



**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**

**Rectoría Antioquia y Chocó**

**Sede Bello (Antioquia)**

**Especialización en Gerencia de Proyectos**

**Río Seguro: propuesta de un sistema de alerta temprana de  
inundaciones de bajo costo basado en IoT para comunidades**

**vulnerables de Medellín**

Daniel Moreno Castaño

Luz Patricia Vallejo Alzate

Mayo de 2026

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**

**Rectoría Antioquia y Chocó**

**Sede Bello (Antioquia)**

**Especialización en Gerencia de Proyectos**

**Río Seguro: propuesta de un sistema de alerta temprana de  
inundaciones de bajo costo basado en IoT para comunidades  
vulnerables de Medellín**

Daniel Moreno Castaño

Luz Patricia Vallejo Alzate

Monografía presentada como requisito para optar al título de  
Especialista en Gerencia de Proyectos

**Asesor**

Jaime Darío Restrepo Díaz

*Magíster en Gestión Tecnológica*

Mayo de 2026

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado, en primer lugar, a nuestras familias, quienes han sido el pilar fundamental en este proceso de formación. Su apoyo incondicional, paciencia y confianza han sido determinantes para culminar esta etapa académica, brindándonos la fortaleza necesaria para superar los desafíos y mantenernos firmes en el propósito de crecimiento personal y profesional.

Asimismo, dedicamos este proyecto a las comunidades en condición de vulnerabilidad que enfrentan de manera constante los riesgos asociados a fenómenos naturales como las inundaciones. Su realidad no solo inspira este trabajo, sino que le otorga sentido y pertinencia, recordándonos que la gestión de proyectos debe trascender lo técnico para convertirse en una herramienta de transformación social.

Finalmente, dedicamos este esfuerzo a todos aquellos profesionales que creen en el poder de la innovación social y la tecnología como medios para reducir brechas, proteger la vida y construir territorios más resilientes. Que este trabajo sea un aporte, aunque modesto, a la construcción de soluciones sostenibles orientadas al bienestar colectivo.

## **1 AGRADECIMIENTOS**

El desarrollo del presente trabajo no solo representa el cumplimiento de un requisito académico, sino la consolidación de un proceso formativo orientado a la comprensión y transformación de problemáticas sociales desde la gerencia de proyectos. En este sentido, expresamos nuestro sincero agradecimiento a quienes hicieron posible su materialización.

A la Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO, por brindar una formación fundamentada en principios de responsabilidad social, pensamiento crítico y desarrollo sostenible, que permitió estructurar esta propuesta bajo criterios técnicos, metodológicos y éticos. Al asesor del proyecto, Jaime Darío Restrepo Díaz, por su acompañamiento, orientación y aportes académicos, fundamentales para el fortalecimiento del enfoque investigativo y la solidez del trabajo.

A las entidades e instituciones que, mediante sus estudios y marcos normativos, aportaron insumos clave para la construcción del sustento teórico y contextual del proyecto. A las comunidades que inspiran esta investigación, cuya realidad evidencia la necesidad de soluciones orientadas a la gestión del riesgo y la resiliencia. Finalmente, a nuestras familias, por su apoyo constante y motivación, esenciales para culminar este proceso académico.

## 2 TABLA DE CONTENIDO

<b>Dedicatoria</b> .....	3
<b>Agradecimientos</b> .....	4
<b>Lista de tablas</b> .....	7
<b>Lista de figura</b> .....	8
<b>Lista de anexos</b> .....	9
<b>Introducción</b> .....	10
<b>Resumen</b> .....	9
Abstrac .....	14
<b>Resumen de la Literatura</b> .....	16
<b>1. Planteamiento del Problema</b> .....	18
1.1. Descripción del Problema.....	19
1.2. Formulación del Problema.....	20
1.3. Objetivos.....	20
1.3.1. Objetivo General. ....	20
1.3.2. Objetivos Específicos. ....	21
1.4. Justificación .....	21
<b>2. Marco Referencial</b> .....	23
2.1. Marco Conceptual .....	23
2.2. Marco Contextual .....	25

2.3. Marco Legal .....	27
2.4. Marco Teórico.....	29
<b>3. Diseño Metodológico .....</b>	<b>32</b>
3.1. Línea de Investigación Institucional .....	32
3.2. Eje Temático .....	32
3.3. Enfoque de Investigación y Paradigma.....	32
3.4. Diseño de la Investigación.....	33
3.5. Alcance de la Investigación.....	33
3.5.1. Población y Muestra .....	34
3.5.2. Fuentes y Técnicas de Recolección de Información .....	34
3.5.3. Análisis y Tratamiento de la Información .....	35
3.6. Ruta Metodológica de Formulación de la Propuesta .....	35
<b>4. Resultados y Discusiones .....</b>	<b>38</b>
<b>5. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>47</b>
5.1. Conclusiones .....	47
5.2. Recomendaciones .....	48
<b>Referencias .....</b>	<b>50</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>55</b>

### 3 LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de interesados del proyecto "Río Seguro" .....	39
Tabla 2. Umbrales de alerta del sistema de monitoreo "Río Seguro" basados en ocupación del cauce y precipitación acumulada.....	42
Tabla 3. Zonas territoriales priorizadas para la aplicación del sistema "Río Seguro" .....	44

#### 4 LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pirámide de Kelsen adaptada al marco normativo del proyecto "Río Seguro" .....	28
Figura 2. Cronograma conceptual de Gantt — Ruta metodológica del proyecto "Río Seguro" .....	36
Figura 3. Arquitectura conceptual del sistema de alerta temprana "Río Seguro" basado en IoT .....	38

## **5 LISTA DE ANEXOS**

Anexo A. Matriz de Riesgos del Proyecto "Río Seguro"

Anexo B. Protocolo Comunitario de Respuesta ante Alertas

Anexo C. Mapa de Zonas Territoriales Priorizadas

Anexo D. Tabla de Costos

## 6 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el mundo ha sido testigo de una transformación profunda en los patrones climáticos que rigen los ecosistemas del planeta. Lo que en otro tiempo se consideraba un fenómeno excepcional —una inundación devastadora, una creciente súbita que arrasa con barrios enteros— se ha convertido, para millones de personas, en una amenaza recurrente y cada vez más impredecible. El cambio climático no solo ha alterado la frecuencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos extremos, sino que ha puesto en evidencia una realidad que suele permanecer invisible hasta que el desastre ocurre: las comunidades más vulnerables son siempre las más afectadas, y casi siempre las menos preparadas.

Colombia no es ajena a esta realidad. Su posición geográfica, la diversidad de sus ecosistemas y las dinámicas de ocupación territorial han configurado un país altamente expuesto a fenómenos naturales, entre los cuales las inundaciones representan uno de los mayores retos para la gestión pública. En el caso particular de Medellín, la ciudad se enfrenta a una condición que combina factores difíciles de dissociar: una topografía accidentada con laderas densamente pobladas, cuencas hidrográficas de cauce rápido y una historia de urbanización que, en muchos sectores, avanzó sin considerar adecuadamente los riesgos del entorno natural. El resultado es una ciudad que, con cada temporada de lluvias, ve cómo algunas de sus comunidades vuelven a enfrentarse al mismo ciclo de emergencia, pérdida y recuperación.

Frente a esta situación, cabe preguntarse: ¿por qué, a pesar de los avances tecnológicos y normativos, tantas comunidades siguen siendo sorprendidas por las inundaciones? Parte de la respuesta reside en las limitaciones de los sistemas de monitoreo y alerta convencionales. Diseñados desde una lógica centralizada y con altos costos de implementación y mantenimiento, estos sistemas no logran llegar a todos los territorios que los necesitan. Las zonas periféricas, de alta exposición al riesgo y escasos recursos, quedan frecuentemente fuera de su cobertura, perpetuando así una brecha tecnológica que, en situaciones de emergencia, puede traducirse en vidas perdidas.

