

Sistema de Mapeo de Zonas Seguras con Toma de Decisiones Colaborativa

Justificación

La infraestructura pública y privada está expuesta de manera constante a amenazas tanto naturales como humanas: sismos, incendios, inundaciones, atentados, entre otros. Estas eventualidades ponen en riesgo vidas y bienes, y en muchas ocasiones la falta de información actualizada sobre rutas de evacuación y zonas seguras incrementa el peligro.

Ante esta problemática, se propone el desarrollo de un sistema de mapeo capaz de identificar y visualizar, en tiempo real, rutas afectadas y zonas seguras dentro de un edificio o instalación. El objetivo no es sustituir el criterio humano, sino brindar información clara y oportuna para que las autoridades y el personal encargado tomen decisiones estratégicas orientadas a preservar el mayor número posible de vidas.

Este tipo de situación constituye un problema semiestructurado, ya que existe información cuantificable (estado de rutas, ubicación de obstáculos, condiciones ambientales) pero la decisión final depende de factores contextuales, éticos y humanos que no pueden resolverse únicamente con algoritmos. La interfaz del sistema presentará las opciones y escenarios calculados, mientras que la elección de la acción a seguir quedará en manos del usuario.

Introducción

En la vida diaria, los procesos informáticos se encuentran profundamente integrados en las actividades humanas, desde la interacción personal hasta la gestión de infraestructuras completas. Ejemplos de ello son la publicación de noticias y artículos, el monitoreo de pacientes en hospitales, las operaciones bancarias, y el seguimiento ambiental y urbano.

Sin embargo, esta interdependencia entre humanos y computadoras plantea desafíos que van más allá de lo técnico: involucra consideraciones éticas, de diseño y de ergonomía que influyen directamente en la seguridad, eficiencia y bienestar de los usuarios.

Se parte de esta definición de la interacción humano – computadora: *La interacción ser humano-computadora (HCI por sus siglas en inglés) es una ciencia multidisciplinaria y emergente, que se sitúa en una intersección entre la psicología cognitiva, la ingeniería de las aplicaciones ergonómicas, las ciencias sociales y la informática aplicada* (F Argibay, Hernán D'Adamo, Baum, & Luna, 2011). En términos simples el HCI estudia la forma en que el humano se comunica con la tecnología.

Aplicar principios de HCI implica diseñar interfaces y sistemas accesibles, comprensibles y confiables, de forma que cualquier persona —independientemente de su edad o condiciones físicas y cognitivas— pueda utilizarlos sin experimentar complejidad innecesaria, bloqueos o angustia. El sistema que aquí se propone busca justamente este balance: tecnología que recopila y procesa datos críticos, pero que está al servicio de la toma de decisiones humanas en situaciones de alta presión.

Tomando a consideración la república mexicana como centro, esta es susceptible a sismos debido a su ubicación geográfica en el “Cinturón de fuego del Pacífico” por lo que en las últimas décadas y debido a la creciente sobrepoblación del país, varios eventos sísmicos han provocado pérdidas humanas, daños materiales significativos y situaciones de emergencia tomando como referencia el sismo del 19 de septiembre de 1985 provocó 10,000 personas fallecidas y 30,000 heridos y el sismo del 2 de octubre de 2017 el sismo había causado 228 muertos en la Ciudad de México, 69 personas rescatadas con vida de los escombros y 38 edificaciones derrumbadas (Sánchez Camarena, De los Santos Montoya, Aldama López, Hernández Aguilar, & Sierra Pérez, 2019) que evidencian la urgente necesidad de contar con sistemas tecnológicos de apoyo en la toma de decisiones, gestión de evacuación y tentativamente gestión de rescate.

En las siguientes secciones se describirá en detalle la aplicación propuesta para el mapeo de zonas seguras y rutas de evacuación en tiempo real. Se presentarán los componentes físicos que conforman el sistema, incluyendo la interfaz de usuario.

Estado del Arte

En los últimos años, la navegación y el mapeo en interiores han cobrado gran relevancia en contextos tan diversos como centros comerciales, aeropuertos, hospitales y, de forma crítica, en escenarios de emergencia. Las soluciones propuestas abarcan desde sistemas de bajo costo basados en tecnologías inalámbricas, hasta plataformas de localización de alta precisión con técnicas avanzadas de procesamiento de señales y visión por computadora.

