

Propuesta de Sistema de Alerta Basado en Tecnología LoRaWAN para Optimizar la Respuesta de Emergencias por Violencia contra la Mujer e Integrantes del Grupo Familiar en Perú, 2025

1st Daleska Nicolle Fernández Villanueva
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas
Universidad Privada de Tacna
Tacna, Perú
ORCID: 0009-0008-6644-6052

2nd Alberto Johnatan Flor Rodríguez
Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas
Universidad Privada de Tacna
Tacna, Perú
ORCID: 0000-0002-6021-6570

Resumen—La violencia contra las mujeres en el Perú demanda mecanismos de respuesta más rápidos y eficientes. El sistema actual de Botón de Pánico presenta limitaciones críticas: dependencia de celulares con conectividad a internet y tiempos de respuesta prolongados. Este artículo presenta el diseño y análisis de viabilidad técnica de un sistema de alerta basado en tecnología LoRaWAN orientado a superar estas limitaciones. La propuesta consiste en un dispositivo físico autónomo con microcontrolador ESP32, transceptor LoRa y GPS, integrado con una arquitectura de cinco capas: gateway LoRaWAN, servidor The Things Stack, backend ASP.NET con Firebase, plataforma web para operadores y aplicación móvil para patrullas. El análisis técnico proyecta una cobertura de 3-10 km, latencia inferior a 20 segundos y costo de implementación de 6,260 USD para un piloto de 100 dispositivos en Tacna. Esta propuesta representa una alternativa viable para mejorar la protección de víctimas en zonas con conectividad limitada.

Palabras clave—LoRaWAN, sistema de alerta, violencia de género, IoT, dispositivo autónomo, geolocalización, ASP.NET, tiempo de respuesta.

Abstract—Violence against women in Peru demands faster and more efficient response mechanisms. The current "Panic Button" system presents critical limitations: dependence on mobile phones with internet connectivity and prolonged response times. This article presents the design and technical feasibility analysis of an alert system based on LoRaWAN technology aimed at overcoming these limitations. The proposal consists of an autonomous physical device with ESP32 microcontroller, LoRa transceiver and GPS, integrated with a five-layer architecture: LoRaWAN gateway, The Things Stack server, ASP.NET backend with Firebase, web platform for operators and mobile application for patrols. The technical analysis projects coverage of 3-10 km, latency under 20 seconds and implementation cost of 6,260 USD for a pilot of 100 devices in Tacna. This proposal represents a viable alternative to improve the protection of victims in areas with limited connectivity.

Index Terms—LoRaWAN, alert system, gender violence, IoT, autonomous device, geolocation, ASP.NET, response time.

I. INTRODUCCIÓN

Según el INEI-ENDES 2024, el 52 % de las mujeres peruanas de 15 a 49 años que alguna vez estuvieron unidas han sufrido algún tipo de violencia por parte de su esposo o compañero. En detalle, el 48.4 % experimentó violencia

psicológica y/o verbal, el 25.5 % física y el 5.6 % sexual [1]. En 2024 se registraron 162 casos con características de feminicidio, y entre enero y julio de 2025 la cifra ya ascendía a 90 casos [3]. Específicamente en Tacna, el 39.7 % de las mujeres de 15 a 49 años que alguna vez estuvieron unidas reportaron haber sufrido violencia psicológica y/o verbal por parte de su pareja o compañero. Durante julio a septiembre de 2024, la Policía Nacional del Perú (PNP) registró 680 denuncias por violencia familiar y 92 por violencia sexual en la (INEI, 2024). [6]

I-A. Problemática del Sistema Actual

El Poder Judicial implementó el Servicio Judicial de Alerta Botón de Pánico mediante Directiva 024-2022-CE-PJ [4], operando mediante aplicación móvil. Este sistema presenta cuatro limitaciones críticas que comprometen su efectividad en contextos rurales.

Primero, dependencia de smartphone con conectividad de datos activa. Aunque el 80.1 % de hogares rurales declara acceso a internet fijo o móvil al cierre de 2023 [8], el 52.7 % de la población rural carece de cobertura celular efectiva [9]. Esta contradicción aparente se explica porque los hogares poseen dispositivos y planes contratados, pero no cuentan con estaciones base celulares en sus localidades. Existen 76,813 centros poblados sin servicio móvil que albergan a 3.28 millones de peruanos, representando el 11.01 % de la población nacional [10].