Es precisamente en este vacío donde las tecnologías emergentes encuentran su mayor potencial transformador. El Internet de las Cosas (IoT) ha abierto la posibilidad de construir

soluciones de monitoreo ambiental a partir de dispositivos de bajo costo, sensores accesibles y plataformas de comunicación en tiempo real. A diferencia de los sistemas tradicionales, estas tecnologías pueden desplegarse de manera descentralizada, adaptarse a las condiciones específicas de cada territorio y, lo que es quizás más importante, ser apropiadas y sostenidas por las propias comunidades. La innovación, en este contexto, no es un lujo técnico: es una herramienta de equidad.

Es desde esta perspectiva que surge la presente investigación. No como una respuesta definitiva a un problema complejo, sino como una contribución concreta al debate sobre cómo fortalecer la gestión del riesgo de inundaciones en contextos urbanos vulnerables, mediante el aprovechamiento de tecnologías accesibles e innovación social. La propuesta que aquí se desarrolla parte del reconocimiento de que la tecnología, por sí sola, no salva vidas: lo hacen las comunidades informadas, organizadas y empoderadas para actuar a tiempo.

En consecuencia, este trabajo se orienta a la formulación conceptual de una propuesta de Sistema de Alerta Temprana (SAT) para inundaciones, basada en tecnologías IoT de bajo costo, dirigida a comunidades vulnerables de la ciudad de Medellín. Para ello, el documento se organiza en torno a tres ejes fundamentales: en primer lugar, la revisión del estado del arte y el marco teórico que sustenta la propuesta; en segundo lugar, el análisis de las condiciones de riesgo en el contexto local; y, finalmente, la modelación conceptual del sistema, acompañada de una evaluación de su viabilidad técnica, su escalabilidad y su potencial impacto en la reducción del riesgo comunitario.

## 7 RESUMEN

El incremento de fenómenos hidrometeorológicos extremos, derivado de la variabilidad climática y el cambio climático, ha intensificado la frecuencia e impacto de las inundaciones a nivel global, afectando de manera desproporcionada a poblaciones en condiciones de vulnerabilidad socioeconómica. En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2022) reporta un aumento sostenido en la ocurrencia de inundaciones y crecientes súbitas, situación que ha impulsado el desarrollo de un marco normativo liderado por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2018), el cual reconoce los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) como instrumentos estratégicos para la identificación de amenazas y la activación oportuna de mecanismos de respuesta.

En el contexto urbano de Medellín, el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGR, 2021) ha identificado zonas críticas caracterizadas por alta densidad poblacional, proximidad a fuentes hídricas y deficiencias estructurales en los sistemas de drenaje. Los sistemas de monitoreo convencionales presentan limitaciones de cobertura y accesibilidad, asociadas a su centralización y elevados costos de implementación y mantenimiento, lo cual incrementa la vulnerabilidad de las comunidades con menores capacidades de prevención y respuesta. Esta brecha tecnológica constituye el problema central que motiva la presente investigación.

Ante este escenario, el Internet de las Cosas (IoT) emerge como una alternativa tecnológica viable y relevante. Estudios como los de Barrera y Rodríguez (2020) evidencian que el uso de sensores de bajo costo y plataformas de monitoreo en tiempo real mejora significativamente los tiempos de reacción y facilita la toma de decisiones en contextos urbanos vulnerables. En este marco, la presente investigación tiene como objetivo formular una propuesta conceptual de Sistema de Alerta Temprana para inundaciones, basada en tecnologías IoT de bajo costo, orientada a comunidades vulnerables de la ciudad de Medellín.

Metodológicamente, el estudio se desarrolla bajo un enfoque analítico y propositivo, sustentado en la revisión documental de fuentes especializadas, el análisis de variables hidrológicas y la modelación conceptual del sistema. Como resultado, se plantea una arquitectura funcional compuesta por sensores de nivel de agua, microcontroladores y plataformas de

comunicación en tiempo real, cuya validación se aborda a través de escenarios de simulación. La literatura especializada coincide en que la efectividad de los SAT no depende exclusivamente de su componente tecnológico, sino de su articulación con procesos sociales y comunitarios, reconociendo el empoderamiento comunitario como factor determinante para su sostenibilidad, apropiación y efectividad.

Los resultados sugieren que la propuesta podría contribuir a la reducción de los tiempos de respuesta ante eventos críticos, así como al fortalecimiento de la capacidad de anticipación y toma de decisiones a nivel comunitario. Se concluye que el modelo presenta características de viabilidad técnica, costo-eficiencia y escalabilidad, condicionadas a su articulación con estrategias integrales de gestión del riesgo e innovación social, lo que favorece, a su vez, su replicabilidad en contextos con condiciones similares de vulnerabilidad.

**Palabras clave:** Gestión del Riesgo de Desastres, Sistema de Alerta Temprana, Internet de las Cosas (IoT), Resiliencia Comunitaria, Gerencia de Proyectos.

## 8 ABSTRACT

The increase in extreme hydrometeorological phenomena, driven by climate variability and climate change, has intensified the frequency and impact of floods globally, disproportionately affecting populations in conditions of socioeconomic vulnerability. In Colombia, the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM, 2022) reports a sustained rise in the occurrence of floods and flash floods, a situation that has prompted the development of a regulatory framework led by the National Unit for Disaster Risk Management (UNGRD, 2018), which recognizes Early Warning Systems (EWS) as strategic instruments for threat identification and the timely activation of response mechanisms.

In the urban context of Medellín, the Administrative Department of Disaster Risk Management (DAGRD, 2021) has identified critical areas characterized by high population density, proximity to water sources, and structural deficiencies in drainage systems. Conventional monitoring systems present coverage and accessibility limitations associated with their centralized design and high implementation and maintenance costs, which increases the vulnerability of communities with limited prevention and response capacities. This technological gap constitutes the central problem motivating the present research.

In light of this scenario, the Internet of Things (IoT) emerges as a viable and relevant technological alternative. Studies such as those by Barrera and Rodríguez (2020) demonstrate that the use of low-cost sensors and real-time monitoring platforms significantly improves response times and facilitates decision-making in vulnerable urban contexts. Within this framework, the present research aims to formulate a conceptual proposal for a flood Early Warning System based on low-cost IoT technologies, targeting vulnerable communities in the city of Medellín.

Methodologically, the study is developed under an analytical and propositional approach, grounded in the documentary review of specialized sources, the analysis of hydrological variables, and the conceptual modeling of the system. As a result, a functional architecture is proposed, comprising water-level sensors, microcontrollers, and real-time communication platforms, whose validation is addressed through simulation scenarios. Specialized literature agrees that the effectiveness of EWS does not depend exclusively on their technological component, but on their

articulation with social and community processes, recognizing community empowerment as a determining factor for their sustainability, appropriation, and effectiveness.

The results suggest that the proposal could contribute to reducing response times during critical events, as well as strengthening the capacity for anticipation and decision-making at the community level. It is concluded that the model presents characteristics of technical feasibility, cost-efficiency, and scalability, conditioned on its integration with comprehensive disaster risk management strategies and social innovation, which in turn favors its replicability in contexts with similar conditions of vulnerability.

**Keywords:** Disaster Risk Management, Early Warning System, Internet of Things (IoT), Community Resilience, Project Management.

