidad y el uso ético de la información con fines exclusivamente operativos y de mejora del servicio.

### METODOLOGÍA

El desarrollo de la presente investigación se planteó desde un enfoque cuantitativo con un diseño descriptivo orientado a analizar el comportamiento y la percepción de los usuarios frente a una plataforma digital destinada a la contratación de servicios técnicos bajo demanda denominada ANTIGRAVITY – 24/7 Match. Este tipo de aproximación resulta especialmente útil cuando el propósito del estudio consiste en examinar la aceptación de una solución tecnológica dentro de un contexto real de uso, permitiendo identificar patrones de interacción entre los usuarios y el sistema, así como variables relacionadas con la rapidez del servicio, la transparencia en la negociación y el nivel general de confianza en la plataforma [7]. A diferencia de investigaciones orientadas a establecer relaciones causales entre variables, el presente trabajo se centra en describir la utilidad percibida del sistema y su potencial de adopción dentro de un entorno urbano específico.

Además del componente analítico, la investigación incorpora un elemento práctico basado en el desarrollo de un prototipo funcional del sistema. En el ámbito del desarrollo de plataformas digitales, este tipo de aproximación suele materializarse mediante la construcción de un Minimum Viable Product (MVP), entendido como una versión inicial del sistema que integra únicamente las funcionalidades necesarias para validar su funcionamiento y evaluar su aceptación por parte de los usuarios. La utilización de prototipos operativos permite observar la interacción directa entre los participantes del sistema y detectar oportunidades de mejora antes de realizar un despliegue a gran escala [8]. En este caso, el prototipo permitió simular el proceso de contratación de servicios técnicos dentro de un entorno digital controlado, en el cual los usuarios podían publicar solicitudes de trabajo y los proveedores enviar propuestas de servicio para su posible contratación.

Desde una perspectiva técnica, la plataforma fue concebida como un marketplace digital especializado en la intermediación de servicios técnicos urgentes, diseñado para facilitar la conexión entre usuarios que requieren resolver problemas inmediatos y proveedores con disponibilidad operativa dentro de una determinada zona geográfica. A diferencia de algunas plataformas existentes que utilizan modelos de asignación automática de servicios o tarifas predefinidas, el sistema propuesto incorpora un mecanismo híbrido basado en geo-segmentación dinámica y negociación bidireccional entre las partes. Esta característica constituye uno de los aportes centrales del proyecto, ya que reconoce que muchos servicios técnicos no pueden estandarizarse completamente y requieren una etapa de diálogo previo para definir el alcance del trabajo y el costo final del servicio.

El diseño de la arquitectura del sistema responde a una estructura modular compuesta por tres componentes principales: una capa de interacción con el usuario, un servidor de aplicación encargado de procesar la lógica operativa de la plataforma y una base de datos destinada al almacenamiento de la información generada durante el funcionamiento del sistema. La interfaz permite a los usuarios registrar solicitudes de servicio, revisar ofertas de proveedores y comunicarse mediante herramientas de men-

sajería integradas. El servidor de aplicación gestiona la lógica del sistema, incluyendo el procesamiento de solicitudes, la identificación de proveedores cercanos mediante criterios geográficos y la administración de los procesos de negociación. Finalmente, la base de datos almacena información relacionada con perfiles de usuarios, registros de proveedores, solicitudes publicadas, ofertas enviadas, historiales de conversación y evaluaciones posteriores a la realización del servicio.

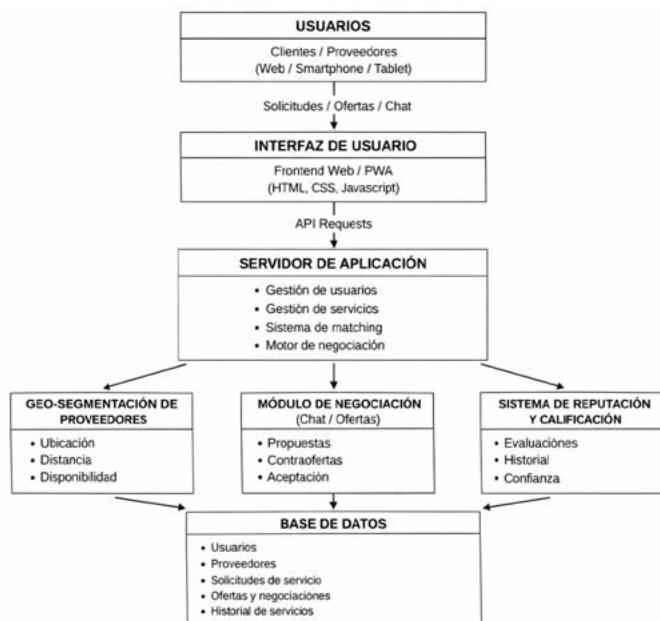


Figura 1. Arquitectura general de la plataforma 24/7 Match.

El diagrama muestra la estructura funcional del sistema, donde los usuarios interactúan con la plataforma a través de una interfaz web o PWA. Las solicitudes son procesadas por el servidor de aplicación, que gestiona la lógica del sistema mediante módulos de geo-segmentación de proveedores, negociación entre usuarios y prestadores de servicio, y un sistema de reputación. Toda la información operativa se almacena en una base de datos centralizada.

La organización de la base de datos fue diseñada considerando la posible escalabilidad del sistema, separando la información en distintos módulos funcionales. Entre los principales conjuntos de datos se encuentran los relacionados con perfiles de usuarios, registro de proveedores, solicitudes de servicio, ofertas enviadas, conversaciones generadas durante la negociación y evaluaciones posteriores al servicio. Esta estructura permite mantener la integridad de la información y facilita futuras ampliaciones del sistema, como la integración de nuevos tipos de servicios o el desarrollo de herramientas analíticas orientadas a optimizar el proceso de asignación de trabajos.

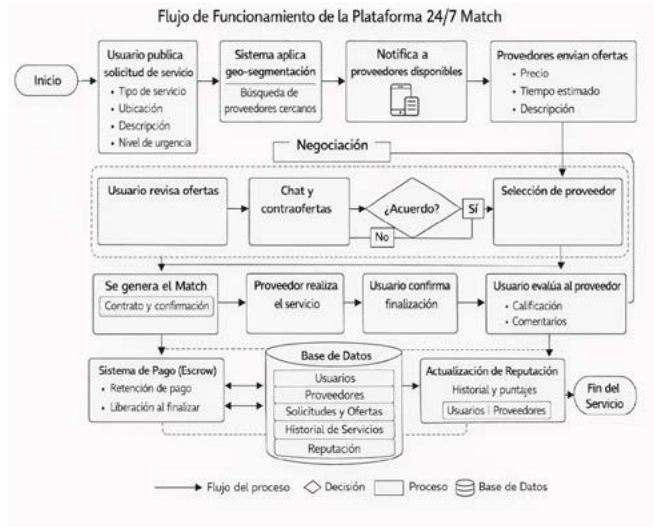
El aporte técnico del sistema se relaciona también con la forma en que la plataforma gestiona la interacción entre oferta y demanda dentro de un entorno digital. Diversos estudios han señalado que las plataformas que operan como intermediarios en mercados bilaterales deben equilibrar la automatización tecnológica con mecanismos de coordinación entre los participantes del sistema [9]. En este sentido, el modelo propuesto no se limita a asignar automáticamente un proveedor al usuario, sino que permite que ambos actores participen activamente en el proceso de negociación. Esta característica introduce mayor flexibilidad en la definición de condiciones del servicio y se ajusta mejor a la naturaleza variable de los trabajos técnicos.

Para evaluar la aceptación del sistema se diseñó un cuestionario estructurado aplicado mediante la herramienta Google Forms. El instrumento fue elaborado con preguntas cerradas que permitieron obtener información cuantificable sobre la experiencia de uso de la plataforma. Entre las variables analizadas se incluyeron la rapidez con la que los usuarios perciben que pueden encontrar un proveedor disponible, la claridad en las condiciones económicas del servicio, la disponibilidad de técnicos dentro de la zona geográfica del usuario y el nivel de satisfacción general con el modelo propuesto. Las respuestas obtenidas fueron posteriormente organizadas mediante herramientas de análisis basadas en hojas de cálculo, lo que permitió realizar procesos de tabulación, cálculo de frecuencias y representación de tendencias en los datos recopilados.

La población considerada en el estudio estuvo conformada por usuarios potenciales de servicios técnicos bajo demanda, así como por trabajadores de oficio y técnicos independientes que podrían participar como proveedores dentro de la plataforma. El contexto geográfico de aplicación se delimitó inicialmente a la ciudad de Tampico, Tamaulipas, debido a su dinámica urbana y a la presencia constante de demanda de servicios relacionados con mantenimiento doméstico, reparaciones urgentes y asistencia técnica especializada. Este entorno permitió observar el comportamiento potencial del sistema dentro de una comunidad representativa de muchas ciudades medianas del país.