Segundo, requerimiento obligatorio de conectividad para geolocalización precisa en tiempo real. La infraestructura móvil en zonas rurales es extremadamente limitada, con apenas 230 localidades rurales beneficiadas con despliegue 4G hasta julio de 2024 [11], alcanzando a aproximadamente 51,000 ciudadanos de un universo de 3.28 millones sin cobertura. Sin conectividad activa, la aplicación del botón de pánico resulta completamente inoperativa para la activación de alertas y envío de coordenadas GPS.

Tercero, autonomía limitada de batería del smartphone, agravada por la ausencia de energía eléctrica en el 64 % de los centros poblados sin servicio móvil [10], equivalente a 48,891 localidades con 692,365 habitantes sin electricidad. Esta carencia se agudiza particularmente en Arequipa, Moquegua, Tacna y Ayacucho [10], impidiendo la recarga continua de dispositivos móviles.

Cuarto, latencia de respuesta incrementada por procesos manuales de verificación telefónica y despacho policial, que se ve amplificada por la falta de infraestructura de comunicaciones bidireccionales en localidades rurales alejadas.

I-B. Propuesta de Solución

El sistema eliminara estas dependencias mediante tres innovaciones. Primero, dispositivo físico autónomo dedicado exclusivamente a transmitir alertas, sin requerir celulares ni conexión a internet. Utiliza tecnología LoRaWAN con transmisión de datos en formato binario (representados en hexadecimal para su gestión). Segundo, infraestructura de comunicaciones LoRaWAN independiente con gateways que captan señales en radio de al menos 10 km. The Things Stack gestiona automáticamente la seguridad mediante encriptación AES-128, eliminando necesidad de implementar protocolos de cifrado personalizados que implicarían mayor trabajo de desarrollo. Tercero, sistema de despacho completamente automatizado que identifica la patrulla más cercana y distribuye información en tiempo real.

I-C. Objetivos

El objetivo general es diseñar y evaluar la viabilidad técnica y económica de un sistema de alerta basado en LoRaWAN para reducir el tiempo de respuesta en casos de violencia contra la mujer, con enfoque en Tacna, Perú.

Los objetivos específicos son:

- Diseñar la arquitectura hardware de un dispositivo autónomo con latencia proyectada inferior a 2 segundos y autonomía estimada de 30 días.
- Proponer una arquitectura *end-to-end* que integre LoRaWAN, The Things Stack, backend ASP.NET y Firebase.
- Diseñar interfaces conceptuales (web y móvil) para la gestión de alertas en tiempo real.
- Realizar un análisis teórico de viabilidad técnica mediante modelos de propagación de radiofrecuencia y cálculos de consumo energético.
- Estimar la viabilidad económica para una implementación piloto en Tacna.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

II-A. Sistema de Botón de Pánico en el Perú

El Poder Judicial del Perú implementó el Servicio Judicial de Alerta “Botón de Pánico” mediante la Directiva N.º 024-2022-CE-PJ (versión 1) [4]. Esa normativa estableció los lineamientos iniciales para proteger a víctimas de violencia familiar con medidas judiciales, permitiendo que mediante una aplicación móvil se envíe su ubicación geográfica en tiempo real a la central de monitoreo para coordinar con la

Policía Nacional del Perú atención inmediata. En 2025, el Poder Judicial aprobó una nueva versión de esta directiva —la versión 2— a través de la Resolución Administrativa N.º 000134-2025-CE-PJ, con el propósito de actualizar y optimizar el funcionamiento del sistema de alerta [5].

II-B. Sistemas de Alerta Internacionales

En Argentina, la implementación de dispositivos de alerta como el Botón Antipánico es una medida esencial para la protección de personas en situaciones de violencia. En la provincia de Neuquén, por ejemplo, se gestionó la adquisición urgente de 298 dispositivos de Alerta Geo-referenciado de localización inmediata. Esta acción se enmarca en la Ley de Régimen de Protección Integral para Prevenir, Sancionar y Erradicar la Violencia Familiar 2785, y la Ley de Protección Integral para Prevenir, Sancionar y Erradicar la Violencia Contra las Mujeres 2786. [7].

II-C. Diferenciación de la Propuesta

A diferencia de los sistemas previos, la propuesta presentada en este trabajo aborda el contexto específico de la violencia de género en el Perú mediante una arquitectura integral *end-to-end* que conecta el dispositivo físico autónomo, los gateways LoRaWAN, el servidor de red The Things Stack, y un backend desarrollado en entorno ASP.NET con base de datos en tiempo real. Además, la solución contempla la vinculación con órdenes de protección judicial y una interfaz web para operadores locales, priorizando la reducción del tiempo de respuesta y la independencia de la conectividad móvil convencional.