## 9 RESUMEN DE LA LITERATURA

La gestión del riesgo de desastres en Colombia ha adquirido una relevancia estratégica respaldada tanto por marcos internacionales como por desarrollos normativos nacionales. El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030 (UNDRR, 2015) establece como prioridad el fortalecimiento de la gobernanza del riesgo y la inversión en resiliencia comunitaria, principios que en Colombia fueron adoptados mediante la Ley 1523 de 2012 y desarrollados operativamente por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2018), la cual reconoce los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) como instrumentos estratégicos para la identificación oportuna de amenazas y la activación de mecanismos de respuesta ante eventos críticos.

En el contexto urbano de Medellín, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2022) reporta un incremento sostenido en la frecuencia de inundaciones y crecientes súbitas asociadas a la variabilidad climática, mientras que el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGR, 2021) ha identificado zonas críticas de alta exposición caracterizadas por densidad poblacional elevada, proximidad a fuentes hídricas y deficiencias estructurales en los sistemas de drenaje. Investigaciones como la de Poveda et al. (2021) señalan que el riesgo hidrometeorológico en ciudades andinas como Medellín responde a la interacción de factores climáticos, geomorfológicos y sociales, lo que exige soluciones integrales que combinen monitoreo técnico con intervención territorial.

Frente a las limitaciones de cobertura y los elevados costos de los sistemas de monitoreo convencionales, el Internet de las Cosas (IoT) ha emergido como una alternativa tecnológica viable para el desarrollo de SAT de bajo costo en contextos vulnerables. Barrera y Rodríguez (2020) documentaron la implementación de un prototipo basado en sensores ultrasónicos, microcontroladores Arduino y comunicación GSM en una microcuenca urbana de Bogotá, obteniendo una reducción del tiempo de detección de eventos críticos del 82% respecto al sistema convencional, con un costo inferior al 15% de este último. En el ámbito internacional, estudios como los de Nguyen et al. (2021) y Kumar y Singh (2022) confirman la viabilidad de arquitecturas IoT para el monitoreo de inundaciones urbanas, destacando plataformas como LoRaWAN, MQTT y ThingSpeak como soluciones robustas y escalables para contextos con recursos limitados.

La literatura especializada coincide, sin embargo, en que la efectividad de los SAT no depende exclusivamente de su componente tecnológico. Fakhruddin et al. (2020) demuestran que los sistemas con alto desarrollo técnico pero débil articulación comunitaria presenta tasas de respuesta significativamente menores frente a eventos de riesgo. En esta línea, Cutter et al. (2021) proponen que la resiliencia comunitaria se construye a través de capacidades colectivas para anticipar, adaptarse y recuperarse de eventos adversos, lo que implica que el diseño de cualquier SAT debe integrar, desde su concepción, procesos de formación, participación y empoderamiento de las comunidades destinatarias. Experiencias documentadas en América Latina por la CEPAL (2019) confirman que los modelos que articulan tecnología accesible con organización comunitaria favorecen la sostenibilidad, apropiación y replicabilidad de los sistemas en contextos de vulnerabilidad similar.

En síntesis, la revisión de la literatura evidencia que, si bien existen avances significativos tanto en el campo del IoT aplicado al monitoreo ambiental como en la gestión comunitaria del riesgo, la integración de ambos enfoques en el contexto específico de comunidades urbanas vulnerables de Medellín ha sido escasamente abordada desde una perspectiva de formulación de proyectos con criterios de viabilidad técnica, costo-eficiencia y escalabilidad. Este vacío constituye el punto de partida y la justificación central de la presente investigación, orientada a formular una propuesta conceptual de SAT basada en tecnologías IoT de bajo costo que responda a las condiciones reales del territorio y a las necesidades de las comunidades en riesgo.

## 10 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años, Colombia ha experimentado un incremento significativo en la frecuencia e intensidad de fenómenos hidrometeorológicos extremos, especialmente inundaciones, como consecuencia de la variabilidad climática y el cambio climático. Estas situaciones han generado impactos relevantes a nivel social, económico y ambiental, afectando principalmente a poblaciones en condiciones de vulnerabilidad. Según el IDEAM (2022), las lluvias intensas y prolongadas, sumadas a deficiencias en la planificación urbana, incrementan el riesgo de desbordamientos de ríos y quebradas en diversas regiones del país.

En el contexto urbano, ciudades como Medellín presentan condiciones particulares que aumentan la exposición al riesgo de inundaciones, tales como la ocupación de zonas de alto riesgo, la insuficiencia de los sistemas de drenaje y el crecimiento urbano no planificado. De acuerdo con el DAGRD (2021), diversas comunas han sido identificadas como altamente vulnerables a eventos de inundación y crecientes súbitas, destacándose sectores de las comunas 1 (Popular), 3 (Manrique), 7 (Robledo), 8 (Villa Hermosa), 13 (San Javier) y 14 (El Poblado), lo que evidencia la necesidad de fortalecer los mecanismos de prevención y respuesta ante emergencias.

A pesar de los avances institucionales en la gestión del riesgo, liderados por la UNGRD, persisten limitaciones en la implementación de sistemas de alerta temprana accesibles para las comunidades más vulnerables. En muchos casos, estos sistemas se caracterizan por su alto costo, complejidad tecnológica y dependencia de infraestructura centralizada, lo que restringe su cobertura y dificulta su adopción en barrios populares y zonas rurales (UNGRD, 2018).

Esta situación genera una brecha significativa en la capacidad de anticipación y respuesta frente a eventos de inundación, donde muchas comunidades reciben información cuando el evento es inminente o ya está ocurriendo. Como consecuencia, aumentan los riesgos para la vida humana —especialmente en poblaciones sensibles como niños, adultos mayores y personas con discapacidad—, así como las pérdidas materiales y las afectaciones económicas. Asimismo, la falta de sistemas de monitoreo en tiempo real limita la capacidad de reacción de los organismos de emergencia, incrementando los costos de atención y recuperación.

Por otra parte, si bien el desarrollo de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) ha permitido la creación de soluciones innovadoras para el monitoreo ambiental, su implementación en contextos locales continúa siendo limitada. Estudios recientes evidencian que el uso de sensores de bajo costo y sistemas de comunicación accesibles constituye una alternativa potencialmente viable para fortalecer los sistemas de alerta temprana en comunidades vulnerables, al permitir la recolección de datos en tiempo real y la generación de alertas oportunas (Siddique et al., 2023). No obstante, la literatura también señala que la efectividad de estas soluciones depende de su articulación con procesos comunitarios y estrategias integrales de gestión del riesgo, ya que la implementación tecnológica aislada limita su sostenibilidad e impacto a largo plazo.

En este contexto, el problema central radica en la limitada disponibilidad de sistemas de alerta temprana para inundaciones que sean accesibles, de bajo costo, escalables y con enfoque comunitario, lo que restringe la capacidad de las poblaciones vulnerables para monitorear en tiempo real las condiciones de riesgo y tomar decisiones preventivas oportunas.

A partir de lo anterior, se plantea la necesidad de analizar alternativas que integren componentes tecnológicos y sociales orientados al fortalecimiento de la gestión del riesgo de inundaciones. En este sentido, la presente investigación se orienta a la formulación conceptual de una propuesta de sistema de alerta temprana basado en tecnologías IoT, como una posible estrategia para contribuir a la reducción de la vulnerabilidad y al fortalecimiento de la resiliencia en comunidades vulnerables de la ciudad de Medellín.

### **10.1 1.1. Descripción del Problema**

En Colombia, las inundaciones representan uno de los eventos naturales de mayor recurrencia y con impactos socioeconómicos más profundos. Según el IDEAM (2022), la variabilidad climática ha intensificado la frecuencia de lluvias extremas, lo que, sumado a la ocupación informal de zonas de riesgo y a la insuficiencia de la infraestructura de drenaje, ha incrementado la vulnerabilidad de las poblaciones.