El funcionamiento operativo de la plataforma sigue una secuencia estructurada que inicia cuando un usuario publica una solicitud de servicio dentro del sistema. A partir de ese momento, la plataforma identifica proveedores disponibles dentro de un radio geográfico determinado y envía notificaciones para que puedan revisar la solicitud y presentar ofertas de trabajo. Posteriormente, el usuario tiene la posibilidad de analizar las propuestas recibidas y establecer comunicación directa con los proveedores

mediante un sistema de mensajería integrado. Una vez que ambas partes llegan a un acuerdo, se genera la coincidencia o *match* dentro del sistema y se procede a la realización del servicio.



**Figura 2. Flujo operativo de la plataforma ANTIGRAVITY – 24/7 Match.**

**Nota: La figura fue generada con apoyo de herramientas de inteligencia artificial (OpenAI DALL-E) y posteriormente revisada y adaptada por los autores con fines ilustrativos del modelo operativo del sistema propuesto.**

La metodología adoptada permitió analizar simultáneamente dos dimensiones fundamentales del proyecto: por un lado, el comportamiento técnico del sistema como plataforma digital de intermediación de servicios y, por otro, la percepción de los usuarios frente a este modelo de interacción tecnológica. La combinación de desarrollo de software, implementación de un prototipo funcional y análisis cuantitativo de la experiencia de uso proporciona una base sólida para evaluar la viabilidad del sistema ANTIGRAVITY – 24/7 Match como una herramienta orientada a mejorar la eficiencia, la seguridad y la transparencia en la contratación de servicios técnicos dentro de entornos urbanos.

## RESULTADOS

La evaluación del sistema ANTIGRAVITY – 24/7 Match se realizó mediante la implementación de un prototipo funcional desarrollado para simular el comportamiento de una plataforma digital de intermediación de servicios técnicos urgentes. El prototipo fue construido como una Progressive Web Application (PWA), lo que permitió ejecutar el sistema en navegadores web tanto en dispositivos móviles como en computadoras sin requerir instalación nativa. Este enfoque facilita la accesibilidad inicial de los usuarios y reduce las barreras de adopción del sistema, manteniendo al mismo tiempo capacidades de interacción comparables a las de una aplicación móvil.

Desde el punto de vista de ingeniería del sistema, la plataforma fue implementada bajo una arquitectura cliente-servidor, donde la interfaz de usuario se encarga de gestionar la interacción con los participantes del sistema, mientras que el servidor de aplicación administra la lógica de negocio, el procesamiento de solicitudes y la gestión de coincidencias entre usuarios y proveedores. La base de datos centralizada almacena información estructurada relacionada con perfiles de usuarios, registros de proveedores, solicitudes de servicio, ofertas enviadas, conversaciones generadas durante la negociación y evaluaciones posteriores a la finalización del servicio.

El diseño del sistema incorpora tres componentes funcionales principales que constituyen el núcleo tecnológico de la plataforma: el módulo de geo-segmentación dinámica, el sistema de negociación bidireccional y el módulo de reputación digital. El primero permite identificar proveedores disponibles dentro de un radio geográfico configurable, utilizando la ubicación aproximada del usuario para priorizar técnicos cercanos al lugar de la solicitud. Este mecanismo reduce el espacio de búsqueda y mejora la eficiencia logística en la asignación de servicios. El segundo componente permite que usuarios y proveedores intercambien propuestas de trabajo mediante un sistema de mensajería integrado, facilitando la definición de costos y condiciones antes de confirmar el servicio. Finalmente, el sistema de reputación permite registrar evaluaciones posteriores a cada intervención técnica, generando historiales de desempeño que pueden ser consultados por futuros usuarios.

Para evaluar el desempeño del sistema se analizaron diversas métricas relacionadas con el comportamiento del mercado de servicios técnicos y con la percepción de los usuarios respecto al modelo de intermediación propuesto. En primer lugar, se evaluó la frecuencia con la que los usuarios experimentan situaciones que requieren atención técnica urgente. Los resultados indican que existe una demanda constante de este tipo de servicios dentro del entorno urbano analizado.

Frecuencia anual de urgencias técnicas	Número de usuarios	Porcentaje
Ninguna	10	20%
1 – 2 veces	32	64%
3 o más	8	16%
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100%</b>

**Tabla 1. Frecuencia de requerimiento de servicios técnicos urgentes.**

Los resultados presentados en la Tabla 1 muestran que el 80% de los participantes ha requerido al menos un servicio técnico urgente durante el último año, lo que confirma la existencia de una demanda recurrente para este tipo de soluciones. Este comportamiento coincide con estudios sobre mercados digitales de servicios, donde se ha observado que la consolidación de plataformas de intermediación suele depender de la existencia de necesidades frecuentes dentro de la población usuaria [10].

Además de la frecuencia de uso, se evaluó el tiempo que los usuarios tardan actualmente en localizar un proveedor disponible cuando utilizan métodos tradicionales de búsqueda. Los resultados muestran que el proceso de localización suele ser lento, especialmente cuando depende de recomendaciones informales o publicaciones en redes sociales.

La plataforma desarrollada busca abordar esta problemática mediante el uso de geo-segmentación dinámica, lo que permite distribuir automáticamente las solicitudes de servicio entre proveedores cercanos al usuario. Este mecanismo reduce el tiempo necesario para identificar técnicos disponibles y aumenta la probabilidad de recibir respuestas rápidas.

Otro aspecto evaluado durante el estudio fue la disposición de los usuarios a pagar un costo adicional a cambio de recibir atención urgente. Este indicador resulta relevante para analizar la viabilidad económica del modelo de intermediación propuesto

Incremento aceptado sobre el costo base	Número de usuarios	Porcentaje
No pagaría extra	5	10%
1% – 10% adicional	25	50%
11% – 20% adicional	12	24%
21% – 30% adicional	6	12%
Más del 30%	2	4%
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100%</b>

**Tabla 2. | Incremento aceptado sobre el costo base | Número de usuarios | Porcentaje**

Los resultados muestran que el 74% de los usuarios estaría dispuesto a pagar entre un 1% y un 20% adicional por garantizar una respuesta rápida, lo que indica que la rapidez de atención constituye un factor clave dentro del proceso de contratación. Este comportamiento respalda el modelo operativo del sistema, el cual prioriza la disponibilidad de proveedores cercanos y la reducción del tiempo de respuesta mediante el uso de filtros geográficos. Otro hallazgo relevante se relaciona con los mecanismos de confianza dentro de la plataforma. La mayoría de los participantes indicó que la verificación de identidad y la existencia de historiales de servicio son elementos fundamentales para confiar en un proveedor.

En particular, el 60% de los usuarios manifestó que considera necesario visualizar identidad verificada, referencias y evaluaciones previas antes de permitir el acceso de un proveedor al domicilio.

Asimismo, el estudio permitió identificar patrones relacionados con los horarios en los que los usuarios enfrentan mayores dificultades para encontrar proveedores disponibles. Los datos obtenidos muestran que aproximadamente el 90% de los problemas para localizar técnicos ocurre durante horarios nocturnos o de madrugada. Este resultado refuerza la propuesta de valor del sistema 24/7 Match, el cual busca mantener una red activa de proveedores disponibles en todo momento. Los resultados obtenidos evidencian que la implementación de una plataforma digital basada en geo-segmentación, negociación bidireccional y sistemas de reputación digital puede mejorar significativamente la eficiencia del mercado de servicios técnicos. Desde una perspectiva tecnológica, el sistema desarrollado demuestra que la digitalización de estos procesos permite reducir los tiempos de búsqueda, mejorar la transparencia en la contratación y fortalecer la confianza entre usuarios y proveedores dentro del ecosistema de servicios urbanos.

#### REFERENCIAS

- [1] M. Kenney and J. Zysman, "The Rise of the Platform Economy," *Issues in Science and Technology*, vol. 32, no. 3, pp. 61–69, 2016.
- [2] A. Sundararajan, *The Sharing Economy: The End of Employment and the Rise of Crowd-Based Capitalism*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016.
- [3] M. A. Cusumano, A. Gawer, and D. B. Yoffie, *The Business of Platforms: Strategy in the Age of Digital Competition*. New York, NY, USA: Harper Business, 2019.
- [4] A. Bjørn-Hansen, T. A. Majchrzak, and T. M. Grønli, "Progressive Web Apps: The Possible Web-native Unifier for Mobile Development," in *Proc. 13th Int. Conf. Web Information Systems and Technologies*, 2017, pp. 344–351.
- [5] J. A. Ramírez-Correa, J. Rondán-Cataluña, and F. Arenas-Gaitán, "Economía colaborativa y plataformas digitales: una revisión del fenómeno y sus implicaciones," *Revista Espacios*, vol. 39, no. 18, pp. 1–12, 2018. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a18v39n18/18391803.html>
- [6] G. G. Parker, M. W. Van Alstyne, and S. P. Choudary, *Platform Revolution: How Networked Markets Are Transforming the Economy*. New York, NY, USA: W. W. Norton & Company, 2016.
- [7] J. W. Creswell and J. D. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 5th ed. Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications, 2018.
- [8] E. Ries, *The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically Successful Businesses*. New York, NY, USA: Crown Business, 2011.
- [9] J. C. Rochet and J. Tirole, "Platform Competition in Two-Sided Markets," *Journal of the European Economic Association*, vol. 1, no. 4, pp. 990–1029, 2003.
- [10] A. Hagiu and J. Wright, "Multi-sided platforms," *International Journal of Industrial Organization*, vol. 43, pp. 162–174, 2015.