III. MARCO TEÓRICO

III-A. Tecnología LoRaWAN

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) es una tecnología de comunicación inalámbrica de baja potencia y largo alcance (LPWAN) que se presenta como una solución idónea para sistemas de alerta de emergencia, especialmente en áreas donde la cobertura celular es limitada o inexistente [13], [16]. A diferencia de las redes móviles tradicionales, LoRaWAN opera con un consumo energético muy bajo, lo que permite que los dispositivos funcionen de forma autónoma durante períodos prolongados [14], [16].

La arquitectura de red LoRaWAN se basa en una topología estrella de estrellas, donde los dispositivos finales se comunican con puertas de enlace (gateways), que a su vez se conectan a un servidor de red [16]. Esta estructura facilita la recopilación y el enrutamiento de datos. Para proteger la información, LoRaWAN emplea encriptación AES de 128 bits en múltiples niveles, desde los sensores hasta el servidor de aplicaciones, garantizando la confidencialidad de los datos [16].

III-B. The Things Stack

The Things Stack es plataforma de código abierto implementando servidor de red LoRaWAN [12]. Proporciona gestión de dispositivos, webhooks HTTP para reenvío de datos,

payload formatters JavaScript para decodificar hexadecimal a JSON, y downlink queue.

The Things Stack actúa como intermediario entre gateways y backend. La conexión directa requeriría implementar protocolos de seguridad complejos y cifrado personalizado. The Things Stack maneja automáticamente estos aspectos, deduplicación de paquetes y enrutamiento, siendo más seguro y requiriendo menos trabajo de desarrollo [16].

IV. METODOLOGÍA

IV-A. Diseño de la Investigación

El proyecto sigue una metodología de desarrollo tecnológico con enfoque experimental, aplicada mediante un ciclo iterativo: recopilación de información, diseño de arquitectura, implementación, pruebas de validación y análisis de resultados.

IV-B. Arquitectura del Sistema

El sistema implementa arquitectura de cinco capas desde dispositivo hasta interfaces.

IV-B1. Capa de Dispositivo Hardware: El dispositivo estará basado en el LilyGO TTGO T3 V1.6.1, que integra un microcontrolador ESP32 con transceptor LoRa SX1276 operando a 915 MHz. El procesador es dual-core Xtensa de 32 bits a 240 MHz, con 520 KB de SRAM.

Cuenta con módulo GPS NEO-6M con precisión de 2.5 m y tiempo de adquisición en cold start de 27 segundos, consumiendo 45 mA y pudiendo apagarse para ahorro de energía.

La batería es LiPo 3.7V 2000 mAh con protección y controlador TP4056, recargable vía puerto micro-USB, ofreciendo autonomía superior a 30 días en modo standby.

Incluye LEDs RGB para señalización: rojo durante el envío de datos, verde cuando la ayuda ha sido confirmada y ámbar para batería baja. El botón de pánico tiene debouncing hardware y activación mediante presión de 3 segundos, previniendo disparos accidentales.

La carcasa es de ABS de 80x50x25 mm con protección IP54. Cada dispositivo tiene un costo aproximado de 31 USD.

IV-B2. Capa de Comunicaciones: Se utilizarán gateways RAK7248 o equivalentes, con un costo aproximado de 300 USD cada uno. Cada gateway cubre entre 3 y 5 km en áreas urbanas, pudiendo alcanzar hasta 10 km en condiciones óptimas. Para cubrir la ciudad de Tacna se requerirían entre 7 y 9 gateways aproximadamente, preferentemente ubicados en edificios gubernamentales. Es fundamental que los gateways soporten el protocolo LoRaWAN y puedan integrarse con The Things Stack para la gestión de datos y alertas.

La configuración LoRa de los dispositivos es la siguiente: Spreading Factor (SF) SF7-SF12 adaptativo, Bandwidth 125 kHz y Coding Rate 4/5. Durante pruebas se utilizó SF10, resultando en un tiempo en aire aproximado de 370 milisegundos para un payload de 20 bytes.

Para la gestión de la red se utilizará The Things Stack, que implementa LoRaWAN 1.0.4 con cifrado AES-128, y permite la decodificación de los datos recibidos, la gestión de downlinks y la integración con aplicaciones backend mediante webhooks.