En Medellín, este fenómeno adquiere matices críticos debido a factores como el crecimiento urbano no planificado en laderas y la presión sobre las fuentes hídricas. Comunas como la 1 (Popular), 3 (Manrique), 7 (Robledo), 8 (Villa Hermosa) y 13 (San Javier) han sido

identificadas por el DAGRD (2021) como zonas de alta prioridad debido a la recurrencia de crecientes súbitas.

Un factor determinante que exacerba esta problemática es la asimetría en el acceso a la información. Los sistemas de alerta temprana liderados por la UNGRD (2018) suelen estar centralizados y requieren niveles de inversión tecnológica y financiera que limitan su implementación en sectores con menores recursos. Esta situación reduce la capacidad de monitoreo local y favorece respuestas de carácter reactivo en lugar de preventivo, incrementando las pérdidas materiales, la interrupción de dinámicas económicas y los riesgos para la vida humana, especialmente en poblaciones vulnerables.

Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, este contexto evidencia una ineficiencia en la asignación de recursos, donde predomina la inversión en atención y recuperación post-desastre sobre estrategias de mitigación y prevención. Aunque el Internet de las Cosas (IoT) ofrece alternativas de bajo costo para el monitoreo en tiempo real, diversos estudios (Siddique et al., 2023) señalan que su efectividad depende de su integración con procesos de gobernanza comunitaria.

En este sentido, el problema central se asocia a la limitada disponibilidad de sistemas de monitoreo y alerta temprana que sean técnica, económica y socialmente adecuados al contexto local, lo que restringe la capacidad de anticipación, respuesta oportuna y resiliencia frente al riesgo de inundaciones en comunidades vulnerables de Medellín.

## **10.2 1.2. Formulación del Problema**

¿Cómo la formulación de un sistema de alerta temprana (SAT) de bajo costo, basado en tecnologías IoT y participación comunitaria, puede contribuir al fortalecimiento de la capacidad de respuesta y a la reducción de la vulnerabilidad de las comunidades en zonas críticas de Medellín frente a inundaciones?

## **10.3 1.3. Objetivos**

### **10.3.1 1.3.1. Objetivo General**

Formular una propuesta de sistema de alerta temprana (SAT) de bajo costo para comunidades vulnerables de Medellín, basada en tecnologías de monitoreo en tiempo real y

participación comunitaria, con el fin de analizar su viabilidad técnica, económica y social frente al riesgo de inundación.

### **10.3.2 1.3.2. Objetivos Específicos**

Caracterizar las zonas de mayor recurrencia de inundaciones y crecientes súbitas en Medellín, con el fin de identificar y priorizar áreas de análisis para la posible aplicación del sistema de monitoreo.

Proponer una arquitectura técnica conceptual del sistema "Río Seguro", integrando tecnologías IoT de bajo costo para el monitoreo y transmisión de datos en tiempo real.

Analizar la viabilidad técnica, económica y social de la propuesta, mediante el uso de herramientas de evaluación y escenarios de simulación.

Plantear lineamientos para la apropiación social y la respuesta comunitaria frente a la activación de alertas, en el marco de la gestión del riesgo.

## **10.4 1.4. Justificación**

La gestión del riesgo de desastres en contextos urbanos se ha consolidado como una prioridad global, debido al incremento de eventos hidrometeorológicos extremos asociados al cambio climático. En Colombia, esta problemática adquiere especial relevancia, dado que amplios sectores del territorio presentan condiciones de alta vulnerabilidad frente a inundaciones, deslizamientos y crecientes súbitas, afectando de manera recurrente a comunidades con limitaciones socioeconómicas y de infraestructura. Según el IDEAM (2022), estos eventos han aumentado en frecuencia e intensidad, generando impactos significativos sobre la población y la economía.

En este contexto, los sistemas de alerta temprana se reconocen como herramientas fundamentales para la reducción del riesgo, al permitir la anticipación de eventos críticos y la activación de medidas preventivas. No obstante, en diversas comunidades vulnerables de Medellín, la disponibilidad de estos sistemas es limitada debido a factores como los altos costos, la complejidad tecnológica y la dependencia de infraestructuras centralizadas, lo que restringe su cobertura y accesibilidad.

Desde el marco normativo colombiano, la Ley 1523 de 2012 establece que la gestión del riesgo es un proceso orientado al conocimiento, reducción y manejo de desastres, asignando a las entidades territoriales la responsabilidad de formular e implementar instrumentos para su gestión. En el ámbito local, el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Medellín materializa estos lineamientos mediante estrategias de prevención, monitoreo y respuesta adaptadas a las condiciones del territorio.

En este escenario, la presente investigación se justifica en la necesidad de analizar alternativas que permitan fortalecer los sistemas de alerta temprana en contextos vulnerables, integrando enfoques tecnológicos y sociales. Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, resulta pertinente evaluar soluciones que no solo sean técnicamente viables, sino también económicamente sostenibles y socialmente apropiadas.

En este sentido, el estudio propone la formulación conceptual de un sistema de alerta temprana basado en tecnologías de bajo costo e Internet de las Cosas (IoT), como una estrategia orientada a ampliar el acceso a herramientas de monitoreo en tiempo real. Este enfoque permite abordar la brecha tecnológica existente, facilitando el análisis de soluciones potencialmente aplicables en contextos con recursos limitados.

Adicionalmente, la investigación incorpora un enfoque de participación comunitaria, reconociendo que la efectividad de los sistemas de alerta temprana depende en gran medida de su apropiación social. Este planteamiento es coherente con las directrices de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, que destacan la importancia de la articulación entre tecnología y comunidad.

Finalmente, la relevancia del estudio radica en su aporte al análisis de soluciones costo-eficientes, escalables y replicables, que puedan contribuir al fortalecimiento de la gestión del riesgo de inundaciones en contextos urbanos vulnerables. En este sentido, la investigación no solo aporta a la comprensión del problema, sino que también ofrece elementos conceptuales que pueden servir como base para futuras iniciativas orientadas a la reducción del riesgo y al fortalecimiento de la resiliencia comunitaria.

## 11 2. MARCO REFERENCIAL

### 11.1 2.1. Marco Conceptual

**Inundaciones como fenómeno hidrometeorológico.** Las inundaciones son consideradas uno de los desastres naturales más frecuentes y con mayor impacto a nivel global, afectando tanto a zonas urbanas como rurales. Se producen cuando el volumen de agua excede la capacidad de los cauces naturales o de los sistemas de drenaje, generando desbordamientos que afectan territorios habitados. Este fenómeno puede originarse por precipitaciones intensas, crecientes súbitas, fallas en infraestructura hidráulica o cambios en el uso del suelo (Alfieri et al., 2022).

En las últimas décadas, diversos estudios han evidenciado un incremento significativo en la frecuencia e intensidad de las inundaciones, asociado principalmente al cambio climático. Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021), el aumento de la temperatura global ha intensificado los ciclos hidrológicos, generando eventos de lluvia más extremos y, en consecuencia, mayores riesgos de inundación. Adicionalmente, factores antrópicos como la urbanización no planificada, la impermeabilización del suelo y la ocupación de zonas cercanas a fuentes hídricas han incrementado la vulnerabilidad de las ciudades frente a este tipo de eventos (Hirabayashi et al., 2021). En este sentido, las inundaciones deben ser comprendidas como el resultado de la interacción entre amenazas naturales y condiciones de vulnerabilidad social.

