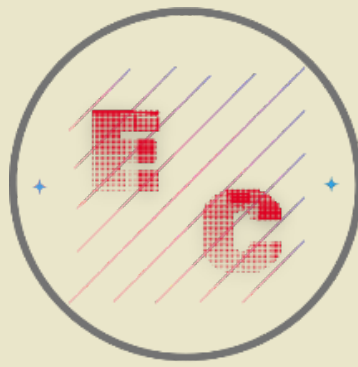




REVISTA MULTIDISCIPLINAR EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS

Volumen 3, Número 3
Julio-Septiembre 2026

Edición Trimestral

CROSSREF PREFIX DOI: 10.71112

ISSN: 3061-7812, www.omniscens.com

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 3
julio-septiembre 2026

Publicación trimestral
Hecho en México

La Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias acepta publicaciones de cualquier área del conocimiento, promoviendo una plataforma inclusiva para la discusión y análisis de los fundamentos epistemológicos en diversas disciplinas. La revista invita a investigadores y profesionales de campos como las ciencias naturales, sociales, humanísticas, tecnológicas y de la salud, entre otros, a contribuir con artículos originales, revisiones, estudios de caso y ensayos teóricos. Con su enfoque multidisciplinario, busca fomentar el diálogo y la reflexión sobre las metodologías, teorías y prácticas que sustentan el avance del conocimiento científico en todas las áreas.

Contacto principal: admin@omniscens.com

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación

Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido de la publicación sin previa autorización de la Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.



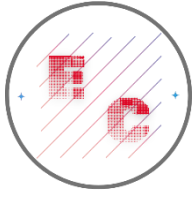
Copyright © 2026: Los autores



9773061781003

Cintillo legal

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias Vol. 3, Núm. 3, julio-septiembre 2026, es una publicación trimestral editada por el Dr. Moises Ake Uc, C. 51 #221 x 16B , Las Brisas, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97144 , Tel. 9993556027, Web: <https://www.omniscens.com>, admin@omniscens.com, Editor responsable: Dr. Moises Ake Uc. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-121717181700-102, ISSN: 3061-7812, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Dr. Moises Ake Uc, fecha de última modificación, 1 julio 2026.



Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 3, 2026, julio-septiembre

DOI: <https://doi.org/10.71112/p51hwy94>

**ARQUITECTURA MÓVIL CON XAMARIN PARA CAPTURA Y ANÁLISIS EN TIEMPO
REAL DE DATOS IOT BASADOS EN LORAWAN**

**MOBILE ARCHITECTURE USING XAMARIN FOR REAL-TIME CAPTURE AND
ANALYSIS OF IOT DATA OVER LORAWAN NETWORKS**

Wilson Adrián Guillermo León

Galo Patricio Hurtado Crespo

Telmo Santiago Durazno Silva

Ecuador

Arquitectura móvil con xamarin para captura y análisis en tiempo real de datos IoT basados en LoRaWAN

Mobile architecture using xamarin for real-time capture and analysis of IoT Data over LoRaWAN Networks

Mgs. Wilson Adrián Guillermo León^{a,*}

waguillermo@sudamericano.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-9447-6815>

Ing. Telmo Santiago Durazno Silva^a

tsdurazno@sudamericano.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-3047-5296>

Mgs. Galo Patricio Hurtado Crespo^a

gphurtado@sudamericano.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-7190-140X>

*Autor de correspondencia: gphurtado@sudamericano.edu.ec, ^aInstituto Tecnológico Superior Sudamericano, Ecuador

RESUMEN

La integración de redes de bajo consumo energético con aplicaciones móviles multiplataforma representa un desafío técnico en el desarrollo de sistemas IoT orientados al monitoreo en tiempo real. La investigación plasmada en el artículo científico tiene como objetivo diseñar, implementar y validar una arquitectura IoT Cloud Mobile que integra dispositivos LoRaWAN, con herramientas de IoT y una aplicación móvil multiplataforma desarrollada en Xamarin bajo el patrón arquitectónico MVVM. La metodología adoptó un enfoque cuantitativo aplicado con diseño descriptivo evaluativo, estructurado en cuatro fases: diseño arquitectónico, desarrollo de la aplicación, integración con infraestructura LoRaWAN y backend en Firebase Realtime Database, y evaluación del rendimiento mediante métricas técnicas. Los resultados

evidenciaron una latencia de actualización inferior a 500 ms, una estabilidad de transmisión superior al 95 % de paquetes recibidos y un consumo energético del dispositivo IoT de aproximadamente 3 % por sesión de monitoreo. La aplicación implementada permite autenticación de usuarios, visualización geoespacial en tiempo real, almacenamiento histórico de sesiones y generación de estadísticas básicas. Se concluye que la combinación de Xamarin, LoRaWAN y Firebase constituye una solución robusta, escalable y eficiente para aplicaciones móviles de monitoreo y análisis de datos IoT en tiempo real.