IV-B3. Capa de Procesamiento Backend: El backend del sistema se implementará utilizando **ASP.NET Core (C#)** siguiendo los principios de **Clean Architecture**, lo que permitirá mantener una clara separación de responsabilidades y facilitar el mantenimiento del código.

La capa de API expone un endpoint HTTPS protegido mediante API Key para recibir webhooks desde The Things Stack. Cuando se reciba un uplink LoRaWAN, el sistema extraerá automáticamente el Device ID, coordenadas GPS y nivel de batería, consultando posteriormente Firebase/Firestore para obtener el perfil completo del usuario asociado al dispositivo.

El gestor de alertas difundirá cada emergencia a dashboard de control web y a todas las patrullas disponibles en tiempo real. Cuando una patrulla acepte la alerta, esta desaparecerá automáticamente del listado de las demás unidades, quedando visible únicamente para la patrulla asignada. El sistema controlará el ciclo de vida de cada alerta mediante los estados: PENDIENTE, ASIGNADA, EN RUTA, EN SITIO y RESUELTA, registrando timestamp y ubicación GPS en cada transición.

La comunicación en tiempo real se implementará mediante SignalR, permitiendo notificaciones push instantáneas hacia las aplicación web y móviles. Adicionalmente, el backend enviará comandos downlink a través de The Things Stack para activar indicadores LED en los dispositivos IoT, confirmando a la víctima que su alerta fue recibida.

IV-B4. Capa de Datos: Firebase Firestore NoSQL en tiempo real. Colecciones: dispositivos (Device ID, claves, víctima vinculada), víctimas (datos, orden de protección, contactos), alertas (historial con timestamps, ubicación, estado, patrulla), patrullas (ID, placa, ubicación cada 15 segundos, estado), usuarios (credenciales operadores/administradores). Firebase Authentication con JWT tokens.

IV-B5. Capa de Presentación: Dashboard Web React.js con Material-UI. Registro de dispositivos vinculados a víctimas con orden de protección. Mapa Leaflet con marcadores de alertas y patrullas actualizadas cada 15 segundos. Tabla de alertas con filtros. Panel con notificaciones sonoras. Gestión de usuarios con roles.

App Móvil desarrollada en Flutter (Dart) Android/iOS. Envío automático de ubicación GPS cada 15 segundos. Notificaciones push de alertas con vibración, sonido y datos de víctima. Mapa con marcador de alerta y ruta. Botón TOMAR ALERTA que asigna exclusivamente y oculta en otras apps. Actualización de estado. Botón RESOLVER ALERTA.

IV-C. Flujo Operativo del Sistema

El flujo operativo del sistema propuesto se ilustra en la Figura 1 y se describe a continuación:

Activación: Víctima presiona botón 3 segundos. Microcontrolador despierta de deep sleep, activa LED rojo.

Adquisición: Firmware enciende GPS (máximo 10 segundos), lee batería, construye payload 20 bytes: Device ID (8), latitud (4), longitud (4), batería (1), timestamp (3).

Transmisión: El dispositivo construye el payload binario y lo transmite mediante LoRaWAN con Spreading Factor SF10,

resultando en un tiempo en aire aproximado de 370 ms. El dispositivo espera confirmación (ACK) con hasta 3 reintentos.

Recepción: Gateways captan señal (hasta 10 km), agregan metadatos (RSSI, SNR), reenvían a The Things Stack.

Procesamiento TTS: Elimina duplicados, verifica integridad con NwkSKey/AppSKey, decodifica con formatter JavaScript, envía JSON a webhook.

Backend: Recibe webhook, valida API key, extrae Device ID, consulta Firebase perfil víctima, calcula distancias Haversine, crea alerta PENDIENTE, almacena Firebase.

Distribución: Backend emite WebSocket a dashboard web y apps móviles de 3 patrullas cercanas.

Asignación y Monitoreo: En el dashboard web, los operadores del centro de control visualizan las alertas entrantes, junto con la ubicación de las víctimas y patrullas en tiempo real. Cada patrulla recibe la notificación de alerta en su aplicación móvil; la primera que presiona TOMAR ALERTA envía la confirmación al backend, que actualiza el estado a ASIGNADA, sincroniza Firebase y oculta la alerta en los demás dispositivos. El dashboard refleja de inmediato la asignación, manteniendo visible el seguimiento de la patrulla seleccionada.

Retroalimentación: Backend envía downlink a TTS para activar LED verde. Dispositivo recibe en siguiente ventana (máximo 9 segundos), enciende LED verde.