Uno de los enfoques más difundidos es el Indoor Navigation System (Kashid, 2025), que combina tecnologías inalámbricas como Wi-Fi y Bluetooth con algoritmos de posicionamiento en tiempo real y optimización de rutas. El sistema se estructura en tres módulos: mapeo (visualización del diseño interior), posicionamiento y enrutamiento. Destaca su integración con aplicaciones móviles y la capacidad de recibir retroalimentación de los usuarios para mejorar su precisión. Sin embargo, este tipo de propuestas, aunque muy útiles para la navegación cotidiana, no suelen contemplar situaciones de riesgo extremo donde las rutas pueden cambiar de forma repentina y se requiere una toma de decisiones colaborativa en tiempo real.

En contextos de desastres, el trabajo titulado Generación de Mapas de Zonas de Desastres mediante Trabajo Colaborativo para Búsqueda y Rescate (Morales Zitlapopoca, Montalvo Montalvo, Rubin Alvarado, Rubín-Linares, & Cuevas Vede, 2016) propone un sistema apoyado en robots hexápodos y drones para explorar y mapear áreas afectadas, generando rutas seguras y evaluando riesgos mediante una interfaz gráfica. Este enfoque demuestra la utilidad del trabajo colaborativo entre múltiples agentes, aunque depende de despliegues robóticos especializados, lo que puede dificultar su aplicación en entornos interiores con infraestructura fija. Se planea tomar referencias de este trabajo para esta propuesta.

Otra línea de trabajo es la presentada por el Sistema Multicanal de Mapeo de Entornos mediante Sonar (Valdez, y otros, 2014), que emplea un arreglo de siete sensores de sonar con modulación mediante secuencias binarias pseudoaleatorias (SBPA), permitiendo escaneos paralelos y reduciendo significativamente el tiempo de mapeo. Su implementación en FPGA Spartan 3E y el uso del método de Campos Potenciales Armónicos Locales lo hacen adecuado

para robots móviles en planeación de rutas. No obstante, su naturaleza orientada al barrido mecánico limita la integración directa en sistemas distribuidos de sensores fijos en un edificio.

En el ámbito de la localización sin infraestructura adicional, la investigación Deep Learning Based Indoor Localization Using Magnetic Field Signals and Images (Rafique, 2025) explora un enfoque híbrido que combina las variaciones del campo magnético interior con datos visuales para obtener posicionamiento preciso sin necesidad de redes inalámbricas adicionales. El sistema utiliza una aplicación Android para capturar datos del magnetómetro y de la cámara, creando “huellas digitales” que mejoran la precisión mediante modelos de aprendizaje profundo. Aunque su independencia de infraestructura es una ventaja, la necesidad de un dispositivo móvil activo y en uso constante limita su aplicación en emergencias donde la prioridad es evacuar de forma segura y rápida.

En síntesis, los trabajos revisados evidencian avances significativos en mapeo y localización indoor, así como en la optimización de rutas y la integración de sensores. Sin embargo, la mayoría de las propuestas se centran en guía pasiva o totalmente automatizada, dejando un vacío en soluciones que integren sensores fijos, monitoreo dinámico, rutas adaptables y, sobre todo, un modelo de toma de decisiones colaborativa entre el sistema y el usuario humano. Es precisamente en este espacio donde se ubica la presente propuesta, que busca combinar tecnologías de mapeo en tiempo real con una interfaz diseñada para que autoridades y personal de emergencia puedan actuar de forma informada y coordinada durante situaciones críticas.

Componentes Físicos Propuestos

Para implementar el Sistema de Mapeo de Zonas Seguras con Toma de Decisiones Colaborativa se requiere un conjunto de dispositivos que permitan la captura, transmisión y visualización de información en tiempo real. Los componentes propuestos se dividen en sensores, unidad de procesamiento y comunicación, y elementos de interacción con el usuario.

1. Unidad de procesamiento y comunicación
 - ESP32: Microcontrolador de bajo costo con conectividad Wi-Fi y Bluetooth integrada. Se encargará de recibir datos de los sensores, procesarlos localmente y enviarlos al servidor o panel central. Su bajo consumo energético y capacidad para manejar múltiples entradas lo hacen ideal para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) en tiempo real.
2. Sensores de detección de obstáculos y condiciones ambientales
 - Sensor ToF (Time of Flight) o LiDAR miniatura: Permite medir distancias precisas mediante luz láser, útil para detectar obstrucciones en pasillos o puertas.
 - Sensor ultrasónico HC-SR04: Alternativa de bajo costo para detección de obstáculos en distancias cortas.
 - Sensores de humo y gas (MQ-2, MQ-135): Detectan presencia de humo, monóxido de carbono y gases inflamables, activando alertas tempranas.