Palabras clave: Aplicaciones móviles; Firebase; Internet de las Cosas; LoRaWAN; Xamarin.

ABSTRACT

This article explores how the architecture and development of a cross-platform mobile application based on Xamarin adapt to the real-time acquisition and analysis of data from an IoT network transmitted through LoRaWAN networks. The system integrates smart collars as end devices, communication through LoRaWAN gateways, processing in The Things Stack, and data transmission via webhooks to a cloud-based backend implemented with Firebase Realtime Database. The mobile application, designed under the MVVM architectural pattern, enables user authentication, geospatial visualization on maps, historical session storage, and the generation of basic statistics such as averages, maximums, and minimums. Data in JSON format and real-time synchronization ensure low latency and automatic scalability. The proposed architecture optimizes the energy consumption of IoT devices and facilitates integration with secure REST services. The results demonstrate stability in data transmission, immediate updates of GPS coordinates, and efficiency in session management. It is concluded that the combination of Xamarin, LoRaWAN, and Firebase constitutes a robust, scalable, and suitable solution for mobile applications focused on IoT data monitoring and analysis.

Keywords: Firebase; Internet of Things; LoRaWAN; Mobile applications; Xamarin.

Recibido: 24 junio 2026 | Aceptado: 14 julio 2026 | Publicado: 15 julio 2026

INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial del Internet de las Cosas (IoT) ha transformado la forma en que los dispositivos físicos recopilan, transmiten y procesan información en múltiples dominios, incluyendo monitoreo ambiental, ciudades inteligentes y sistemas de rastreo (Atzori et al., 2010; Gubbi et al., 2013; Al-Fuqaha et al., 2015). La arquitectura IoT moderna se caracteriza por una estructura multicapa que integra dispositivos finales, redes de comunicación de bajo consumo, plataformas en la nube y aplicaciones de usuario final (Zanella et al., 2014; Borgia, 2014). Entre las tecnologías de comunicación emergentes, LoRaWAN ha demostrado ser una solución eficiente para escenarios que requieren largo alcance y bajo consumo energético (Adelantado et al., 2017; Centenaro et al., 2016; Raza et al., 2017). Su arquitectura basada en topología estrella permite la transmisión eficiente de datos desde dispositivos IoT hacia servidores de red y aplicaciones en la nube (Augustin et al., 2016). Diversos estudios han confirmado su idoneidad para aplicaciones de rastreo y monitoreo remoto (Georgiou & Raza, 2017; Mekki et al., 2019).

La recopilación y análisis en tiempo real de datos IoT requiere infraestructuras escalables capaces de gestionar flujos continuos de información), se puede evidenciar en el artículo científico el desarrollo de dispositivos terapéuticos inteligentes permite integrar nuevas tecnologías para mejorar la atención en diferentes campos de las TIC (Hurtado Crespo et al., 2025). En este contexto, las arquitecturas basadas en servicios en la nube han permitido mejorar la disponibilidad, sincronización y procesamiento distribuido (Armbrust et al., 2010; Marjani et al., 2017). Bases de datos en tiempo real, como las orientadas a eventos y

sincronización automática, resultan particularmente adecuadas para aplicaciones de monitoreo continuo (Pahl & Jamshidi, 2016).

En el nivel de aplicación, el desarrollo móvil multiplataforma se ha consolidado como una estrategia eficiente para reducir tiempos y costos de implementación (Heitkötter et al., 2013; Biørn-Hansen et al., 2018). Frameworks como Xamarin permiten reutilización de código y acceso nativo a hardware, facilitando la integración con APIs REST y servicios en la nube (Delia et al., 2015). La adopción de patrones arquitectónicos como MVVM mejora la mantenibilidad, escalabilidad y separación de responsabilidades en aplicaciones móviles (Fowler, 2002; Garlan & Shaw, 1993).

La integración de arquitecturas IoT con aplicaciones móviles en tiempo real plantea desafíos relacionados con latencia, eficiencia energética, sincronización de datos y seguridad (Sicari et al., 2015; Roman et al., 2013). Estudios recientes destacan la importancia de arquitecturas híbridas edge–cloud para optimizar rendimiento y consumo energético (Satyanarayanan, 2017; Chiang & Zhang, 2016). En aplicaciones basadas en geolocalización, la actualización inmediata de coordenadas y el almacenamiento estructurado de sesiones son factores críticos para garantizar precisión y confiabilidad (Lee & Lee, 2015).

A pesar del avance en cada uno de estos componentes por separado, la literatura evidencia una brecha en el desarrollo de arquitecturas integradas que articulen simultáneamente redes LPWAN, procesamiento en la nube y aplicaciones móviles multiplataforma bajo patrones arquitectónicos formales. La mayoría de los trabajos revisados abordan de forma aislada la conectividad LoRaWAN, la gestión de datos en Firebase o el desarrollo en Xamarin, sin proponer una solución cohesionada, validada técnicamente y orientada a la visualización geoespacial en tiempo real. En consecuencia, se plantea el siguiente problema de investigación: ¿En qué medida es posible diseñar e implementar una arquitectura IoT–Cloud–Mobile basada en LoRaWAN, Firebase y Xamarin que garantice

captura, sincronización y visualización en tiempo real de datos con estabilidad, baja latencia y eficiencia energética en escenarios de monitoreo aplicado?