# Sistema de mapeo espacial basado en localización de alta precisión mediante balizas Ultra-Wideband (UWB)

---

García Romero Abraham Leobardo

Fecha de recepción: 17-11-2025

Fecha de aceptación: 15-12-2025

## RESUMEN

El crecimiento sostenido de la instalación de sistemas fotovoltaicos en México ha incrementado la necesidad de realizar mediciones precisas de las superficies destinadas a la colocación de paneles solares. Sin embargo, en muchos proyectos estas mediciones continúan realizándose mediante herramientas manuales, como cintas métricas o distanciómetros, lo que puede generar errores en las dimensiones obtenidas, incrementar el tiempo de trabajo y exponer a los técnicos a riesgos asociados al trabajo en altura. Ante esta problemática, el presente estudio propone el diseño y desarrollo de un sistema de mapeo espacial basado en tecnología Ultra-Wideband (UWB), reconocida por su alta precisión en la estimación de distancias mediante técnicas de tiempo de vuelo de señal [1]. El sistema emplea balizas UWB controladas mediante un microcontrolador ESP32 y algoritmos de medición basados en Round-Trip Time of Flight (RTof) implementado mediante Symmetric Double-Sided Two-Way Ranging (SDS-TWR). Los datos obtenidos se procesan mediante algoritmos de trilateración y se representan gráficamente mediante herramientas de visualización desarrolladas en Python, permitiendo generar un plano bidimensional del área medida. La solución propuesta busca reducir errores de medición, disminuir el tiempo de levantamiento de datos y mejorar la seguridad de los técnicos durante la planificación de instalaciones fotovoltaicas.

## PALABRAS CLAVE

*Ultra-Wideband (UWB), posicionamiento de alta precisión, trilateración, mapeo espacial, Python, medición de superficies.*

## ABSTRACT

The rapid growth of photovoltaic system installations in Mexico has increased the need for accurate measurements of the surfaces where solar panels will be installed. However, in many projects these measurements are still performed using traditional manual tools such as measuring tapes or handheld distance meters, which may introduce measurement errors, increase the time required for site assessment, and expose technicians to safety risks when working at height. To address this problem, this study proposes the design and development of a spatial mapping system based on Ultra-Wideband (UWB) technology, known for its high precision in distance estimation through time-of-flight signal measurements [1]. The proposed system employs UWB beacons controlled by an ESP32 microcontroller and implements Round-Trip Time of Flight (RTof) measurements using the Symmetric Double-Sided Two-Way Ranging (SDS-TWR) protocol. The collected distance data are processed using trilateration algorithms and visualized through mapping tools developed in Python, enabling the generation of a two-dimensional representation of the measured surface. The proposed solution aims to reduce measurement errors, decrease data acquisition time, and improve technician safety during the planning stage of photovoltaic installations.

## KEYWORDS

*Ultra-Wideband (UWB), indoor positioning, trilateration, spatial mapping, Python, distance measurement.*

## INTRODUCCIÓN

Durante la última década, la adopción de sistemas fotovoltaicos ha experimentado un crecimiento significativo a nivel mundial como parte de las estrategias orientadas a la transición hacia fuentes de energía más sostenibles. En México, el incremento en la instalación de sistemas solares en sectores residenciales y comerciales ha sido impulsado por la reducción en los costos de los paneles fotovoltaicos y por la necesidad de disminuir el consumo de energía proveniente de fuentes convencionales. Como resultado, las empresas dedicadas a la instalación de estos sistemas requieren realizar procesos de planificación cada vez más precisos, donde la correcta estimación del área disponible para la colocación de los módulos solares constituye una etapa fundamental.

Dentro del proceso de planificación de un sistema fotovoltaico, una de las tareas iniciales consiste en determinar con precisión las dimensiones y geometría de la superficie donde se instalarán los paneles solares. Sin embargo, en muchas instalaciones estas mediciones continúan realizándose mediante métodos tradicionales como cintas métricas, flexómetros o distanciómetros manuales. Aunque estas herramientas pueden resultar funcionales en superficies simples, su uso en techos inclinados, estructuras elevadas o superficies irregulares puede generar errores acumulativos en las mediciones, aumentar el tiempo requerido para realizar el levantamiento de información y exponer a los técnicos instaladores a riesgos asociados al trabajo en altura.

Ante estas limitaciones, diversas investigaciones han explorado el uso de tecnologías de posicionamiento inalámbrico para mejorar la precisión en la medición de distancias y localización de objetos en entornos interiores. Entre estas tecnologías, Ultra-Wideband (UWB) ha demostrado ser una alternativa particularmente eficiente debido a su capacidad para transmitir pulsos de radiofrecuencia de muy corta duración y estimar distancias a partir del tiempo de propagación de la señal entre dispositivos [1]. Gracias a esta característica, los sistemas de localización basados en UWB pueden alcanzar precisiones del orden de centímetros, superando a otras tecnologías inalámbricas comúnmente utilizadas en posicionamiento indoor [2].

La estimación de distancias en sistemas UWB suele realizarse mediante técnicas de tiempo de vuelo de señal (Time of Flight, ToF), donde el tiempo que tarda un pulso en viajar entre dos dispositivos permite calcular la distancia que los separa. Entre los métodos más utilizados se encuentra el Round-Trip Time of Flight

(RTof) implementado mediante el protocolo Symmetric Double-Sided Two-Way Ranging (SDS-TWR), el cual permite compensar los retrasos de procesamiento en los dispositivos y mejorar la precisión de las mediciones de distancia [3]. Estas técnicas han sido ampliamente utilizadas en aplicaciones de posicionamiento indoor, navegación robótica y sistemas de seguimiento de activos.

Una vez obtenidas las distancias entre varios puntos de referencia, es posible determinar la posición espacial de un dispositivo utilizando métodos geométricos como la trilateración, técnica que permite calcular coordenadas a partir de la intersección de circunferencias definidas por las distancias medidas desde múltiples puntos conocidos [4]. Este enfoque constituye la base de numerosos sistemas de posicionamiento utilizados en navegación y localización de objetos en entornos interiores.

Por otra parte, el procesamiento y visualización de datos espaciales requiere herramientas de análisis que permitan transformar las mediciones obtenidas en representaciones gráficas del área estudiada. En este sentido, lenguajes de programación como Python han adquirido gran relevancia en aplicaciones de análisis científico y procesamiento de datos, debido a la disponibilidad de bibliotecas especializadas para cálculo numérico, visualización y análisis geométrico [5]. Estas capacidades permiten desarrollar herramientas capaces de reconstruir superficies o generar mapas bidimensionales a partir de datos de posicionamiento.

Considerando estas ventajas tecnológicas, el presente trabajo propone el diseño y desarrollo de un sistema de mapeo espacial basado en balizas Ultra-Wideband (UWB) orientado a facilitar la medición precisa de superficies destinadas a la instalación de sistemas fotovoltaicos. El sistema integra balizas UWB para la obtención de distancias mediante técnicas de tiempo de vuelo, un microcontrolador ESP32 para la gestión de la comunicación entre dispositivos y algoritmos de trilateración implementados en Python para la reconstrucción geométrica del área medida. Con esta propuesta se busca reducir los errores asociados a las mediciones manuales, disminuir el tiempo requerido para el levantamiento de información y mejorar las condiciones de seguridad para los técnicos instaladores durante la planificación de sistemas fotovoltaicos.