**Sistemas de Alerta Temprana (SAT).** Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) constituyen uno de los instrumentos más relevantes dentro de la gestión del riesgo de desastres, ya que permiten anticipar la ocurrencia de eventos peligrosos y reducir sus impactos mediante la emisión de alertas oportunas. Un SAT se compone de cuatro elementos esenciales: monitoreo de la amenaza, análisis de la información, difusión de alertas y capacidad de respuesta. La efectividad del sistema depende de la adecuada articulación entre estos componentes, así como de la participación activa de la comunidad (Basher, 2021).

En el caso de las inundaciones, los sistemas de alerta temprana se basan en el monitoreo de variables hidrológicas como el nivel del agua, la precipitación y el caudal. A partir de estas variables, se establecen umbrales críticos que permiten activar alertas en función del nivel de riesgo (Khan et al., 2023). No obstante, estudios recientes han identificado limitaciones en los sistemas tradicionales, relacionadas con su alto costo, dependencia de infraestructura centralizada

y baja accesibilidad en comunidades vulnerables (Zhang et al., 2022). Estas restricciones han impulsado el desarrollo de alternativas basadas en tecnologías más accesibles y adaptables a contextos locales.

**Internet de las Cosas (IoT).** El Internet de las Cosas (IoT) es una tecnología emergente que permite la interconexión de dispositivos físicos a través de redes digitales, facilitando la recolección, transmisión y procesamiento de datos en tiempo real. Esta tecnología ha sido ampliamente adoptada en el monitoreo ambiental debido a su capacidad de automatización, escalabilidad y flexibilidad (Ray, 2021).

En el contexto de la gestión del riesgo de inundaciones, el IoT posibilita la implementación de sistemas de monitoreo distribuidos, en los cuales los sensores capturan información en campo, la transmiten a plataformas digitales y permiten la generación de alertas de manera automatizada. Esto contribuye a la reducción de los tiempos de respuesta y al fortalecimiento de la capacidad de anticipación frente a eventos críticos (Li et al., 2022). Asimismo, el uso de tecnologías IoT de bajo costo amplía su aplicabilidad en contextos con limitaciones económicas, favoreciendo la adopción de soluciones de monitoreo en comunidades vulnerables (Al-Fuqaha et al., 2022). Esta característica resulta especialmente relevante en escenarios donde se requieren alternativas tecnológicas accesibles y sostenibles.

**Sensores y monitoreo ambiental.** Los sensores son dispositivos fundamentales en los sistemas basados en IoT, ya que permiten captar variables físicas del entorno y transformarlas en datos procesables. En el caso del monitoreo de inundaciones, los sensores de nivel de agua son utilizados para identificar variaciones en el comportamiento de fuentes hídricas y detectar condiciones de riesgo. Existen diferentes tipos de sensores empleados en este tipo de aplicaciones, entre los que se destacan los sensores ultrasónicos, de presión y resistivos. La selección del tipo de sensor depende de factores como la precisión requerida, el costo, las condiciones ambientales y la facilidad de instalación (Khan et al., 2023). El monitoreo ambiental mediante redes de sensores distribuidos ha demostrado ser una herramienta efectiva para la gestión del riesgo, al permitir la obtención de datos en tiempo real y la generación de alertas tempranas (Ahmed et al., 2023).

**Resiliencia comunitaria.** La resiliencia comunitaria se refiere a la capacidad de las comunidades para anticipar, resistir, adaptarse y recuperarse frente a eventos adversos. Este

concepto es fundamental en la gestión del riesgo, ya que reconoce el papel activo de las comunidades en la reducción de su vulnerabilidad (Cutter et al., 2021). Investigaciones recientes destacan que la resiliencia no depende únicamente de factores físicos o tecnológicos, sino también de aspectos sociales como la organización comunitaria, el acceso a información y la participación en procesos de toma de decisiones (CEPAL, 2022). En este sentido, el fortalecimiento de la resiliencia comunitaria implica la implementación de estrategias que promuevan la apropiación social del conocimiento, permitiendo a las comunidades interpretar la información disponible y actuar de manera oportuna ante situaciones de riesgo.

**Innovación social y tecnologías apropiadas.** La innovación social se refiere al desarrollo de soluciones orientadas a atender problemáticas sociales mediante enfoques sostenibles e inclusivos. En este marco, las tecnologías apropiadas son aquellas que se adaptan a las condiciones específicas del contexto, considerando factores económicos, culturales y técnicos (Murray et al., 2021). En el ámbito de la gestión del riesgo, la innovación social implica la integración de herramientas tecnológicas con procesos participativos, con el fin de reducir la vulnerabilidad y mejorar la calidad de vida de las comunidades. El uso de tecnologías de bajo costo, como sensores y microcontroladores, constituye una estrategia clave para ampliar el acceso a herramientas de monitoreo y alerta temprana. Estas soluciones permiten superar barreras económicas y tecnológicas, facilitando su implementación en contextos con recursos limitados (Al-Fuqaha et al., 2022).

En conjunto, los conceptos abordados permiten comprender la gestión del riesgo de inundaciones desde una perspectiva integral, en la cual convergen factores ambientales, tecnológicos y sociales. La articulación entre los sistemas de alerta temprana, las tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas y los enfoques de resiliencia comunitaria configura un marco conceptual sólido para el análisis de soluciones orientadas a la reducción del riesgo en contextos urbanos vulnerables.

## **11.2 2.2. Marco Contextual**

El proyecto "Río Seguro" se inscribe en un contexto global caracterizado por una intensificación progresiva de los eventos hidrometeorológicos extremos, particularmente las inundaciones, las cuales han incrementado tanto en frecuencia como en magnitud durante las

últimas décadas. En particular, el fortalecimiento del ciclo hidrológico ha generado precipitaciones más intensas y concentradas en periodos cortos de tiempo, lo que incrementa significativamente la probabilidad de desbordamientos y eventos de inundación (IPCC, 2021; Blöschl et al., 2022). No obstante, reducir el problema únicamente a una dimensión climática resulta insuficiente, ya que diversos estudios han demostrado que el impacto de las inundaciones está profundamente mediado por factores sociales, económicos y territoriales, evidenciando que el riesgo es el resultado de la interacción entre amenazas naturales y condiciones de vulnerabilidad (Tellman et al., 2021).

Desde esta perspectiva, el aumento del riesgo de inundaciones no responde exclusivamente a dinámicas ambientales, sino también a procesos estructurales asociados al desarrollo urbano y a la gestión del territorio. Esta situación es particularmente evidente en América Latina y el Caribe, donde el crecimiento urbano ha estado marcado por altos niveles de informalidad, desigualdad y limitada planificación territorial (CEPAL, 2022). A ello se suma la insuficiencia de infraestructura de drenaje y la baja capacidad institucional para gestionar el riesgo, lo que configura escenarios de alta vulnerabilidad frente a eventos hidrometeorológicos (Sánchez & Reyes, 2021).

En este contexto regional, la gestión del riesgo de desastres enfrenta importantes desafíos, especialmente en lo relacionado con los sistemas de monitoreo y alerta temprana. En muchos casos, los sistemas existentes son altamente centralizados y dependen de infraestructuras costosas, lo que dificulta su adopción en comunidades con recursos limitados (WMO, 2022). Esta situación evidencia una brecha tecnológica que limita la capacidad de anticipación frente a eventos críticos y, en consecuencia, incrementa la vulnerabilidad de las poblaciones expuestas.