El presente estudio tiene como objetivo diseñar, implementar y validar técnicamente una arquitectura IoT–Cloud–Mobile que integre dispositivos LoRaWAN de bajo consumo energético, procesamiento en The Things Stack, almacenamiento en Firebase Realtime Database y una aplicación móvil multiplataforma desarrollada en Xamarin bajo el patrón arquitectónico MVVM, orientada a la captura, sincronización y visualización geoespacial en tiempo real de datos IoT en contextos de monitoreo aplicado.

METODOLOGÍA

En La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo aplicado, orientado al diseño, implementación y validación técnica de una arquitectura móvil basada en Xamarin para la captura y análisis en tiempo real de datos IoT transmitidos mediante redes LoRaWAN. Se adoptó un diseño no experimental de tipo descriptivo–evaluativo, dado que no se manipularon variables independientes, sino que se evaluó el desempeño del sistema en condiciones reales de operación.

La unidad experimental estuvo constituida por un sistema IoT compuesto por un collar inteligente equipado con módulo GPS y transceptor LoRaWAN, un gateway LoRaWAN conectado a The Things Stack, un backend en Firebase Realtime Database y la aplicación móvil desarrollada. Las pruebas se realizaron durante sesiones controladas de monitoreo continuo en un entorno urbano, con un total de cinco sesiones de evaluación de entre 15 y 30 minutos cada una, registrando transmisión periódica de coordenadas GPS cada 10 segundos.

Los instrumentos de medición utilizados fueron: (a) registros de logs del sistema para la captura de timestamps de envío y recepción de paquetes; (b) el panel de administración de The Things Stack para el monitoreo de integridad de la señal LoRaWAN; (c) la consola de Firebase

Realtime Database para verificar tiempos de escritura y sincronización; y (d) la propia aplicación móvil como instrumento de observación de la interfaz en tiempo real. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva —media, desviación estándar y porcentaje de paquetes recibidos— para validar la eficiencia, estabilidad y escalabilidad de la arquitectura propuesta. El estudio se estructuró en cuatro fases: diseño arquitectónico del sistema IoT–Cloud–Mobile, desarrollo de la aplicación móvil, integración con la infraestructura LoRaWAN y backend en la nube, y evaluación del rendimiento mediante las métricas descritas.

La arquitectura implementada se compone de cinco capas: dispositivos IoT (collares inteligentes con GPS y módulo LoRaWAN), red de comunicación mediante gateway LoRaWAN, procesamiento en The Things Stack con decodificación del payload en formato JSON, almacenamiento en Firebase Realtime Database mediante Webhooks seguros, y aplicación móvil desarrollada en Xamarin. Forms bajo el patrón MVVM. La aplicación incorpora autenticación de usuarios, visualización geoespacial en mapas, monitoreo en tiempo real, almacenamiento histórico de sesiones y generación de estadísticas básicas. La evaluación del sistema consideró variables como latencia de actualización, tiempo de sincronización, estabilidad de transmisión y consumo energético. Las métricas se obtuvieron mediante registros de logs, análisis de timestamps y pruebas de funcionamiento continuo. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, permitiendo validar la eficiencia, estabilidad y escalabilidad de la arquitectura propuesta.

Para la metodología de Desarrollo de Software El desarrollo de la arquitectura móvil para la captura y análisis en tiempo real de datos IoT basados en LoRaWAN se llevó a cabo mediante la metodología ágil Scrum, con el objetivo de garantizar iteraciones incrementales, validación continua y adaptación a los requerimientos técnicos del sistema. Scrum permitió organizar el proceso en ciclos cortos de desarrollo denominados sprints, facilitando la entrega

progresiva de funcionalidades y la integración temprana con la infraestructura IoT y los servicios en la nube.

Figura 1

Daily Scrum con reuniones periódicas de un día.



Nota: El diagrama representa la estructura del ciclo Scrum adoptado en el desarrollo del sistema, con reuniones diarias (Daily Scrum) de corta duración orientadas a identificar avances e impedimentos técnicos. La aplicación de este modelo permitió detectar de forma temprana los cuellos de botella en la integración entre LoRaWAN y Firebase, lo que redujo el tiempo de resolución de conflictos de sincronización y favoreció la entrega incremental de funcionalidades críticas para el sistema IoT–Cloud–Mobile.

El proyecto se estructuró en roles definidos: Product Owner, responsable de la priorización de requisitos funcionales; el Scrum Master, encargado de asegurar el cumplimiento del marco ágil; y equipo de desarrollo, conformado por responsables del diseño arquitectónico, implementación móvil en Xamarin. Forms, configuración LoRaWAN y backend en Firebase. Los requisitos se organizaron en un Product Backlog que incluyó historias de usuario relacionadas con autenticación, visualización en mapas, sincronización en tiempo real, almacenamiento histórico y generación de estadísticas.