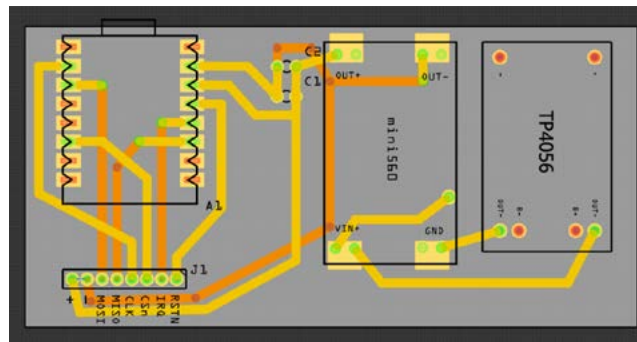
## CONSIDERACIONES ÉTICAS

El desarrollo y evaluación del sistema propuesto se realizó respetando principios de seguridad, confidencialidad y uso responsable de la tecnología. Las pruebas se efectuaron en espacios autorizados, sin recopilar datos personales ni información sensible. Asimismo, se priorizó la seguridad de los participantes durante las mediciones en campo y el cumplimiento de buenas prácticas de investigación tecnológica.

## METODOLOGÍA

El desarrollo de herramientas de medición para aplicaciones en ingeniería ha evolucionado significativamente durante las últimas décadas, pasando de métodos manuales a sistemas electrónicos capaces de realizar mediciones automáticas con alta precisión. Tradicionalmente, la medición de superficies en entornos de construcción o instalación de sistemas fotovoltaicos se ha realizado mediante herramientas manuales como cintas métricas, reglas metálicas y niveles de burbuja. Aunque estos instrumentos han sido ampliamente utilizados por su simplicidad y bajo costo, presentan limitaciones importantes relacionadas con el tiempo requerido para realizar las mediciones, la dependencia de la experiencia del operador y la posibilidad de introducir errores acumulativos cuando se trabaja en superficies inclinadas, elevadas o de geometría irregular. Además, el proceso de medición manual requiere que el personal técnico recorra físicamente toda la superficie del techo, lo que incrementa los riesgos asociados al trabajo en altura y puede afectar la seguridad del operador durante el proceso de levantamiento de datos.

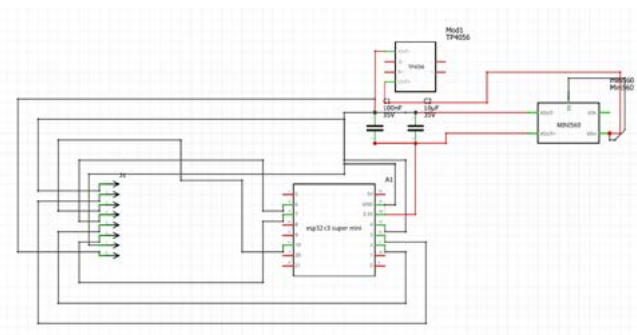
Con el avance de la instrumentación electrónica comenzaron a incorporarse dispositivos de medición más avanzados como distanciómetros láser, sensores ultrasónicos y sistemas de escaneo óptico tridimensional. Estas tecnologías permitieron mejorar la precisión de las mediciones y reducir el tiempo necesario para obtener dimensiones de superficies complejas. Sin embargo, muchos de estos dispositivos requieren condiciones específicas de operación, como línea de visión directa, superficies reflectivas o equipos de alto costo que suelen ser utilizados por personal especializado en levantamientos topográficos o arquitectónicos. Estas limitaciones han motivado la búsqueda de alternativas tecnológicas más portátiles y accesibles que permitan realizar mediciones precisas sin necesidad de infraestructura compleja o equipos voluminosos [6].



**Figura 1. Diseño del PCB del sistema principal.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Con el objetivo de integrar los distintos componentes electrónicos del sistema de medición basado en tecnología Ultra-Wideband (UWB), se diseñó una tarjeta de circuito impreso (PCB) que permite la interconexión ordenada entre el microcontrolador, los módulos de radiofrecuencia y los sistemas de gestión de energía. Este diseño busca optimizar la distribución de las señales, reducir interferencias electromagnéticas y facilitar la integración de los módulos necesarios para el funcionamiento del sistema de medición inalámbrica. Además, la implementación de una PCB dedicada permite mejorar la estabilidad eléctrica del sistema, reducir errores asociadas a conexiones externas y aumentar la portabilidad del dispositivo.



**Figura 2. Diagrama esquemático del sistema electrónico. Esquema eléctrico que muestra las conexiones del sistema.**

**Fuente: elaboración propia.**

El diseño del circuito se realizó utilizando herramientas de desarrollo electrónico que permiten representar la distribución física de los componentes, las rutas de conexión entre pines y la organización general del sistema electrónico. En la Figura 1 se presenta el diseño de la tarjeta de circuito impreso desarrollada para el prototipo, donde se muestran las conexiones entre el microcontrolador, el módulo de medición UWB, el sis-

tema de regulación de voltaje y el módulo de carga de batería. Esta arquitectura permite que el sistema opere de manera autónoma y estable durante las mediciones realizadas en campo.

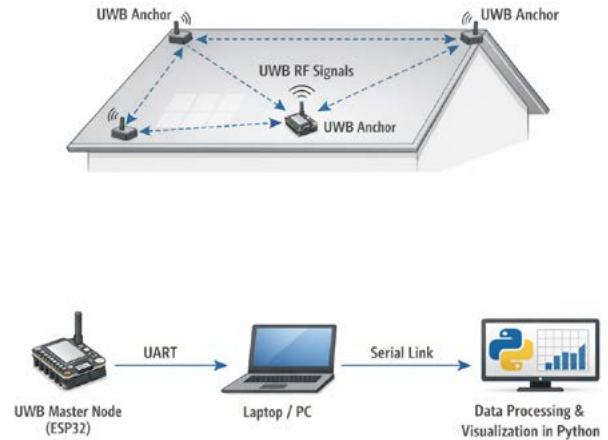
En este contexto, las tecnologías de localización basadas en radiofrecuencia han emergido como una solución prometedora para la medición de distancias y posicionamiento espacial en entornos donde los métodos ópticos o mecánicos presentan restricciones. Entre estas tecnologías, la radio de banda ultra ancha o Ultra-Wideband (UWB) ha demostrado ofrecer un alto nivel de precisión en la estimación de distancias debido a su capacidad para transmitir pulsos de muy corta duración distribuidos en un amplio espectro de frecuencias. Esta característica permite obtener una alta resolución temporal y calcular con precisión el tiempo que tarda una señal en propagarse entre dos dispositivos, lo que posibilita estimaciones de distancia con errores del orden de centímetros [7].

Diversas investigaciones han demostrado que los sistemas de localización basados en UWB presentan ventajas significativas frente a otras tecnologías inalámbricas como Wi-Fi o Bluetooth, especialmente en aplicaciones de posicionamiento en interiores. La utilización de señales de banda ultraancho reduce los efectos de interferencia y permite discriminar la señal directa de las reflexiones producidas por obstáculos o superficies cercanas, fenómeno conocido como multipath. Estas propiedades han permitido que la tecnología UWB sea utilizada en aplicaciones de robótica móvil, logística inteligente, seguimiento de activos y navegación en interiores, donde se requiere una alta precisión de localización [8].

La adopción industrial de esta tecnología se vio favorecida por la estandarización de los protocolos de comunicación y medición de distancia definidos en el estándar IEEE 802.15.4, el cual incluye soporte para sistemas UWB utilizados en aplicaciones de posicionamiento y ranging. La aparición de circuitos integrados especializados, como el transceptor DW1000, permitió implementar sistemas de medición de distancia basados en tiempo de vuelo con una precisión considerablemente superior a la de tecnologías inalámbricas convencionales. Estos dispositivos incorporan hardware dedicado para registrar marcas de tiempo con resolución del orden de nanosegundos, lo que permite calcular distancias entre nodos con gran exactitud [9].

El cálculo de distancia en sistemas UWB suele basarse en el principio de Time of Flight (ToF), el cual consiste en medir el tiempo que tarda una señal electromagnética en propagarse entre un transmisor y un receptor. Sin embargo, mantener una sincronización precisa entre los relojes de ambos dispositivos puede resultar complejo

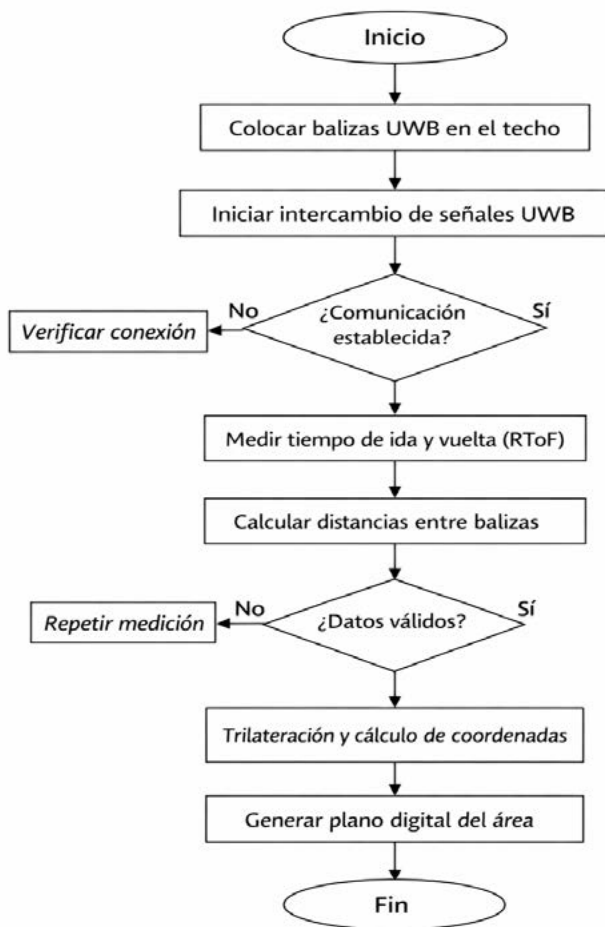
en sistemas prácticos. Para resolver este problema se desarrollaron técnicas de medición basadas en intercambio de mensajes entre nodos, como el método Two-Way Ranging (TWR), en el cual dos dispositivos intercambian señales para calcular el tiempo total de ida y vuelta de la señal y estimar la distancia entre ellos [10].