- Sensores de temperatura y humedad (DHT22 o similar): Permiten identificar zonas afectadas por calor extremo o condiciones peligrosas durante un incendio.
3. Módulo de localización y mapeo
 - Balizas Bluetooth Low Energy (BLE beacons): Distribuidas en puntos estratégicos del edificio para ayudar a determinar la ubicación de personal o equipos portátiles mediante trilateración.
 - IMU (Unidad de Medición Inercial – MPU6050): Detecta movimiento y orientación, útil en dispositivos portables para el personal médico o de rescate.
 - (Opcional) Cámara ESP32-CAM: Para capturar imágenes de zonas bloqueadas o registrar evidencia visual de la emergencia.
 4. Elementos de interacción con el usuario
 - Aplicación para smartphones disponible para Android/iOS, permite visualizar el mapa en tiempo real, recibir notificaciones de rutas seguras o bloqueadas, y marcar incidencias manualmente con fotos o texto.
 - Compatibilidad con smartwatches y smartband permite recibir alertas por vibración, mensajes breves en pantalla e incluso comandos por voz para reportar bloqueos, dejando las manos libres al personal.
 - Pantallas LED o paneles de señalización dinámica en zonas estratégicas del edificio para guiar a quienes no cuenten con dispositivos personales, mostrando rutas seguras y alertas visuales claras.
 - Botones físicos de marcación de emergencia ubicados en zonas estratégicas para que cualquier persona pueda reportar un bloqueo manualmente.
 5. Infraestructura de red y servidor
 - Router Wi-Fi de alta disponibilidad: Garantiza conectividad estable entre los nodos de sensores y el servidor central.
 - Servidor en la nube: Procesa la información recibida, actualiza el mapa en tiempo real y coordina las notificaciones hacia los dispositivos de usuario dada las decisiones de los encargados y autoridades. Así como cálculo de rutas.

Aplicación

El Sistema de Mapeo de Zonas Seguras con Toma de Decisiones Colaborativa está concebido para ser utilizado en entornos donde la seguridad de las personas dependa de la correcta elección de rutas de evacuación y zonas de resguardo, como hospitales, edificios públicos, aeropuertos, centros educativos o complejos industriales. El diagrama 1 muestra los componentes del escenario de aplicación del sistema.