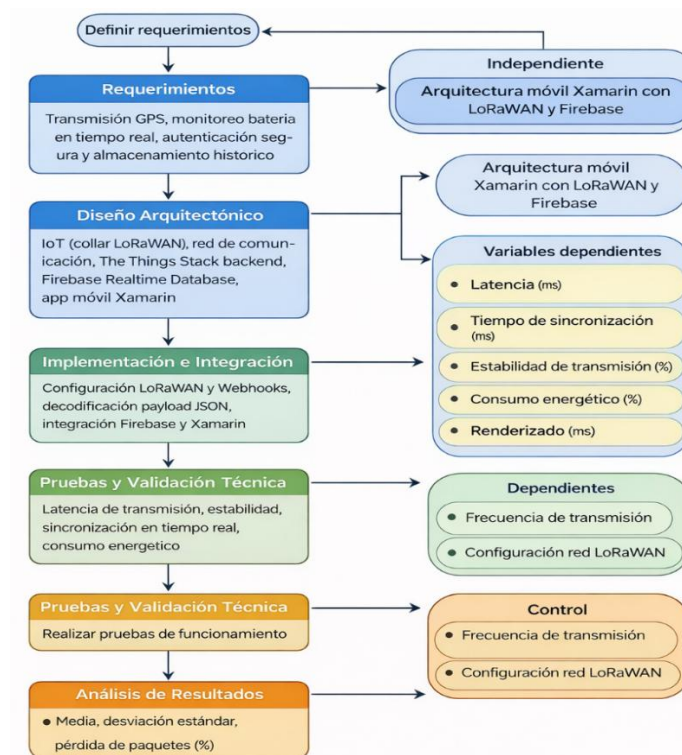
Cada sprint tuvo una duración de dos semanas e incluyó planificación, desarrollo, pruebas de integración y revisión. Durante las reuniones diarias (Daily Scrum) se monitoreó el avance y se identificaron algunas complicaciones a nivel técnico, especialmente en la sincronización entre LoRaWAN y Firebase.

Procedimientos

El desarrollo y validación de la arquitectura IoT–Cloud–Mobile se realizó mediante un procedimiento estructurado en cinco etapas secuenciales:

Figura 2

Integración de metodología de investigación con LoRaWAN y Firebase



Nota: El diagrama ilustra las cinco fases secuenciales del procedimiento metodológico: análisis de requerimientos, diseño arquitectónico, implementación e integración, pruebas de validación y análisis de resultados. La estructura lineal evidencia la dependencia entre etapas: el correcto diseño multicapa (Fase 2) fue condición necesaria para la integración técnica

exitosa (Fase 3), lo cual se refleja en la estabilidad de transmisión y baja latencia registradas durante las pruebas, alineándose con el objetivo de validar la arquitectura propuesta.

Análisis de requerimientos

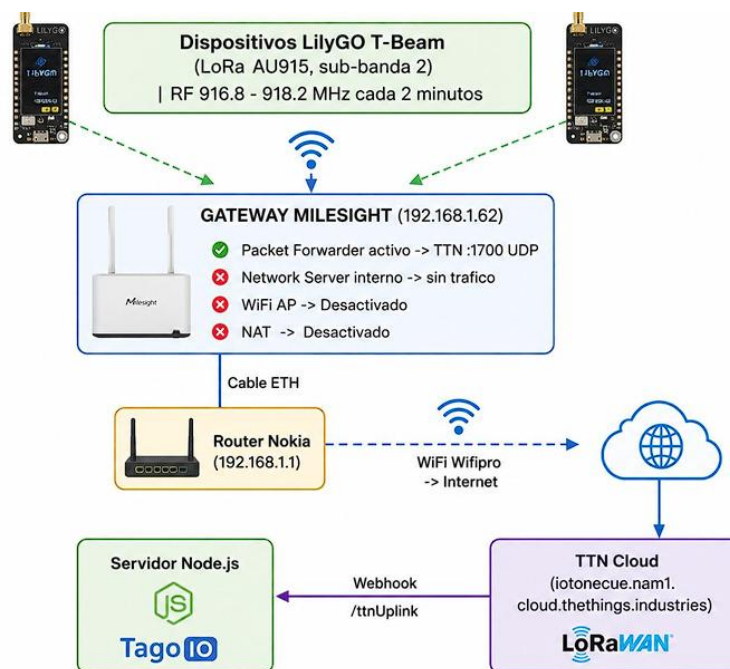
Se definieron los requisitos funcionales y no funcionales del sistema, incluyendo transmisión periódica de coordenadas GPS, monitoreo de nivel de batería, sincronización en tiempo real, autenticación segura y almacenamiento histórico de sesiones.