**Figura 2. Arquitectura del sistema de medición de superficies mediante balizas UWB y procesamiento de datos en Python. Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial.**

Con el objetivo de mejorar la precisión de este método y compensar los errores asociados a los retardos de procesamiento o a las diferencias entre relojes internos, se desarrolló la técnica Symmetric Double-Sided Two-Way Ranging (SDS-TWR). Este procedimiento introduce intercambios adicionales de mensajes y cálculos simétricos entre los nodos participantes, lo que permite reducir significativamente los errores sistemáticos en la estimación de distancia. Gracias a este método, los sistemas de medición basados en UWB pueden alcanzar precisiones de entre uno y diez centímetros en condiciones adecuadas de operación, lo que los convierte en una herramienta adecuada para aplicaciones de medición geométrica y reconstrucción espacial de superficies [11].

En el sistema propuesto se utiliza un conjunto de balizas UWB controladas mediante un microcontrolador ESP32. Durante el proceso de medición, los nodos intercambian señales de radiofrecuencia y registran los tiempos de transmisión y recepción de los pulsos. A partir de estos tiempos se calcula la distancia relativa entre los dispositivos, la cual posteriormente es utilizada para determinar las coordenadas espaciales de cada punto mediante técnicas de trilateración. Los datos obtenidos por las balizas son enviados al microcontrolador principal, el cual se encarga de recopilar las mediciones y transmitir las a una computadora para su procesamiento mediante algoritmos desarrollados en el lenguaje de programación Python.



**Figura 3. Diagrama de flujo del algoritmo de medición y generación del plano digital basado en tecnología UWB y trilateración. Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial.**

Una vez obtenidas las coordenadas de los puntos que delimitan la superficie, el sistema calcula automáticamente las dimensiones del área y el perímetro de la estructura analizada. Este procedimiento permite generar un plano digital del techo que puede utilizarse como referencia durante la planificación de instalaciones fotovoltaicas. La información obtenida puede almacenarse en archivos de datos o visualizarse mediante herramientas gráficas que facilitan la interpretación de los resultados por parte del usuario. La integración de tecnología UWB con microcontroladores de bajo costo y herramientas de procesamiento en Python permite desarrollar una solución portátil y accesible que puede ser utilizada en entornos reales de trabajo sin requerir equipos topográficos especializados.

## RESULTADOS

El sistema desarrollado fue evaluado mediante pruebas experimentales orientadas a verificar su capacidad para medir distancias entre balizas UWB y reconstruir la geometría de superficies destinadas a la instalación de sistemas fotovoltaicos. Las pruebas consistieron en la colocación de múltiples balizas en puntos estratégicos de diferentes superficies de techo, realizando mediciones mediante el método Symmetric Double-Sided Two-Way Ranging (SDS-TWR) y calculando posteriormente las coordenadas espaciales mediante algoritmos de trilateración.

Durante el proceso experimental se observó que el sistema fue capaz de obtener mediciones de distancia de manera inalámbrica con un nivel de precisión adecuado para aplicaciones de planificación fotovoltaica. El uso de mediciones repetidas y el cálculo del promedio de múltiples lecturas permitió reducir la variabilidad asociada a la comunicación por radiofrecuencia y mejorar la estabilidad de los resultados obtenidos. Este procedimiento contribuyó a disminuir el efecto de ruido y posibles interferencias presentes durante el intercambio de señales entre los nodos del sistema, fenómeno ampliamente reportado en sistemas de localización basados en UWB [11].

Los datos obtenidos a partir de las mediciones de distancia permitieron reconstruir la geometría bidimensional del área analizada, generando una representación digital del techo mediante herramientas de procesamiento implementadas en Python. A partir de las coordenadas calculadas fue posible determinar el perímetro y el área de la superficie evaluada, lo que facilita la estimación de la cantidad de paneles solares que pueden instalarse en una determinada estructura. Estudios previos han demostrado que la combinación de mediciones UWB con algoritmos de trilateración constituye una estrategia eficaz para la reconstrucción espacial de superficies en entornos interiores o semiabierto [12].

Otro aspecto relevante observado durante las pruebas fue la reducción del tiempo requerido para el levantamiento de información en comparación con los métodos tradicionales de medición manual. Al utilizar una red de balizas UWB para determinar distancias de forma automática, se eliminó la necesidad de recorrer físicamente toda la superficie del techo, lo que permitió acelerar el proceso de medición y mejorar las condiciones de seguridad para el personal técnico. Este tipo de soluciones tecnológicas ha sido señalado como una alternativa viable para optimizar procesos de medición en aplicaciones de ingeniería y construcción [13].

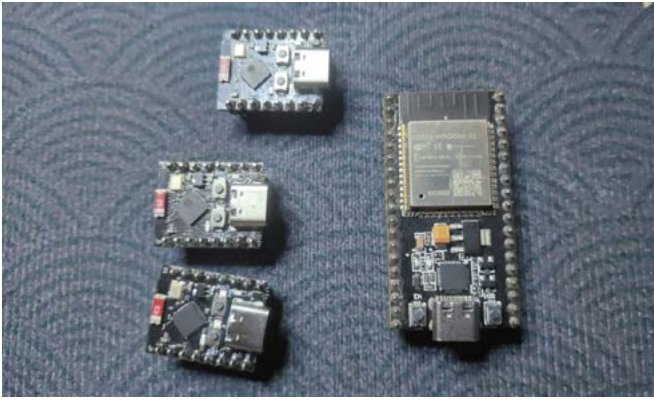


Figura 4. Microcontroladores utilizados en el sistema.

El sistema electrónico desarrollado se basa en una arquitectura compuesta por microcontroladores de bajo consumo energético y módulos de radiofrecuencia UWB capaces de realizar mediciones de distancia mediante técnicas de tiempo de vuelo. El microcontrolador se encarga de coordinar la comunicación entre los nodos, procesar las mediciones obtenidas y transmitir la información hacia el sistema de visualización implementado en la computadora. La integración de microcontroladores con módulos UWB ha sido ampliamente utilizada en sistemas de posicionamiento inalámbrico debido a su capacidad de procesamiento y a su compatibilidad con múltiples interfaces de comunicación [14].



Figura 5. Módulos UWB BU01 (DW1000).

Los módulos de radiofrecuencia empleados en el sistema permiten realizar mediciones de distancia con alta resolución temporal gracias a la transmisión de pulsos de banda ultraancha. Esta característica permite estimar el tiempo de propagación de la señal entre dispositivos con gran precisión, lo que se traduce en mediciones de distancia confiables incluso en entornos interiores o con presencia de obstáculos. La literatura especializada indica que los sistemas UWB pueden alcanzar precisiones de medición del orden de centímetros cuando se aplican técnicas de ranging bidireccional y algoritmos de filtrado adecuados [15].

Medición	Distancia real (m)	Distancia medida UWB (m)	Error absoluto (m)	Error relativo (%)
1	2.00	2.04	0.04	2.0
2	3.50	3.46	0.04	1.1
3	4.00	3.95	0.05	1.25
4	5.00	5.06	0.06	1.2
5	6.50	6.44	0.06	0.9

Tabla 1. Comparación entre distancias reales y distancias medidas mediante el sistema UWB.

Con el fin de evaluar el desempeño del sistema, se realizaron múltiples mediciones comparando las distancias obtenidas mediante el sistema UWB con mediciones de referencia realizadas utilizando instrumentos convencionales de medición.