Sistema de Mapeo de Zonas Seguras - Arquitectura de Componentes

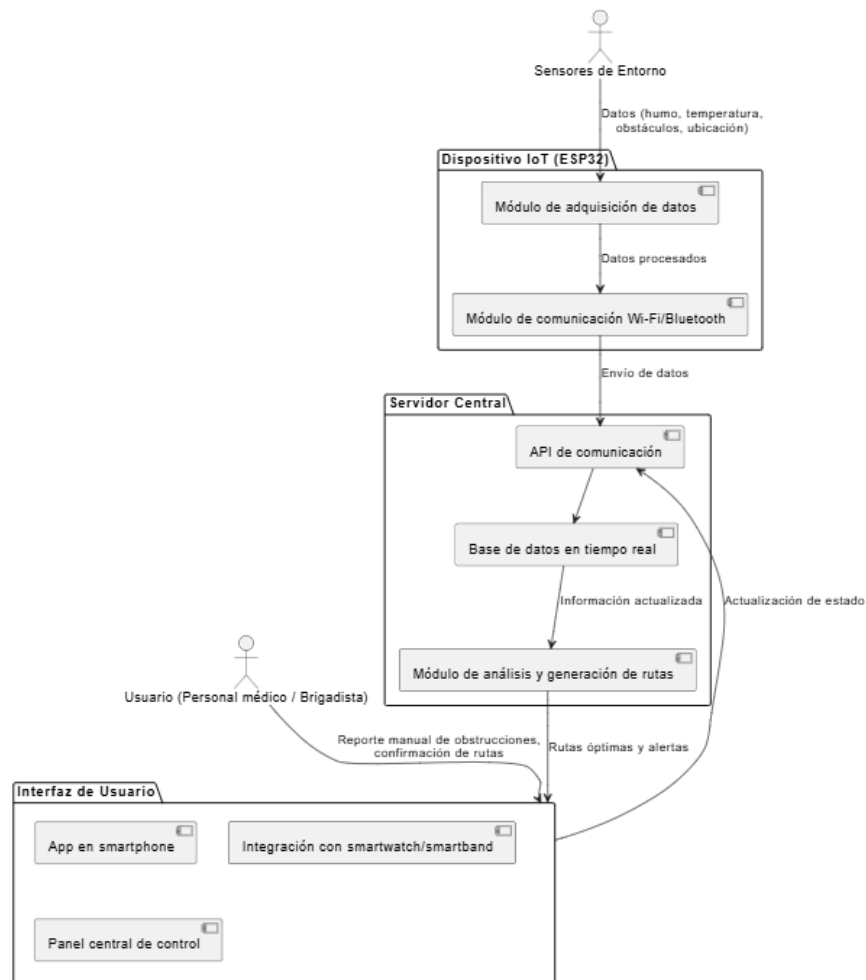


Diagrama 1 Sistema de Mapeo de Zonas seguras

Su funcionamiento se articula en tres fases principales:

1. Monitoreo continuo

Los sensores instalados en puntos estratégicos del edificio (detectores de obstáculos, humo, temperatura y balizas de localización) recopilan información en tiempo real sobre el estado de pasillos, accesos y zonas críticas.

Los datos son procesados por unidades ESP32, que envían la información al servidor central mediante la red inalámbrica. Este proceso ocurre de forma constante, incluso en condiciones de baja energía.

2. Análisis y generación de rutas

El servidor central interpreta la información recibida y actualiza el mapa digital del edificio, marcando: Rutas libres (color verde). Rutas bloqueadas o en riesgo (color rojo). Zonas seguras temporales (color azul o amarillo según prioridad).

El sistema aplica algoritmos de enrutamiento para calcular opciones de evacuación y presentarlas al usuario (se proponen usar heurísticas o metaheurísticas): Ruta más rápida. Ruta más segura. Ruta hacia zona de atención médica.

Estas opciones se muestran tanto en la interfaz central como en los dispositivos móviles o wearables del personal autorizado.

3. Interacción y toma de decisiones colaborativa

El usuario, ya sea personal médico, brigadista o autoridad de seguridad, puede: Confirmar o modificar el estado de una ruta. Marcar manualmente nuevas obstrucciones o peligros detectados. Compartir recomendaciones con otros usuarios conectados. Activar alertas masivas para un área específica.

Referencias

- F Argibay, P., Hernán D'Adamo, M., Baum, A., & Luna, D. (Diciembre de 2011). Interacción humano-computadora Interacción ser humano-computadora: usabilidad y universalidad en la era de la información. Revista del Hospital Italiano de Buenos Aires.
- Kashid, D. P. (Mayo de 2025). Indoor Navigation System. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 13. 1493-1500. 10.22214/ijraset.2025.70542.
- Morales Zitlapopoca, Y., Montalvo Montalvo, N., Rubin Alvarado, A. A., Rubín-Linares, G., & Cuevas Vede, R. (Septiembre de 2016). Generación de Mapas de Zonas de Desastres Mediante Trabajo Colaborativo para Búsqueda y Rescate. Conference: VI Congreso Nacional de Ciencias de la Computación.
- Rafique, H. (Junio de 2025). DEEP LEARNING BASED INDOOR LOCALIZATION USING MAGNETIC FIELD SIGNALS AND IMAGES. Thesis for: PhD Computer engineeringAdvisor: Professor Davide Patti and Professor Maurizio Palesi. 10.13140/RG.2.2.27318.61765.
- Sánchez Camarena, C. A., De los Santos Montoya, F. A., Aldama López, K., Hernández Aguilar, S., & Sierra Pérez, M. (2019). Sismo 19 de septiembre de 2017: respuesta médica en la zona cero, lecciones aprendidas. Acta médica Grupo Ángeles, 17(4), 428-432. Epub 27 de septiembre de 2021.
- Valdez, A., Javier, P., Hernández González, Arturo, L., Esqueda Elizondo, J. J., Benjamín Jaime, J., . . . Roberto Alejandro. (Octubre de 2014). SISTEMA MULTICANAL DE MAPEO DE ENTORNOS MEDIANTE SONAR. Conference: Congreso Internacional de Electrónica ELECTRO 2014At: Chihuahua, Chihuahua, MéxicoVolume: XXXVI.