Navegación y Seguimiento: La aplicación móvil de la patrulla muestra la ruta hacia la ubicación de la víctima y actualiza su posición cada 15 segundos, información que el dashboard web utiliza para monitorear el avance de la unidad en tiempo real.

Resolución: Patrullero presiona RESOLVER ALERTA, estado RESUELTA, archiva en histórico.

V. PROYECCIÓN DE RENDIMIENTO Y FACTIBILIDAD

V-A. Visión General

El presente proyecto se encuentra en etapa de diseño, simulación y validación conceptual, por lo que los resultados aquí descritos corresponden a proyecciones técnicas y estimaciones fundamentadas en parámetros teóricos y experiencias previas documentadas en la literatura. Los resultados esperados buscan demostrar la factibilidad técnica, económica y operativa de implementar un sistema de alerta basado en LoRaWAN orientado a la atención inmediata de casos de violencia contra la mujer e integrantes del grupo familiar.

V-B. Proyección de Funcionamiento del Sistema

Se espera que el sistema propuesto logre una comunicación eficiente y estable entre los dispositivos de alerta, los gateways LoRaWAN, el servidor de red (The Things Stack), el backend de procesamiento y las interfaces finales. El flujo operativo está diseñado para garantizar que, ante la activación del botón físico, el proceso completo —desde la emisión de la señal hasta la recepción de la alerta en el panel del operador— se ejecute de manera automática y en tiempo mínimo, eliminando procesos manuales o dependencias de conectividad celular.

El sistema se proyecta como una solución modular, escalable y de bajo consumo, capaz de operar de forma continua

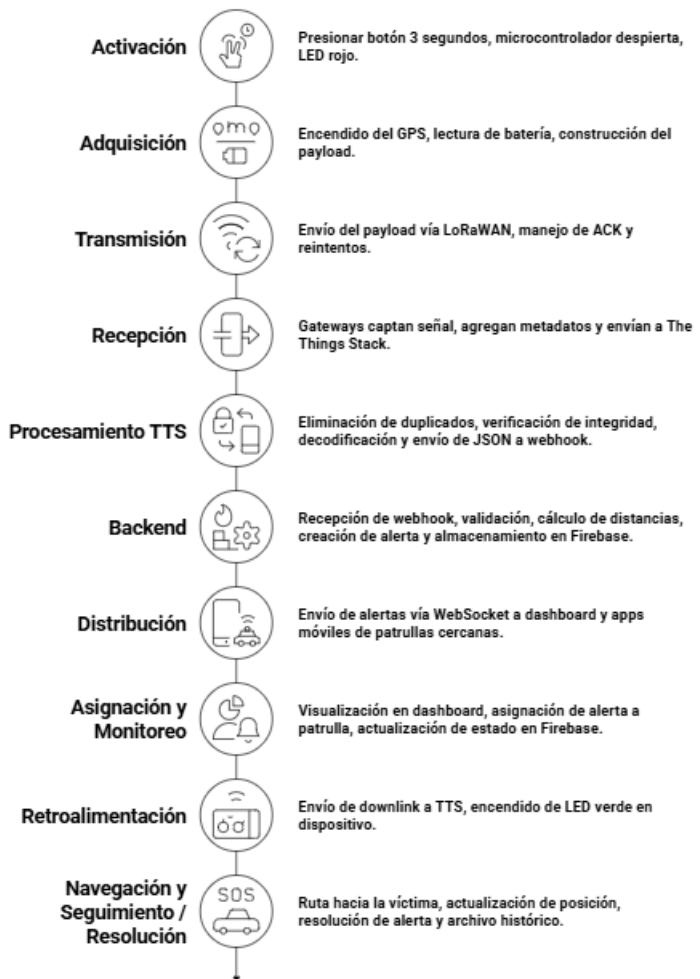


Figura 1. Flujo operativo del sistema de alerta basado en tecnología LoRaWAN.

en contextos urbanos y rurales. La arquitectura distribuida permitirá mantener alta disponibilidad del servicio incluso ante fallas de red o interrupciones eléctricas locales.

V-C. Cobertura y Alcance Estimado

A partir de modelos teóricos de propagación de radiofrecuencia en la banda de 915 MHz y el uso de factores de expansión (SF) adaptativos, se estima que la cobertura efectiva del sistema será de entre 3 y 5 km en zonas urbanas densas y hasta 9–10 km en zonas abiertas con línea de vista. Estas distancias permitirían cubrir completamente el área urbana centrado por ahora en Tacna con entre seis y ocho gateways estratégicamente ubicados.