Los resultados presentados en la Tabla 1 muestran que el sistema desarrollado es capaz de obtener mediciones con errores relativamente bajos respecto a las distancias reales, lo cual confirma la viabilidad de la tecnología UWB para aplicaciones de medición de superficies. En promedio, el error relativo observado durante las pruebas se mantuvo dentro de un rango cercano al 1–2 %, lo que resulta adecuado para aplicaciones de planificación de instalaciones fotovoltaicas donde las tolerancias de medición son relativamente amplias en comparación con aplicaciones de topografía de alta precisión. Los resultados experimentales indican que el sistema propuesto cumple con el objetivo de proporcionar una herramienta de medición inalámbrica capaz de estimar distancias y reconstruir superficies de forma rápida, segura y con un nivel de precisión suficiente para su aplicación en la planificación de sistemas fotovoltaicos.

#### REFERENCIAS

- [1] J. C. Rochet and J. Tirole, "Platform competition in two-sided markets," *Journal of the European Economic Association*, vol. 1, no. 4, pp. 990–1029, 2003. doi: <https://doi.org/10.1162/154247603322493212>
- [2] A. Alarifi et al., "Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances," *Sensors*, vol. 16, no. 5, 2016. doi: <https://doi.org/10.3390/s16050707>
- [3] S. Gezici et al., "Localization via ultra-wideband radios: A look at positioning aspects for future sensor networks," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, no. 4, pp. 70–84, 2005. doi: <https://doi.org/10.1109/MSP.2005.1458289>
- [4] F. Zafari, A. Gkelias and K. K. Leung, "A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2568–2599, 2019. doi: <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2911558>
- [5] A. Ledergerber and R. D'Andrea, "Ultra-Wideband Range Measurement Accuracy in Realistic Environments," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2016. doi: <https://doi.org/10.1109/ICRA.2016.7487254>

- [6] S. Pichler and M. Pendl, "Accurate distance measurement using the Decawave DW1000 UWB transceiver," International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2015. doi: <https://doi.org/10.1109/IPIN.2015.7346768>
- [7] IEEE Standards Association, "IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks," IEEE Std 802.15.4-2011, 2011. doi: <https://doi.org/10.1109/IEEE-ESTD.2011.6012487>
- [8] Decawave Ltd., "DW1000 User Manual: Ultra-Wideband Transceiver for Real-Time Location Systems," Decawave, 2017. Available: <https://www.qorvo.com>
- [9] D. Dardari, A. Conti, U. Ferner, A. Giorgetti and M. Z. Win, "Ranging with ultrawide bandwidth signals in multipath environments," Proceedings of the IEEE, vol. 97, no. 2, pp. 404–426, 2009. doi: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2008.2008841>
- [10] Qorvo Inc., "DW1000 System Overview and Application Notes," Qorvo Inc., 2020. Available: <https://www.qorvo.com>
- [11] J. Cano, A. Martínez and J. M. Cantera, "Evaluation of UWB ranging accuracy for indoor positioning systems," Sensors, vol. 20, no. 19, 2020. doi: <https://doi.org/10.3390/s20195461>
- [12] R. Zetik, J. Sachs and R. Thomä, "UWB localization—Active and passive approaches," IEEE International Conference on Ultra-Wideband, 2007. doi: <https://doi.org/10.1109/ICUWB.2007.4380936>
- [13] H. Wymeersch, J. Lien and M. Z. Win, "Cooperative localization in wireless networks," Proceedings of the IEEE, vol. 97, no. 2, pp. 427–450, 2009. doi: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2008.2008853>
- [14] Espressif Systems, "ESP32 Technical Reference Manual," Espressif Systems, 2022. Available: <https://www.espressif.com>
- [15] Qorvo Inc., "DW1000 User Manual: Ultra-Wideband Transceiver for Real-Time Location Systems," Qorvo Inc., 2019. Available: <https://www.qorvo.com/products/p/DW1000>

# Sistema de recordatorio y dispensación de medicamentos dirigido a adultos mayores y personas con trastornos cognitivos relacionados con la pérdida de memoria

---

Acevedo Cabrera Jose de Jesús

Fecha de recepción: 17-11-2025

Fecha de aceptación: 15-12-2025

## RESUMEN

El incremento sostenido de la población adulta mayor representa un reto significativo para los sistemas de salud, particularmente en la adherencia a tratamientos farmacológicos en personas con deterioro cognitivo. La Organización Mundial de la Salud estima que para 2050 la población mayor de 60 años se duplicará, incrementando la demanda de soluciones asistivas [1]. Este artículo presenta el diseño y desarrollo de un sistema automatizado de recordatorio y dispensación de medicamentos orientado a adultos mayores y personas con trastornos de memoria. El sistema integra hardware y software para la dispensación controlada, recordatorios automáticos y notificaciones a cuidadores, buscando reducir errores de medicación y mejorar la calidad de vida del usuario [2].

## PALABRAS CLAVE

*Adherencia terapéutica, adultos mayores, dispensación de medicamentos, deterioro cognitivo, tecnología asistida.*

## ABSTRACT

The sustained increase in the older adult population poses significant challenges for healthcare systems, particularly regarding medication adherence among individuals with cognitive impairment. The World Health Organization estimates that by 2050, the population aged 60 and over will double, increasing the demand for assistive technological solutions [1]. This paper presents the design and development of an automated medication reminder and dispensing system aimed at older adults and individuals with memory-related disorders. The proposed system integrates hardware and software components to enable controlled dispensing, automated reminders, and caregiver notifications, with the objective of reducing medication errors and improving users' quality of life [2].

## KEYWORDS

*Medication adherence, older adults, medication dispensing, cognitive impairment, assistive technology.*

## INTRODUCCIÓN

El envejecimiento poblacional representa un desafío creciente para los sistemas de salud, particularmente en países como México, donde el aumento de adultos mayores se asocia con una mayor prevalencia de enfermedades crónicas y trastornos neurocognitivos que requieren esquemas farmacológicos complejos [3], [4]. La evidencia científica señala que el deterioro cognitivo y la polifarmacia dificultan la correcta gestión de medicamentos, incrementando el riesgo de errores, hospitalizaciones evitables y deterioro en la calidad de vida [5], [6]. Diversos estudios han reportado que una proporción significativa de adultos mayores no cumple adecuadamente con los tratamientos prescritos, incluso en contextos con acceso a servicios de salud [7]. En este escenario, la tecnología asistiva emerge como una alternativa viable para mejorar la adherencia terapéutica. No obstante, muchos dispositivos existentes presentan limitaciones en costo, usabilidad y adaptación cognitiva [8], [9]. Se propone un sistema automatizado de recordatorio y dispensación de medicamentos, diseñado bajo criterios de accesibilidad y bajo costo.

## CONSIDERACIONES ÉTICAS

El desarrollo del sistema propuesto se rige por principios éticos de respeto, beneficencia y confidencialidad. Se garantiza la protección de los datos personales y de salud de los usuarios, asegurando el consentimiento informado y la participación voluntaria de adultos mayores y personas con deterioro cognitivo. El diseño del sistema busca minimizar riesgos físicos y cognitivos, así como complementar, y no sustituir, la supervisión médica y el apoyo de cuidadores,

## METODOLOGÍA

La metodología propuesta se fundamenta en el desarrollo de un prototipo inteligente de recordatorio y dispensación de medicamentos concebido como un sistema ciberfísico asistivo, en el que convergen control embebido, sensado indirecto, comunicación IoT y almacenamiento estructurado de datos operativos. El enfoque metodológico supera la automatización básica de alarmas al incorporar mecanismos de verificación de acción, trazabilidad temporal y supervisión remota, elementos identificados como críticos para mejorar la

adherencia terapéutica en poblaciones con deterioro cognitivo [10], [12].

El núcleo del sistema se basa en un microcontrolador ESP32, seleccionado por su capacidad de procesamiento, conectividad inalámbrica integrada y bajo consumo energético, lo que permite ejecutar de manera concurrente tareas de control, comunicación y registro de eventos [10]. La gestión temporal se realiza mediante un reloj en tiempo real (RTC), cuya integración resulta esencial para garantizar precisión en la ejecución de recordatorios y dispensaciones, incluso ante reinicios o interrupciones de energía. Este enfoque responde a recomendaciones técnicas para dispositivos embebidos de uso médico, donde la confiabilidad temporal es un requisito operativo fundamental [11]. La arquitectura general del sistema puede apreciarse en la Fig. 1, donde se representan los flujos de control, sensado y comunicación entre los distintos módulos.