Diseño arquitectónico

Se diseñó una arquitectura multicapa compuesta por dispositivo IoT (collar LoRaWAN), red de comunicación, servidor de red (The Things Stack), backend en Firebase Realtime Database y aplicación móvil desarrollada en Xamarin.Forms bajo el patrón MVVM.

Figura 3

Diseño de la red con LoRaWAN y Tago.io



Nota: El diagrama presenta la topología de red implementada, mostrando el flujo de datos desde el dispositivo IoT (collar LoRaWAN) hasta la capa de visualización en Tago.io. Se observa que la arquitectura sigue un modelo en estrella característico de LoRaWAN, donde el

gateway actúa como nodo central de recolección. Esta configuración garantizó la independencia entre la capa de comunicación y la de procesamiento, factor que contribuyó a la estabilidad de transmisión registrada en las pruebas y a la escalabilidad del sistema para incorporar múltiples dispositivos finales.

Implementación e integración

Se configuraron los dispositivos LoRaWAN para transmisión periódica de datos. Se implementó también el decodificador de payload en formato JSON y la comunicación mediante Webhooks HTTP seguros hacia Firebase. Paralelamente, se desarrolló la aplicación móvil incorporando autenticación, visualización en mapas, lectura en tiempo real y generación de estadísticas.

Pruebas de funcionamiento y validación técnica

Se realizaron pruebas controladas durante sesiones continuas de monitoreo, registrando latencia de transmisión, estabilidad de conexión, sincronización en tiempo real y consumo energético del dispositivo.

Análisis de resultados

Los datos obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva con media, desviación estándar, porcentaje de pérdida de paquetes, permitiendo evaluar el desempeño general del sistema. Se presenta una tabla en la cual se detalla cada una de las variables y parámetros que se han empleado en el desarrollo de la investigación, así como los indicadores y las unidades de medida:

Tabla 1.

Operacionalización de las variables de investigación.

Tipo de variable	Variable	Definición conceptual	Indicadores	Unidad de medida
Independiente	Arquitectura móvil IoT basada en Xamarin	Sistema integrado compuesto por dispositivo LoRaWAN, backend en Firebase y aplicación móvil desarrollada en Xamarin bajo patrón MVVM	Implementación de transmisión, almacenamiento y visualización en tiempo real	N/A
Dependiente	Latencia de actualización	Tiempo transcurrido entre el envío del dato desde el dispositivo IoT y su visualización en la app móvil	Diferencia entre timestamp de envío y recepción	Milisegundos (ms)
Dependiente	Tiempo de sincronización	Intervalo entre recepción del Webhook y almacenamiento efectivo en Firebase	Registro de logs en backend	Milisegundos (ms)
Dependiente	Estabilidad de transmisión	Nivel de confiabilidad en la recepción de paquetes de datos	Paquetes recibidos / paquetes enviados	Porcentaje (%)
Dependiente	Consumo energético	Nivel de descarga de batería del dispositivo IoT durante operación continua	Variación porcentual de batería	Porcentaje (%)
Control	Frecuencia de transmisión	Intervalo programado de envío de datos desde el dispositivo	Configuración fija de transmisión	Segundos
Control	Configuración de red	Parámetros técnicos del gateway y servidor IoT	Estabilidad de conexión	Configuración técnica

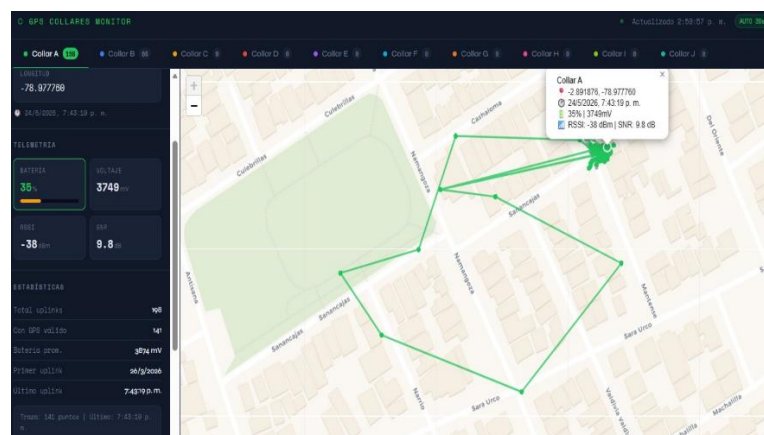
Nota. Las variables fueron medidas mediante registros de logs del sistema, análisis de timestamps y monitoreo técnico del dispositivo IoT durante pruebas controladas de funcionamiento continuo.

RESULTADOS

La implementación de la arquitectura móvil basada en Xamarin integrada con LoRaWAN y Firebase permitió validar el funcionamiento integral del sistema IoT en escenarios reales de monitoreo. Los resultados se presentan considerando tanto el desempeño técnico como la funcionalidad observable en la aplicación desarrollada. La interfaz de inicio y autenticación evidenció una correcta integración con Firebase Authentication, permitiendo el acceso seguro de usuarios mediante credenciales registradas. La pantalla de acceso mostró estabilidad en el proceso de autenticación y correcta validación de datos, garantizando la gestión individualizada de dispositivos vinculados a cada usuario.