A nivel nacional, Colombia refleja de manera clara estas tensiones entre amenaza y vulnerabilidad. Si bien el país ha avanzado en la consolidación de un marco institucional para la gestión del riesgo, diversos análisis sugieren que persisten debilidades en la implementación efectiva de estrategias preventivas, especialmente a nivel local (IDEAM, 2022). Eventos asociados a fenómenos como La Niña han evidenciado no solo la magnitud del riesgo, sino también las limitaciones en la capacidad de respuesta y anticipación (Aristizábal et al., 2021).

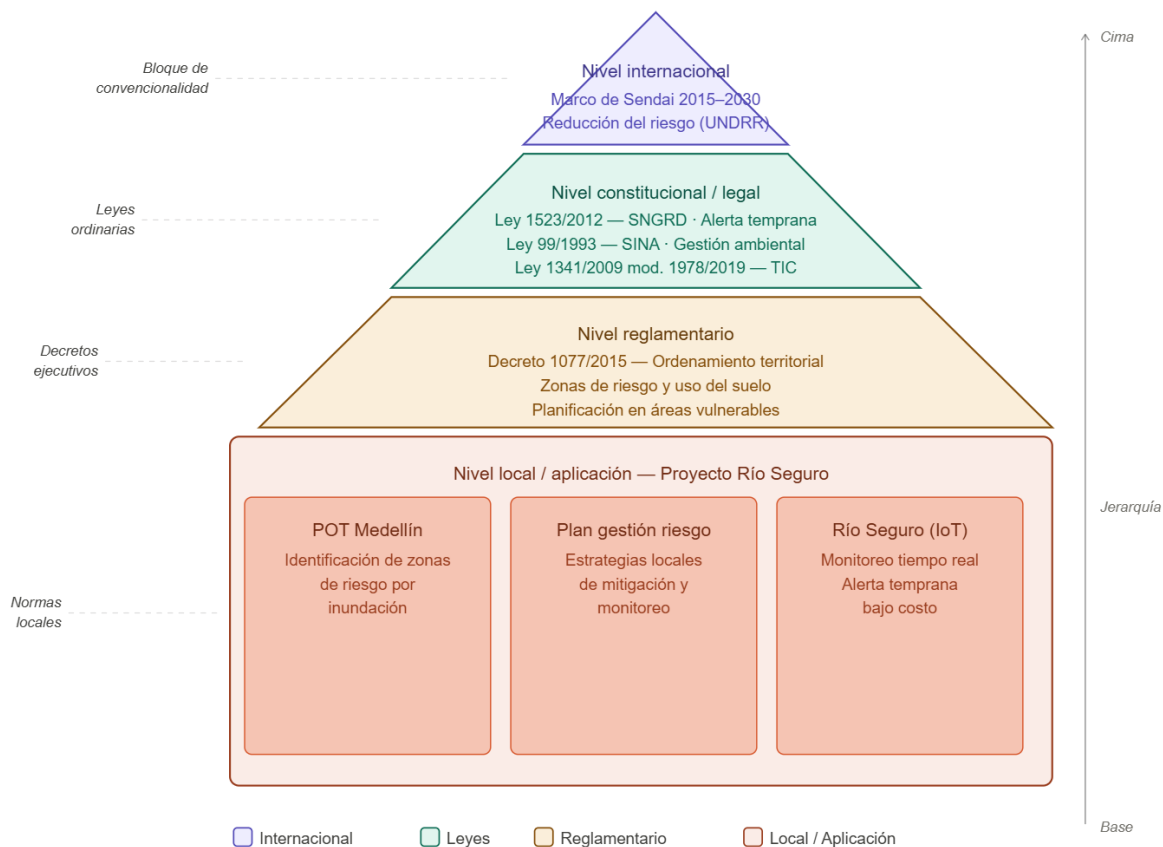
En el ámbito local, la ciudad de Medellín constituye un caso relevante para el análisis del riesgo de inundaciones. Su configuración geográfica, caracterizada por un valle estrecho

atravesado por múltiples quebradas y el río Medellín, sumada a su topografía montañosa, genera condiciones propicias para la ocurrencia de crecientes súbitas (Restrepo et al., 2021). Aunque Medellín cuenta con avances en monitoreo hidrometeorológico, estudios recientes evidencian que estos no cubren de manera homogénea todas las zonas vulnerables, particularmente aquellas con menores recursos económicos (Quintero et al., 2022). Adicionalmente, la limitada participación comunitaria en los procesos de gestión del riesgo reduce la efectividad de las estrategias implementadas (Cardona et al., 2021).

En este escenario, el uso de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) ha sido identificado en la literatura como una alternativa viable para el desarrollo de sistemas de monitoreo distribuidos, capaces de operar en tiempo real y a bajo costo (Ahmed et al., 2023). Sin embargo, su efectividad depende de su articulación con dinámicas comunitarias y del contexto territorial en el que se aplican.

### **11.3 2.3. Marco Legal**

El análisis del proyecto "Río Seguro" se fundamenta en un marco normativo que articula disposiciones internacionales, nacionales y locales orientadas a la gestión del riesgo de desastres, la protección del medio ambiente y el uso de tecnologías para la prevención de emergencias. Este marco legal no solo establece lineamientos para la actuación institucional, sino que también define responsabilidades en materia de prevención, mitigación y respuesta frente a eventos como las inundaciones.



*Figura 1. Pirámide de Kelsen adaptada al marco normativo del proyecto "Río Seguro"*

Nota. Elaboración propia basada en Kelsen (1934) y la normativa vigente en Colombia.

En el ámbito internacional, uno de los principales referentes es el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030, el cual promueve un enfoque integral basado en la comprensión del riesgo, el fortalecimiento de la gobernanza y la inversión en medidas de reducción del riesgo. Este instrumento destaca la importancia de los sistemas de alerta temprana como herramientas fundamentales para la protección de la vida y los bienes (UNDRR, 2022).

A nivel nacional, Colombia cuenta con un marco normativo robusto en materia de gestión del riesgo de desastres, encabezado por la Ley 1523 de 2012, la cual establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD). Esta ley define la gestión del riesgo como un proceso social orientado a la formulación, ejecución y evaluación de políticas, estrategias y

acciones dirigidas a la reducción del riesgo y al manejo de desastres (Congreso de la República de Colombia, 2012).

En relación con la gestión ambiental, la Ley 99 de 1993 establece los principios generales de la política ambiental en Colombia y crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA), reconociendo la importancia de la prevención de desastres como parte de la gestión ambiental (Congreso de la República de Colombia, 1993). El Decreto 1077 de 2015 establece lineamientos para la planificación del uso del suelo, incluyendo la identificación y restricción de áreas de riesgo, aunque diversos estudios han señalado limitaciones en su aplicación (Sánchez & Reyes, 2021).

En el ámbito tecnológico, la Ley 1341 de 2009, modificada por la Ley 1978 de 2019, regula el sector de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en Colombia, promoviendo su uso para el desarrollo social y económico. Esta normativa fomenta la innovación y el acceso a tecnologías digitales, lo que respalda el análisis de soluciones basadas en IoT en el contexto de la gestión del riesgo (Congreso de la República de Colombia, 2009; Congreso de la República de Colombia, 2019).

En conclusión, el marco legal analizado evidencia que existe un respaldo normativo suficiente para el desarrollo de estrategias orientadas a la gestión del riesgo mediante el uso de tecnologías innovadoras, y pone de manifiesto la existencia de brechas entre la formulación de políticas y su aplicación efectiva.

#### **11.4 2.4. Marco Teórico**

El análisis del riesgo de inundaciones y el estudio de sistemas tecnológicos orientados a su mitigación requieren una comprensión integral que articule distintos enfoques teóricos provenientes de áreas como la gestión del riesgo de desastres, la hidrología, la ingeniería de sistemas y las tecnologías emergentes. El presente marco teórico se fundamenta en la convergencia de tres ejes principales: la teoría del riesgo y la vulnerabilidad, los sistemas de alerta temprana y el paradigma del Internet de las Cosas (IoT) aplicado a la gestión ambiental.