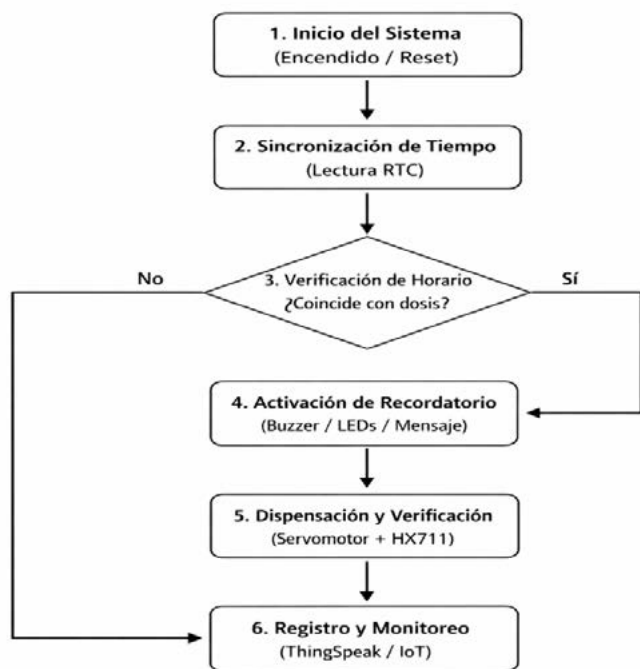


Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema ciberfísico de recordatorio y dispensación de medicamentos.

Las decisiones de diseño tecnológico no se adoptaron de manera aislada, sino como parte de una estrategia metodológica orientada a maximizar confiabilidad, verificabilidad y escalabilidad del sistema. En la Tabla 1 se sintetizan dichas decisiones, destacando su fundamentación ingenieril y su contribución funcional dentro del prototipo desarrollado.

Decisión tecnológica	Alternativas existentes	Fundamentación ingenieril	Contribución funcional al sistema
Integración de RTC dedicado	Temporizadores internos del MCU	Mitiga deriva temporal y dependencia del estado energético	Garantiza ejecución precisa y reproducible de eventos críticos
Sensado indirecto por peso (HX711)	Sensores ópticos o de contacto	Minimiza intrusión y reduce complejidad mecánica	Permite verificación objetiva de extracción de la dosis
ESP32 con conectividad IoT nativa	MCUs sin comunicación integrada	Reduce latencia y componentes externos	Facilita supervisión remota y escalabilidad del sistema
Mensajería remota automatizada	Alarmas locales únicamente	Refuerza estímulos cognitivos mediante redundancia	Incrementa probabilidad de respuesta oportuna del usuario
Registro en base de datos en la nube	Almacenamiento local	Habilita análisis longitudinal y acceso remoto	Soporta trazabilidad, auditoría y análisis de adherencia

**Tabla 1. Decisiones de diseño tecnológico y su contribución al sistema propuesto**

Desde el punto de vista funcional, el sistema opera bajo una lógica de eventos temporales definidos por el RTC. Al alcanzarse un horario programado, se genera un recordatorio auditivo local y, de forma simultánea, se envía una notificación al dispositivo móvil del usuario o del cuidador. Posteriormente, se habilita el mecanismo de dispensación mediante servomotores, seguido de una medición de peso previa y posterior al evento. Esta secuencia permite distinguir entre dispensaciones realizadas, omitidas o fallidas, superando el enfoque pasivo de sistemas basados únicamente en temporización [12]. Las variables involucradas en este proceso se conceptualizan como entradas, salidas y métricas de desempeño, las cuales se resumen en la Tabla 2.

Categoría	Variable	Naturaleza	Función metodológica
Entrada	Horario programado (RTC)	Temporal	Disparo del evento crítico
Entrada	Diferencia de peso	Sensorial	Confirmación indirecta de extracción
Salida	Activación del actuador	Mecánica	Dispensación controlada
Salida	Alerta acústica	Cognitiva	Estímulo perceptual primario
Salida	Mensajería remota	Comunicacional	Escalamiento y supervisión
Métrica	Latencia temporal	Cuantitativa	Precisión del sistema
Métrica	Tasa de omisión	Cuantitativa	Indicador de adherencia

**Tabla 2. Variables metodológicas, métricas y función analítica**

Todos los eventos generados por el sistema son almacenados en la plataforma ThingSpeak, configurada como una base de datos temporal en la nube. Esta estructura no solo permite la visualización en tiempo real, sino que

habilita el análisis longitudinal de la adherencia terapéutica y la detección de patrones de incumplimiento. La Tabla 3 describe la estructura lógica de los datos registrados, diseñada con criterios de trazabilidad, auditoría y escalabilidad analítica [14], [15].

La interacción física del usuario con el dispositivo y la operación del prototipo durante la prueba piloto se analizaron a partir de la observación directa del uso del sistema en condiciones controladas. Este análisis permitió evaluar aspectos relacionados con la comprensión de la interfaz, la facilidad de uso, la secuencia de operación y la respuesta cognitiva del usuario durante la dispensación y el proceso de recordatorio. La evaluación se centró en identificar posibles barreras de interacción y oportunidades de mejora en el diseño físico y funcional del dispositivo.

Campo	Dato registrado	Rol analítico
Timestamp programado	Calendario terapéutico	Trazabilidad temporal
Timestamp ejecutado	Ejecución real	Cálculo de error temporal
Estado de dispensación	Evento binario	Evaluación de cumplimiento
Peso antes/después	Evidencia física	Confirmación de extracción
Mensajería enviada	Evento binario	Verificación de notificación
Código de error	Diagnóstico	Robustez del sistema

**Tabla 3. Estructura de datos registrada en la plataforma IoT**

Finalmente, la validación metodológica se llevó a cabo mediante una prueba piloto en un entorno controlado, orientada a evaluar la precisión temporal del módulo RTC, la confiabilidad del mecanismo de dispensación, la integridad de los datos transmitidos y almacenados en la plataforma en la nube, así como la aceptación tecnológica desde la perspectiva del usuario y del cuidador. Este proceso iterativo permitió refinar el diseño del sistema bajo criterios de ingeniería, usabilidad y seguridad, alineándose con lineamientos internacionales aplicables al desarrollo de dispositivos médicos asistidos [19].

## RESULTADOS

El prototipo desarrollado mostró un funcionamiento estable durante las pruebas piloto, con una correcta coordinación entre el reloj en tiempo real, el control embebido y el mecanismo de dispensación. La ejecución de los recordatorios se mantuvo consistente en el tiempo, sin desviaciones apreciables, lo que confirmó la pertinencia del uso de un RTC dedicado en aplicaciones donde

la precisión temporal es crítica. Asimismo, la medición diferencial de peso mediante celdas de carga permitió identificar de forma confiable la extracción del medicamento, aportando una evidencia física del evento que supera las limitaciones de los sistemas basados únicamente en la activación del actuador [20].

Desde la perspectiva de uso, los resultados de encuestas y entrevistas reflejaron una aceptación positiva tanto por parte de los usuarios como de sus cuidadores. La combinación de alertas auditivas, señales visuales y mensajería remota facilitó la comprensión de los recordatorios y redujo episodios de olvido o confusión, especialmente en usuarios con deterioro cognitivo leve [21]. Este efecto se tradujo en una mayor sensación de control y tranquilidad en torno al tratamiento, percepción que ha sido asociada con mejoras en la calidad de vida en estudios previos [22].

En términos tecnológicos, la integración con una plataforma IoT permitió registrar y visualizar los eventos de manera estructurada, habilitando un análisis longitudinal de la adherencia. Este enfoque no solo valida la viabilidad del sistema, sino que abre la posibilidad de evolucionar hacia soluciones más adaptativas y predictivas, alineadas con tendencias recientes en dispensadores inteligentes y monitoreo remoto [23].