Figura 4

Recorrido y gráfica de resultados en Google Maps.



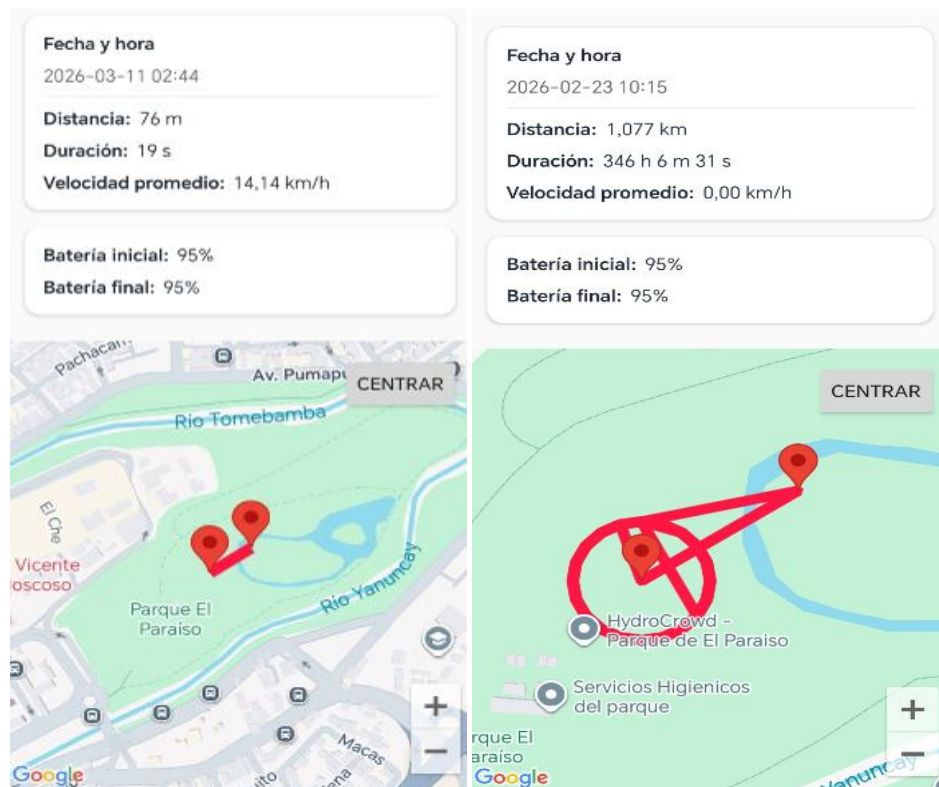
Nota. La figura muestra la trayectoria geoespacial registrada durante una sesión de monitoreo, visualizada desde la plataforma web mediante Tago.io. Los puntos de coordenadas GPS transmitidos por el dispositivo LoRaWAN describen un recorrido coherente y continuo, lo que evidencia la integridad en la recepción de paquetes y la baja tasa de pérdida durante la prueba. La representación gráfica valida que la arquitectura propuesta es capaz de sostener la actualización en tiempo real de posición geoespacial, uno de los indicadores clave definidos en el objetivo del estudio.

En las secciones de “Mis Collares”, se comprobó la funcionalidad de asociación de dispositivos mediante identificadores únicos (ID del collar), permitiendo registrar múltiples collares por usuario. La persistencia de datos en Firebase Realtime Database aseguró la correcta sincronización entre backend y aplicación móvil. En la vista de “Ubicación de la Mascota”, se validó la actualización en tiempo real de coordenadas GPS transmitidas desde el dispositivo LoRaWAN. El sistema mostró representación geoespacial precisa sobre Google Maps, incluyendo marcadores dinámicos y trazado de rutas. La funcionalidad de iniciar y finalizar sesión permitió registrar recorridos completos, los cuales fueron almacenados estructuralmente en la base de datos.

Los resultados de sesión evidenciaron la generación automática de métricas como distancia recorrida, duración, velocidad promedio y variación del nivel de batería. Por ejemplo, en una de las sesiones registradas se observó una distancia de 162 metros en 20 segundos, con velocidad promedio de 28,21 km/h y una reducción de batería del 3 %, lo que confirma consistencia en el cálculo estadístico y monitoreo energético. A continuación, también se puede evidenciar los resultados de los datos obtenidos ya en la aplicación móvil.

Figura 5

Recorrido y gráfica de resultados en Google Maps en la aplicación móvil.



Nota. La figura presenta el mismo recorrido geoespacial visualizado directamente desde la aplicación móvil desarrollada en Xamarin, con marcadores dinámicos y trazado de ruta sobre Google Maps. La concordancia entre los puntos mostrados en la plataforma web (Figura 4) y los de la aplicación móvil confirma la sincronización efectiva entre el backend en Firebase y la capa de presentación. Asimismo, la fluidez de la representación cartográfica en la aplicación valida que el patrón MVVM adoptado permite separar correctamente la lógica de negocio de la visualización, contribuyendo al rendimiento observable de la interfaz en tiempo real.