El modelo de cobertura proyectado considera posibles pérdidas por interferencias, obstáculos físicos y condiciones atmosféricas, garantizando una tasa de éxito de transmisión adecuada para alertas eventuales, cuyo tráfico de red es mínimo pero de máxima prioridad.

V-D. Rendimiento y Latencia Estimada

Se espera que el tiempo total de comunicación —desde la activación del botón hasta la visualización de la alerta en la plataforma de monitoreo— no supere los 20 segundos bajo condiciones óptimas de enlace. Este cálculo considera los retardos típicos de transmisión LoRaWAN, procesamiento en The Things Stack, envío del webhook al backend y actualización de los clientes web y móviles.

En comparación con los sistemas actuales basados en aplicaciones móviles, cuya latencia promedio oscila minutos y no segundos, esta reducción proyectada representaría una mejora potencial superior en tiempo de respuesta institucional, fortaleciendo la capacidad de reacción ante emergencias.

V-E. Autonomía Energética y Operatividad Continua

El análisis teórico de consumo energético, basado en los parámetros de operación del microcontrolador ESP32 y el transceptor LoRa SX1276, sugiere una autonomía estimada de 30 a 40 días en modo de operación normal, con eventos de activación esporádicos y transmisión de datos periódica para mantenimiento del enlace.

Este resultado se lograría mediante estrategias de ahorro energético, como el uso de modos de suspensión profunda (deep sleep), activación condicional del GPS solo durante eventos de alerta y optimización del tiempo en aire de las transmisiones LoRa. Tales características permitirían al dispositivo operar sin recarga frecuente, asegurando su disponibilidad permanente para las víctimas.

V-F. Viabilidad Económica Proyectada

Se proyecta que el costo de fabricación de cada dispositivo TTGO T-Beam, utilizando componentes de mercado (ESP32, módulo LoRa SX1276, GPS NEO-6M y batería recargable), es de aproximadamente 31 USD. La infraestructura de red basada en gateways LoRaWAN (RAK7248) representa un costo de 350 USD por unidad, y se estima que para cubrir la ciudad de Tacna se requieren entre 7 y 9 gateways. The Things Stack (TTS) Community Edition es gratuito para hasta 10 gateways.

Tabla I
VIABILIDAD ECONÓMICA PROYECTADA PARA TACNA

| Componente | Costo Total (USD) |
|-------------------------------|-------------------|
| TTGO T-Beam (100 unidades) | 3,100 |
| Gateway RAK7248 (8 unidades) | 2,800 |
| TTS Community Edition (1 mes) | 360 |
| Total Estimado | 6,260 |

Nota: Se considera una implementación piloto con 100 dispositivos y 8 gateways, lo que permite cubrir adecuadamente la ciudad de Tacna. El TTS Community Edition permite gestionar esta cantidad de gateways sin costo adicional. Esta configuración ofrece una alternativa económicamente sostenible frente a sistemas comerciales de mayor costo o dependientes de redes móviles.

V-G. Proyección de Impacto Social y Operativo

Se espera que la implementación del sistema reduzca significativamente el tiempo de respuesta ante emergencias, permitiendo una actuación policial más rápida y eficiente. Al

eliminar la necesidad de un celulares y conexión a internet, el dispositivo se vuelve accesible para víctimas en zonas rurales o de bajos recursos, aumentando la cobertura de atención del Estado.

Asimismo, el sistema generará un registro digital trazable de cada evento, lo que facilitará auditorías, análisis de patrones de emergencia y planificación de políticas públicas basadas en evidencia.

V-H. Validación Futura

Durante la siguiente fase del proyecto (2026 - 2027), se contempla la construcción del prototipo funcional, la instalación de gateways en puntos estratégicos de Tacna y la ejecución de pruebas de campo para validar las métricas teóricas de latencia, cobertura y autonomía. Estas pruebas permitirán ajustar parámetros físicos y confirmar las proyecciones presentadas en esta etapa.

V-I. Síntesis de Resultados Esperados

En resumen, se esperan los siguientes resultados del sistema una vez implementado:

- Reducción estimada del tiempo de respuesta institucional.
- Autonomía energética superior a 30 días sin recarga.
- Cobertura urbana completa con mínimo número de gateways.
- Comunicación confiable con latencia menor a 20 segundos en entorno controlado.
- Accesibilidad tecnológica para víctimas sin dependencia de celulares ni conectividad a internet.