En primer lugar, la teoría del riesgo de desastres establece que el impacto de eventos como las inundaciones no depende exclusivamente de la amenaza natural, sino de la interacción entre la exposición, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta de los sistemas sociales. Según Cardona

et al. (2021), el riesgo se configura como una función dinámica que integra factores físicos, sociales, económicos e institucionales, lo que implica que su reducción requiere intervenciones multidimensionales. Esta perspectiva es reforzada por el IPCC (2021), que señala que el cambio climático está intensificando la frecuencia y severidad de eventos hidrometeorológicos, incrementando así la incertidumbre y complejidad en la gestión del riesgo.

Desde un enfoque hidrológico, las inundaciones son procesos naturales que pueden verse exacerbados por factores antrópicos como la urbanización desordenada, la impermeabilización del suelo y la deficiente planificación territorial. Estudios recientes han demostrado que el crecimiento urbano sin control incrementa significativamente la escorrentía superficial, reduciendo la capacidad de absorción del terreno y aumentando la probabilidad de desbordamientos (Sánchez & Reyes, 2021). En el caso colombiano, investigaciones han evidenciado que fenómenos como La Niña intensifican las precipitaciones, generando escenarios de alto riesgo (Aristizábal et al., 2021).

En este contexto, los sistemas de alerta temprana (SAT) emergen como una de las estrategias más efectivas para la reducción del riesgo de desastres. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2022), un sistema de alerta temprana eficiente se compone de cuatro elementos fundamentales: conocimiento del riesgo, monitoreo y pronóstico, comunicación de alertas y capacidad de respuesta. Diversos estudios han señalado que, en muchos países en desarrollo, estos sistemas presentan limitaciones asociadas a la cobertura, la precisión de los datos y la oportunidad en la transmisión de la información (Basher, 2021).

Es precisamente en este punto donde las tecnologías emergentes, particularmente el Internet de las Cosas (IoT), adquieren relevancia teórica. El IoT se define como una red de dispositivos interconectados capaces de recolectar, procesar y transmitir datos en tiempo real (Li et al., 2022). Diversos estudios han demostrado el potencial del IoT en la gestión del riesgo de inundaciones. Ahmed et al. (2023) destacan que los sistemas basados en IoT permiten una detección temprana más precisa y una respuesta más rápida. Asimismo, Khan et al. (2023) evidencian que los sistemas de monitoreo en tiempo real basados en sensores de bajo costo pueden ser aplicados en contextos urbanos vulnerables, ampliando el acceso a tecnologías de prevención.

Desde una perspectiva de arquitectura de sistemas, el IoT se estructura en tres capas fundamentales: percepción, red y aplicación (Ray, 2021). La capa de percepción incluye sensores

y dispositivos físicos encargados de la recolección de datos; la capa de red permite la transmisión de dicha información a través de protocolos de comunicación; y la capa de aplicación procesa los datos para generar información útil para la toma de decisiones. Esta estructura teórica resulta fundamental para el análisis de propuestas tecnológicas, ya que permite comprender la integración de los distintos componentes dentro de un sistema funcional.

En este marco, es necesario considerar aspectos relacionados con la calidad de los datos, especialmente cuando se emplean dispositivos de bajo costo. La estabilidad, precisión y confiabilidad de los sensores inciden directamente en la efectividad de los sistemas de alerta temprana. Desde la perspectiva de la gestión de la calidad, la generación de falsas alarmas puede afectar la confianza de la comunidad, por lo que resulta pertinente considerar estrategias de aseguramiento metrológico que garanticen la validez y consistencia de las mediciones.

Adicionalmente, el enfoque de resiliencia cobra un papel central en la construcción teórica del estudio. La resiliencia se entiende como la capacidad de un sistema para anticipar, resistir, adaptarse y recuperarse frente a eventos adversos (Cutter et al., 2021). La innovación social se presenta como un elemento transversal que permite articular la tecnología con las necesidades reales de la población. Según Murray et al. (2021), las soluciones tecnológicas solo son efectivas cuando están alineadas con el contexto social.

En este marco, resulta pertinente incorporar la teoría de gestión de interesados propia de la gerencia de proyectos, en la cual la comunidad se configura como un actor clave cuya capacidad de respuesta incide directamente en la efectividad de los sistemas de alerta temprana. Así, la participación activa y el fortalecimiento de capacidades comunitarias se convierten en factores determinantes para su funcionamiento.

En consecuencia, el presente estudio se fundamenta en la premisa de que la incorporación de tecnologías emergentes en la gestión del riesgo puede contribuir al fortalecimiento de la capacidad de monitoreo, anticipación y respuesta, así como al desarrollo de territorios más resilientes y sostenibles.

## **12 3. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **12.1 3.1. Línea de Investigación Institucional**

El presente estudio se enmarca en la línea de investigación institucional de la Corporación Universitaria Minuto de Dios (UNIMINUTO), orientada a la Innovación Social y el Desarrollo Sostenible, la cual promueve la generación de soluciones pertinentes a problemáticas sociales mediante la articulación entre conocimiento aplicado, tecnología y participación comunitaria.

De manera específica, la investigación se articula con la sublínea de Gestión y Desarrollo de Proyectos del programa de Especialización en Gerencia de Proyectos, enfocada en la formulación, análisis y evaluación de iniciativas orientadas a la solución de problemáticas sociales. En este contexto, el estudio se orienta al análisis y formulación conceptual de una propuesta tecnológica de bajo costo para la gestión del riesgo de inundaciones, en coherencia con los principios de sostenibilidad e innovación social promovidos por la institución.

### **12.2 3.2. Eje Temático**

La presente investigación se enmarca en el eje temático de gestión de proyectos con enfoque tecnológico y social, integrando herramientas propias de la dirección de proyectos, tales como el análisis de viabilidad, la gestión de riesgos y la estructuración de propuestas orientadas al fortalecimiento de los procesos organizacionales y comunitarios.

Como referente metodológico, se consideran las buenas prácticas establecidas en la Guía del PMBOK® (PMI, 2021), especialmente aquellas relacionadas con la gestión del alcance, la gestión de riesgos y la gestión de los interesados. De manera complementaria, se incorpora la metodología de Marco Lógico como herramienta para la estructuración y análisis de la propuesta, dado que permite visualizar de manera sistémica la relación entre los objetivos, los resultados esperados y los recursos disponibles.

### **12.3 3.3. Enfoque de Investigación y Paradigma**

La investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto, en tanto integra elementos cuantitativos y cualitativos para abordar de manera integral la problemática del riesgo de inundaciones. Desde la perspectiva cuantitativa, el estudio se orienta al análisis de variables hidrológicas y técnicas reportadas en fuentes secundarias, tales como niveles de precipitación,

caudales y registros históricos de eventos. Desde la perspectiva cualitativa, se analizan aspectos relacionados con la vulnerabilidad social, la percepción del riesgo y la capacidad de respuesta comunitaria.

El paradigma investigativo predominante es de carácter analítico–descriptivo, con una orientación aplicada, ya que los resultados del estudio están dirigidos a la formulación de una propuesta concreta de intervención. Este paradigma se sustenta en la revisión, sistematización y análisis crítico de evidencia empírica disponible en la literatura especializada, así como en el diagnóstico de las condiciones de riesgo en el contexto local.