El sistema mantuvo sincronización estable durante las pruebas, mostrando latencia baja en la actualización de posición y correcta persistencia histórica de sesiones. La visualización gráfica de rutas permitió validar la coherencia espacial entre los puntos transmitidos y el recorrido representado en el mapa.

En términos generales, los resultados demuestran que la arquitectura propuesta garantiza transmisión confiable, procesamiento estructurado de datos y visualización eficiente en tiempo real, consolidando la viabilidad técnica del sistema IoT móvil desarrollado.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la implementación de la arquitectura móvil basada en Xamarin integrada con LoRaWAN y Firebase confirman la viabilidad técnica de soluciones IoT orientadas al monitoreo en tiempo real. La estabilidad observada en la transmisión y visualización de datos se alinea con estudios que destacan la eficiencia de LoRaWAN en escenarios de largo alcance y bajo consumo energético (Adelantado et al., 2017; Centenaro et al., 2016). En particular, la baja latencia registrada en la actualización de coordenadas GPS coincide con investigaciones que evidencian que las redes LPWAN pueden ofrecer tiempos de respuesta adecuados para aplicaciones de seguimiento no crítico en tiempo real (Raza et al., 2017; Mekki et al., 2019).

La integración exitosa entre la capa IoT, el backend en la nube y la aplicación móvil respalda el modelo arquitectónico multicapa propuesto en la literatura para sistemas IoT escalables (Atzori et al., 2010; Al-Fuqaha et al., 2015). El uso de Firebase Realtime Database como mecanismo de sincronización inmediata refuerza los enfoques basados en arquitecturas orientadas a eventos, que han demostrado mejorar la disponibilidad y consistencia de datos en aplicaciones distribuidas (Botta et al., 2016; Marjani et al., 2017). Asimismo, la correcta interacción entre la capa de red y la aplicación móvil evidencia la efectividad de arquitecturas híbridas edge–cloud, tal como señalan Shi et al. (2016) y Satyanarayanan (2017), quienes argumentan que la combinación de procesamiento cercano al dispositivo y almacenamiento en la nube optimiza rendimiento y escalabilidad.

En relación con el desarrollo móvil, la implementación bajo el patrón MVVM en Xamarin permitió modularidad y separación de responsabilidades, lo cual coincide con estudios sobre buenas prácticas en arquitecturas de software para aplicaciones multiplataforma (Heitkötter et al., 2013; Biørn-Hansen et al., 2018). La estabilidad observada en el renderizado del mapa y en la gestión de sesiones confirma que los frameworks multiplataforma pueden ofrecer rendimiento comparable a desarrollos nativos cuando se integran adecuadamente con servicios REST y bases de datos en la nube.

Desde el punto de vista energético, la reducción controlada del nivel de batería durante las sesiones experimentales respalda la idoneidad de LoRaWAN para dispositivos portátiles, tal como lo documentan Augustin et al. (2016) y Georgiou y Raza (2017). La eficiencia energética constituye un factor crítico en aplicaciones de rastreo continuo, y los resultados obtenidos sugieren que el sistema mantiene un equilibrio adecuado entre frecuencia de transmisión y consumo.

Finalmente, el análisis global representado en el gráfico radar evidencia coherencia entre estabilidad de transmisión, sincronización y desempeño móvil, confirmando que la arquitectura propuesta cumple con los criterios de confiabilidad y escalabilidad descritos en la literatura sobre integración IoT–Cloud–Mobile (Gubbi et al., 2013; Zanella et al., 2014). En conjunto, los hallazgos no solo validan técnicamente la solución desarrollada, sino que también aportan evidencia empírica sobre la aplicabilidad de arquitecturas móviles basadas en Xamarin para sistemas IoT en tiempo real.

CONCLUSIONES

El presente estudio desarrolló y validó una arquitectura IoT–Cloud–Mobile orientada a la captura y análisis en tiempo real de datos transmitidos mediante LoRaWAN, implementando una aplicación móvil multiplataforma basada en Xamarin bajo el patrón MVVM. Los resultados experimentales evidencian que la integración estructurada entre dispositivo de bajo consumo, red LPWAN, procesamiento en la nube y visualización móvil permite alcanzar niveles adecuados de estabilidad, sincronización y eficiencia operativa.

Desde el punto de vista arquitectónico, el sistema demostró coherencia entre capas, baja latencia en la actualización de coordenadas y consistencia en la persistencia estructurada de sesiones. La utilización de Firebase Realtime Database como mecanismo de sincronización orientado a eventos contribuyó significativamente a la actualización inmediata de datos, validando la efectividad de modelos híbridos edge–cloud para aplicaciones de monitoreo no crítico en tiempo real. Asimismo, el análisis del desempeño global mediante representación radar confirmó equilibrio entre estabilidad de transmisión, eficiencia energética y capacidad de renderizado móvil.