Estos resultados esperados constituyen una base sólida para la posterior validación experimental y representan un avance relevante en el uso de tecnologías IoT para la protección de derechos humanos y la prevención de violencia de género en contextos de recursos limitados.

VI. DISCUSIÓN

VI-A. Ventajas del Sistema Propuesto

El sistema elimina las dependencias críticas del Botón de Pánico actual. La independencia de celulares y conectividad de datos es fundamental para víctimas en situación de vulnerabilidad económica o ubicadas en zonas rurales con cobertura limitada. El dispositivo físico dedicado con un único propósito (enviar alerta) resulta más confiable que aplicaciones móviles complejas susceptibles a fallos de software, batería agotada o incompatibilidades de versión.

La tecnología LoRaWAN demuestra ser apropiada para este escenario de uso con transmisiones infrecuentes (idealmente nunca activadas) pero críticas cuando ocurren.

El uso de The Things Stack como intermediario simplifica significativamente el desarrollo al manejar automáticamente aspectos complejos de seguridad, deduplicación y enrutamiento. Implementar conexión directa del gateway al backend requeriría aplicar protocolos de seguridad adicionales, cifrado personalizado y varios pasos de desarrollo, haciendo el sistema menos seguro y más costoso en tiempo de desarrollo.

VI-B. Limitaciones y Trabajo Futuro

La miniaturización del prototipo actual es necesaria para adopción masiva. El diseño considera manufactura por inyección de plástico y mayor integración de componentes para reducir tamaño a dispositivo tipo llavero portable y discreto.

La validación se realizaría primeramente en la ciudad de Tacna. Se requieren pruebas adicionales en zonas rurales con diferentes condiciones de propagación, interiores de edificios y presencia de obstáculos naturales para evaluar cobertura real en diversos escenarios.

El sistema actual vincula dispositivos a víctimas con orden de protección. Trabajo futuro incluye integración directa con sistema judicial para verificación automática de vigencia de órdenes y actualización de estados legales.

La escalabilidad a nivel nacional requiere planificación de despliegue de gateways. Se propone modelo progresivo iniciando en capitales provinciales con mayor incidencia de casos, aprovechando edificios gubernamentales existentes para ubicación de gateways.

VI-C. Impacto Social y Ético

El sistema maneja datos personales sensibles (ubicación, identidad de víctimas) requiriendo estricto cumplimiento de normativa de protección de datos. La encriptación AES-128 de LoRaWAN y Firebase Authentication proporcionan seguridad robusta. Se requiere además políticas claras de acceso a información, auditoría de consultas y consentimiento informado de víctimas.

La implementación debe considerar realidad territorial y cultural. En zonas rurales con población indígena, se requiere adaptación de interfaces con idiomas locales y capacitación específica para operadores familiarizados con contexto cultural.

El sistema no reemplaza sino complementa protocolos existentes de atención. La tecnología facilita respuesta rápida pero requiere personal capacitado, protocolos claros de intervención y coordinación efectiva entre instituciones (Poder Judicial, Policía Nacional).

VII. CONCLUSIONES

El presente trabajo propone un sistema de alerta basado en tecnología LoRaWAN como una alternativa funcional, eficiente y viable para la protección de víctimas de violencia, superando las limitaciones de los sistemas actuales dependientes de aplicaciones móviles y conectividad celular.

El diseño conceptual desarrollado demuestra la factibilidad técnica de una arquitectura end-to-end que integra dispositivos autónomos, red LoRaWAN, plataforma The Things Stack, backend automatizado con Firebase, y un dashboard web y aplicación móvil para la gestión en tiempo real de alertas. Esta propuesta permite reducir la dependencia de infraestructura comercial, ofreciendo mayor cobertura y confiabilidad en contextos de baja conectividad.

La propuesta busca optimizar el proceso de atención y respuesta ante situaciones de emergencia, reduciendo los tiempos de reacción y mejorando la coordinación entre víctimas y

patrullas de apoyo. Asimismo, plantea un modelo escalable y adaptable a zonas rurales o urbanas con limitaciones tecnológicas.