#### REFERENCIAS

- [1] World Health Organization, "Ageing and health," WHO Fact Sheet, Geneva, Switzerland, 2021.
- [2] National Institute on Aging, "Taking medicines safely as you age," U.S. Department of Health and Human Services, Bethesda, MD, USA, 2018.
- [3] United Nations, World Population Ageing 2023, UN Department of Economic and Social Affairs, New York, NY, USA, 2023.
- [4] World Health Organization, Global Strategy and Action Plan on Ageing and Health, Geneva, Switzerland, 2022.
- [5] G. Onder, L. Petrovic, A. Tangiisuran, J. Garattini, and G. Bernabei, "Adherence to medication in older adults with cognitive impairment," *Drugs & Aging*, vol. 36, no. 2, pp. 89–98, 2019, doi: 10.1007/s40266-018-0617-6.
- [6] M. Sabaté, *Adherence to Long-Term Therapies: Evidence for Action*, Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2003.
- [7] Instituto Nacional de Geriatria, *Adherencia terapéutica en personas adultas mayores en México*, Ciudad de México, México, 2019.
- [8] S. Arnhold, M. Quade, and K. Kirchhof, "Assistive technologies for medication management in older adults," *Journal of Medical Systems*, vol. 44, no. 5, 2020, doi: 10.1007/s10916-020-01555-7.
- [9] J. Mira, L. Navarro, S. Botella, and M. Pérez-Jover, "Usability and acceptance of smart medication dispensers," *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 37, no. 4, pp. 321–334, 2021, doi: 10.1080/10447318.2020.1828235.
- [10] Espressif Systems, *ESP32 Technical Reference Manual*, Shanghai, China, 2022.
- [11] A. Al-Shaikhli, R. Al-Saeed, and N. Ahmad, "Time synchronization in embedded medical devices," *Sensors*, vol. 21, no. 14, 2021, doi: 10.3390/s21144759.
- [12] S. Aziz, M. Hussain, and R. Khan, "Smart pill dispensers for medication adherence: A review," *Healthcare Technology Letters*, vol. 7, no. 3, pp. 65–71, 2020, doi: 10.1049/htl.2019.0092.
- [13] J. Mira, M. Lorenzo, and M. Pérez-Jover, "Multimodal reminder systems for improving medication adherence," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 141, 2020, doi: 10.1016/j.ijmedinf.2020.104221.
- [14] MathWorks, *ThingSpeak™ for IoT Applications*, Natick, MA, USA, 2023.
- [15] R. Steele, S. Lo, and A. Secombe, "IoT-enabled medication adherence monitoring," *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 13, pp. 135–150, 2020, doi: 10.1109/RBME.2019.2956830.
- [16] J. Peek, S. Wouters, J. van Hoof, K. Luijkx, H. Boeije, and D. Vrijhoef, "Factors influencing acceptance of assistive technology for aging in place," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 83, no. 4, pp. 235–248, 2019, doi: 10.1016/j.ijmedinf.2014.01.005.
- [17] M. Bächler, A. Vogt, and T. Kistler, "Advanced medication adherence systems and security considerations," *Sensors*, vol. 21, no. 6, 2021, doi: 10.3390/s21062007.
- [18] ISO 62366-1, *Medical devices — Application of usability engineering to medical devices*, Geneva, Switzerland, 2019.
- [19] J. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 5th ed., Thousand Oaks, CA, USA: Sage Publications, 2018.
- [20] R. Steele, A. Secombe, and S. Lo, "Home-based monitoring technologies for medication adherence," *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 13, pp. 135–150, 2020, doi: 10.1109/RBME.2019.2956830.
- [21] M. Bächler, A. Vogt, and T. Kistler, "Medication adherence systems: Design challenges and solutions," *Sensors*, vol. 20, no. 19, 2020, doi: 10.3390/s20195212.
- [22] J. Mira, M. Pérez-Jover, L. Navarro, and F. Lorenzo, "Effectiveness of reminder systems in medication adherence," *Patient Preference and Adherence*, vol. 14, pp. 165–175, 2020, doi: 10.2147/PPA.S233768.
- [23] R. Steele and S. Lo, "Technology-supported medication adherence in older adults: A review," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 186–198, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2965634.

## Instrucciones para autores

La revista **CiencialCEST** solicita la presentación de artículos que reflejen el trabajo directo y específico de sus autores, redactados en tercera persona y de manera clara, accesible y didáctica. Los artículos de investigación deben caracterizarse por su originalidad y adherencia a rigurosos estándares científicos, señalando además el impacto científico, tecnológico o social del estudio realizado. **CiencialCEST** es una publicación periódica y multidisciplinaria editada cuatrimestralmente por el Instituto de Ciencias y Estudios Superiores de Tamaulipas A.C., a través de la Facultad de Ingeniería del campus Tampico 2000, que cuenta con revisión por pares y está dedicada a promover la difusión de conocimientos en diversas áreas de la ingeniería.

Dirigida a instituciones educativas y profesionales, académicos, profesionales y estudiantes en el área de ingenierías, **CiencialCEST** atiende a quienes buscan profundizar en aspectos teóricos y prácticos de diversas disciplinas ingenieriles. La revista es de acceso abierto y no impone costos de publicación; todos los artículos están disponibles al inicio de cada cuatrimestre para su lectura y descarga. El contenido es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja necesariamente el criterio de los árbitros ni del Editor. Se permite la reproducción de los artículos (excepto de las imágenes) siempre que se cite la fuente y se respeten los derechos de autor.

### En relación a los manuscritos

Los trabajos enviados a la revista **CiencialCEST** pasan inicialmente por una revisión técnica a cargo del editor de la revista. Según este dictamen, los artículos serán remitidos a revisión por pares conforme a la temática del estudio. Los manuscritos de artículos originales deben cumplir con ciertos requisitos:

**1. Formato:** Todo el documento debe estar en interlineado 1.5, con texto justificado, fuente Arial de 11 puntos, márgenes de al menos 2.5 cm en tamaño carta, y las páginas numeradas.

**2. Estructura:** Para evaluación, el manuscrito debe enviarse en formato Word, con tres secciones: primera página, manuscrito anónimo y cuadros y figuras

### 3. En relación a la primera página:

- Título principal del manuscrito en español e inglés.
- Nombre completo, DOI (**CiencialCEST** realiza el proceso de asignación).
- Información de contacto del autor responsable del manuscrito (correo electrónico, dirección completa preferentemente institucional y teléfono).

**4.** Para el manuscrito anónimo, se deberá incluir un resumen en español y otro en inglés, con un máximo de 300 palabras cada uno, donde deberá establecerse de manera clara el objetivo o propósitos de la investigación presentada. Al final de cada resumen, se deben agregar hasta 10 palabras clave en el idioma correspondiente. El texto principal debe organizarse en las secciones de Introducción, Metodología, Resultados, Conclusiones y Referencias.

**5.** Al cierre de la sección de Introducción se debe incluir un apartado de "Consideraciones éticas" que especifique los aspectos éticos aplicados en la investigación. Esto puede incluir detalles sobre la obtención del consentimiento informado, la aprobación por el comité de ética o de investigación de la institución

---

correspondiente, y la información proporcionada a los participantes sobre los objetivos del estudio. También debe aclararse si todos los participantes conocían la finalidad de la investigación y si su participación fue voluntaria. Este apartado es fundamental para asegurar el cumplimiento de los principios éticos en estudios de ingeniería.

**6.** Se recomienda que el aporte científico de la investigación sea expuesto de manera clara y concisa, destacando su relevancia en el área de estudio. Además, la metodología empleada debe describirse con precisión y transparencia, permitiendo la replicabilidad y validación de los resultados. La claridad en estos aspectos es fundamental para la revisión del artículo, ya que garantiza que los revisores y lectores comprendan tanto el valor del hallazgo como la solidez del enfoque metodológico, elementos esenciales en la evaluación de la calidad científica del trabajo.

**7.** CienciaICEST adopta el estilo IEEE, ampliamente utilizado en ingeniería y tecnología. Las citas deben numerarse secuencialmente según su aparición en el texto, usando números entre corchetes (ej., [1]), con cada número referido en una lista de referencias al final del artículo. Tablas e imágenes deben seguir el formato IEEE, numeradas en secuencia y con descripciones claras. Las tablas incluirán encabezados específicos y datos esenciales, mientras que las imágenes deberán tener resolución adecuada y etiquetas. Es responsabilidad del autor aplicar correctamente este formato en el manuscrito.

**8.** No se aceptarán protocolos de investigación, proyectos, propuestas o trabajos de carácter especulativo con base sólo en opiniones sin argumentos.

**9.** En el texto principal anónimo y en los archivos de tablas y figuras, los autores deben evitar cualquier información que los identifique, como nombres o datos institucionales en el título, resumen, método, instrumentos, etc. También deben asegurarse de que el nombre del archivo y encabezados o pies de página estén libres de identificadores personales o institucionales.

**10.** Incluir documento con tablas y figuras numeradas consecutivamente. Para asegurar la calidad de la publicación, los autores deberán observar estrictamente:

Formatos:

- Gráficas y fotos solo en JPG o PNG (mínimo 300 DPI).
- Tablas: Exclusivamente en Word editable.
- Prohibición: Se rechazará automáticamente cualquier material de apoyo que sea una "captura de pantalla" (screenshot) o que pierda nitidez al aplicarle zoom.

**11.** Asimismo, se debe incluir un documento firmado por todos los autores, en el que declaren su aceptación para ceder los derechos del manuscrito a la revista y confirmen que es original y no está publicado ni en revisión en otra revista.

**12.** Cada artículo podrá incluir hasta 6 autores, y para cada uno deberá presentarse una semblanza profesional en formato libre. Los manuscritos que no cumplan con el formato requerido serán devueltos a los autores para corrección y reenvío antes de ingresar al proceso de revisión. Los envíos deben dirigirse al editor, MCC. Hugo Ortiz González, al correo [editor\\_cienciasicest@icest.edu.mx](mailto:editor_cienciasicest@icest.edu.mx). Tras completar el proceso editorial, incluyendo la revisión por pares, los manuscritos aceptados se ajustarán al formato de la revista y serán enviados al autor correspondiente para la aprobación de la versión final.



**CIENCIAICEST**

Instituto de Ciencias y Estudios Superiores de Tamaulipas, A. C.