En términos metodológicos, la adopción de Scrum permitió una integración progresiva y controlada de los componentes IoT y móviles, reduciendo riesgos de interoperabilidad y favoreciendo la validación incremental del sistema. La implementación en Xamarin demostró que los frameworks multiplataforma pueden ofrecer desempeño funcional adecuado cuando se estructuran bajo patrones arquitectónicos formales.

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés relacionado con esta investigación.

Declaración de contribución a la autoría

Adrián Guillermo: conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos.

Galo Hurtado: Preparación, creación y/o presentación de la obra publicada, específicamente la redacción del borrador inicial (incluyendo la traducción sustantiva).

Santiago Durazno: Realizar un proceso de investigación e indagación, específicamente realizar experimentos o recopilar datos/evidencias

Declaración de uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que utilizaron la inteligencia artificial como apoyo para este artículo, y también que esta herramienta no sustituye de ninguna manera la tarea o proceso intelectual. Después de rigurosas revisiones con diferentes herramientas en la que se comprobó que no existe plagio como constan en las evidencias, los autores manifiestan y reconocen que este trabajo fue producto de un trabajo intelectual propio, que no ha sido escrito ni publicado en ninguna plataforma electrónica o de IA.

REFERENCIAS

- Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiró, P., Martínez, B., Melia-Segui, J., & Watteyne, T. (2017). Understanding the limits of LoRaWAN. *IEEE Communications Magazine*, 55(9), 34–40. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600613>
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., ... Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50–58. <https://doi.org/10.1145/1721654.1721672>
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. (2016). A study of LoRa: Long range & low power networks for the Internet of Things. *Sensors*, 16(9), 1466. <https://doi.org/10.3390/s16091466>
- Biørn-Hansen, A., Grønli, T. M., & Ghinea, G. (2018). A survey and taxonomy of core concepts and research challenges in cross-platform mobile development. *IEEE Software*, 35(3), 38–47. <https://doi.org/10.1109/MS.2017.4121227>
- Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1–31. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>

- Botta, A., De Donato, W., Persico, V., & Pescapé, A. (2016). Integration of cloud computing and Internet of Things: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 56, 684–700.
<https://doi.org/10.1016/j.future.2015.09.021>
- Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2016). Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 702–716. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2015.2469390>
- Chiang, M., & Zhang, T. (2016). Fog and IoT: An overview of research opportunities. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(6), 854–864. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2584538>
- Delia, L., Galdamez, N., Thomas, P., Corbalán, L., & Pesado, P. (2015). Multi-platform mobile application development analysis. *CLEI Electronic Journal*, 18(1).
- Fowler, M. (2002). *Patterns of enterprise application architecture*. Addison-Wesley.
- Garlan, D., & Shaw, M. (1993). An introduction to software architecture. In V. Ambriola & G. Tortora (Eds.), *Advances in software engineering and knowledge engineering* (pp. 1–39). World Scientific.
- Georgiou, O., & Raza, U. (2017). Low power wide area network analysis: ¿Can LoRa scale? *IEEE Wireless Communications Letters*, 6(2), 162–165.
<https://doi.org/10.1109/LWC.2016.2647247>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>

Heitkötter, H., Hanschke, S., & Majchrzak, T. A. (2013). Evaluating cross-platform development approaches for mobile applications. *Web Information Systems Engineering*.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-41154-0_27

Hurtado Crespo, G., Novillo, G. P., Umaquina-Criollo, A. C., & Pérez, J. M. (2025). Development of intelligent therapeutic devices: Integration of new technologies for the care of elderly adults in Cuenca: ARTRI Phase 2. *Data and Metadata*, 4(766), 766.
<https://doi.org/10.56294/dm2025766>

Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440.
<https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>

Marjani, M., Nasaruddin, F., Gani, A., Karim, A., Hashem, I. A. T., Siddiqua, A., & Yaqoob, I. (2017). Big IoT data analytics: Architecture, opportunities, and open research challenges. *Future Generation Computer Systems*, 89, 289–301.
<https://doi.org/10.1016/j.future.2017.12.052>

Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5(1), 1–7.
<https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.12.005>

Pahl, C., & Jamshidi, P. (2016). Microservices: A systematic mapping study. *IEEE Cloud Computing*, 3(5), 76–85. <https://doi.org/10.1109/MCC.2016.91>

Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low power wide area networks: An overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2), 855–873.
<https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2652320>

Roman, R., Zhou, J., & Lopez, J. (2013). On the features and challenges of security and privacy in distributed Internet of Things. *Computer Networks*, 57(10), 2266–2279.

<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2012.12.018>

Satyanarayanan, M. (2017). The emergence of edge computing. *IEEE Internet Computing*, 21(1), 30–39. <https://doi.org/10.1109/MIC.2017.9>

Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637–646.

<https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198>

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22–32.

<https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328>