Como trabajo futuro se plantea la construcción del prototipo físico, la validación mediante pruebas de campo, la optimización de la arquitectura de red, y la integración con sistemas institucionales existentes. Esta investigación contribuye al diseño de soluciones tecnológicas apropiadas para la protección de derechos humanos y la prevención de la violencia de género en contextos de recursos limitados.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables (MIMP), “Boletín Nacional 2025,” Lima, Perú, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mimp.gob.pe/omcp/pdf/resumen2/Boletin-Nacional-2025.pdf>
- [2] Poder Judicial del Perú, “Resolución Administrativa N.º 000134-2025-CE-PJ (versión 2 de la Directiva del Botón de Pánico),” 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.pj.gob.pe/.../RESOLUCION-AD-000134-2025-CE-PJ.pdf>
- [3] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), “Estadísticas de la criminalidad, seguridad ciudadana y violencia, Junio 2024,” Lima, Perú, 2024. [En línea]. Disponible en: https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/seguiridad_jun24.pdf
- [4] Poder Judicial del Perú, “Directiva N.º 024-2022-CE-PJ (versión 1): Disposiciones para la implementación del servicio judicial de alerta “Botón de Pánico”,” 22 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.pj.gob.pe/wps/wcm/connect/80aedd8049d96b308b7cff9026c349a4/Directiva+N%C2%B0+024-2022-CE-PJ+Disposiciones+implementaci%C3%B3n+del+servicio+judicial+de+alerta+Bot%C3%B3n+de+P%C3%A1nico.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=80aedd8049d96b308b7cff9026c349a4>
- [5] Poder Judicial del Perú, “Resolución Administrativa N.º 000134-2025-CE-PJ: Aprueban la Directiva N.º 001-2025-CE-PJ “Lineamientos para la prestación del servicio judicial de alerta - Botón de Pánico”(versión 2),” 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.pj.gob.pe/wps/wcm/connect/cf380380498e7e5a9a199b9f56304cf3/RESOLUCION-AD-000134-2025-CE-PJ.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=cf380380498e7e5a9a199b9f56304cf3>
- [6] Ministerio de la Mujer y Poblaciones Vulnerables (MIMP), “Resumen Regional de Tacna,” Lima, Perú, s. f. [En línea]. Disponible en: <https://www.mimp.gob.pe/omcp/pdf/resumen2/Resumen-Tacna.pdf>
- [7] Provincia del Neuquén, “Decreto N.º 122-2025: Adquisición dispositivos ‘Botón Antipánico’,” *Boletín Oficial*, 2025. [En línea]. Disponible en: https://infoleg.neuquen.gob.ar/Decretos/2025/d_122_2025.pdf
- [8] OSIPTEL, “Erestel: 4 de cada 5 hogares rurales accedió a internet fijo o móvil en 2023,” octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.osiptel.gob.pe/portal-del-usuario/noticias/erestel-4-de-cada-5-hogares-rurales-accedio-a-internet-fijo-o-movil-en-2023/>
- [9] eBIZ, “INEI: Desconectados alcanzan al 22,6 % de la población,” enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ebiz.pe/noticias/especial-sobre-la-ley-de-acceso-a-internet-como-derecho-inei/>
- [10] eBIZ, “La mayoría de los poblados sin servicio móvil carecen de energía eléctrica,” diciembre de 2024. Basado en informe MTC “Infraestructura para conectar: Alternativas para la conectividad rural de servicios móviles en el Perú”, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ebiz.pe/noticias/la-mayoria-de-los-poblados-sin-servicio-movil-carecen-de-energia-electrica/>
- [11] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “MTC firma adendas con operadores móviles para brindar servicio 4G a 230 localidades rurales,” mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://gestion.pe/peru/mtc-firma-adendas-con-operadores-moviles-para-brindar-servicio-4g-a-230-localidades-rurales/>
- [12] The Things Industries, “Step 1: Understanding LoRaWAN Fundamentals,” s. f. [En línea]. Disponible en: <https://www.thethingsindustries.com/docs/getting-started/1-understand-lorawan/>
- [13] Amazon Web Services, “LoRaWAN — Implementing Low-Power Wide-Area Network (LPWAN) Solutions with AWS IoT,” s. f. [En línea]. Disponible en: <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/implementing-lpwan-solutions-with-aws/lorawan.html>
- [14] I. R. Lopes, P. R. d. S. L. Coelho, R. Pasquini, and R. S. Miani, “Evaluating the performance of LoRa networks: A study on disaster monitoring scenarios,” *IoT*, vol. 6, no. 1, p. 14, 2025.

- [15] R. Plúas Sebastián and A. Olaves Rosales, "Implementación de un sistema de alarma comunitaria aplicando tecnología LPWAN e IoT para el Barrio 5 de junio del Cantón La Libertad," Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador, 2025.
- [16] N. Menéndez Baños, "Creación de un sistema de alarma botón del pánico con tecnología LoRaWAN," Universidad de Oviedo, Gijón, España, 2025.