#### **12.4 3.4. Diseño de la Investigación**

El diseño metodológico corresponde a un enfoque no experimental, dado que no se realiza manipulación de variables ni intervención directa sobre el entorno de estudio, sino que se fundamenta en la evaluación de fuentes secundarias, revisión documental y diagnóstico de las condiciones existentes. La investigación no experimental permite analizar fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, sin introducir modificaciones artificiales que alteren sus características.

Desde la dimensión temporal, el estudio es de tipo transversal, desarrollándose a partir de datos y registros recopilados en un periodo específico. Esto implica que los resultados reflejan una fotografía del estado actual del fenómeno estudiado, sin pretender hacer seguimiento longitudinal de su evolución. Asimismo, la investigación presenta un carácter propositivo, en tanto orienta sus resultados hacia la formulación conceptual de una alternativa de solución basada en tecnologías IoT para la gestión del riesgo de inundaciones.

#### **12.5 3.5. Alcance de la Investigación**

El estudio posee un alcance principalmente descriptivo, debido a que caracteriza las condiciones asociadas al riesgo de inundación en zonas vulnerables de la ciudad de Medellín, identificando variables físicas, sociales e institucionales relevantes para la comprensión del fenómeno. A partir de esta caracterización, la investigación incorpora un alcance correlacional al examinar la relación entre variables hidrológicas —como los niveles de precipitación y el comportamiento de los caudales— y los distintos escenarios de riesgo identificados en las zonas

priorizadas. Este proceso conduce a un componente propositivo orientado a la formulación conceptual de un sistema de alerta temprana basado en tecnologías IoT.

### **12.5.1 3.5.1. Población y Muestra**

La población objeto de estudio comprende los asentamientos humanos ubicados en zonas de alta vulnerabilidad por inundación en la ciudad de Medellín, categorizados como Zonas de Alto Riesgo (ZAR) según los registros del DAGRD (2021). Dado el carácter propositivo del estudio, la selección de las unidades de análisis no responde a un proceso de muestreo probabilístico, sino a un muestreo no probabilístico de tipo intencional o por conveniencia, en el cual se priorizan aquellas zonas que presentan mayor relevancia para los objetivos de la investigación.

Se seleccionaron seis (6) unidades de análisis territoriales bajo los siguientes criterios técnicos: recurrencia histórica de eventos de inundación o crecientes súbitas; condiciones geomorfológicas que incrementan la exposición al riesgo, como la cercanía a fuentes hídricas torrenciales; niveles de vulnerabilidad socioeconómica de la población; y pertinencia técnica para la instalación de nodos de monitoreo IoT. Las zonas priorizadas corresponden a sectores de las comunas 1 (Popular), 3 (Manrique), 7 (Robledo), 8 (Villa Hermosa), 13 (San Javier) y 14 (El Poblado), cuya descripción detallada se presenta en la sección de resultados.

### **12.5.2 3.5.2. Fuentes y Técnicas de Recolección de Información**

La recolección de información se sustenta en el uso de fuentes secundarias de carácter técnico y oficial, tales como registros históricos y reportes hidrológicos del DAGRD y el SIATA, bases de datos pluviométricos e hidrometeorológicos del IDEAM, informes de gestión del riesgo de la UNGRD y literatura científica especializada en sistemas IoT, gestión del riesgo y resiliencia comunitaria.

La técnica principal empleada es la revisión documental sistemática, aplicada para recopilar, organizar y triangular la evidencia empírica existente sobre la problemática estudiada. Esta técnica permite identificar patrones, tendencias y vacíos en el conocimiento disponible, facilitando la construcción de una base conceptual sólida para la formulación de la propuesta. Como instrumentos de recolección se emplean matrices de sistematización bibliográfica y fichas de caracterización técnica de las zonas de riesgo.

### **12.5.3 3.5.3. Análisis y Tratamiento de la Información**

El análisis de la información se desarrolla mediante un proceso sistemático orientado a la identificación de patrones de riesgo, variables críticas y condicionantes técnicos para la implementación de un sistema de alerta temprana. En primer lugar, se realiza una triangulación de fuentes que permite contrastar los datos hidrológicos disponibles con la información institucional y los hallazgos de la literatura especializada.

A partir de este análisis, se propone la definición conceptual de umbrales de alerta, basada en la clasificación de niveles de riesgo (preventivo, medio y crítico), como herramienta analítica para la comprensión del comportamiento del fenómeno. De manera complementaria, se plantea una modelación funcional del sistema de alerta temprana a nivel conceptual, que permite visualizar la integración de los componentes tecnológicos y sociales de la propuesta. Finalmente, se incorpora un análisis multicriterio que integra variables técnicas, económicas y sociales para la evaluación de la viabilidad de la propuesta.

### **12.6 3.6. Ruta Metodológica de Formulación de la Propuesta**

Para la estructuración de la propuesta "Río Seguro", se establece una ruta metodológica secuencial compuesta por cinco fases que garantizan la transición ordenada desde el diagnóstico técnico hasta la formulación gerencial de la iniciativa:

**Fase 1: Diagnóstico y revisión documental.** Recopilación, clasificación y validación de fuentes secundarias sobre la amenaza hidrológica en la ciudad de Medellín, incluyendo registros históricos de eventos, informes institucionales y literatura científica especializada. Esta fase establece la base empírica sobre la cual se construye la propuesta.

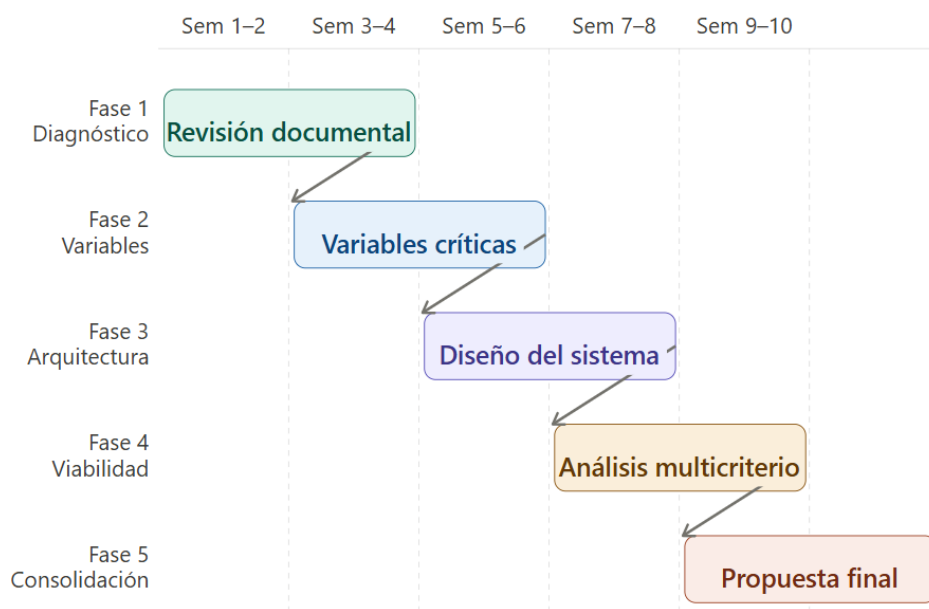
**Fase 2: Identificación de variables críticas.** Determinación de los factores técnicos (umbrales de precipitación, niveles de caudal) y sociales (niveles de vulnerabilidad, capacidad de respuesta comunitaria) que condicionan la activación del riesgo en las zonas priorizadas. Esta fase permite orientar el diseño del sistema hacia las condiciones reales del territorio.

**Fase 3: Diseño de la arquitectura conceptual.** Planteamiento de la estructura funcional del sistema IoT, definiendo los componentes de sensórica, conectividad y mecanismos de alerta

temprana. En esta fase se propone la integración de sensores de nivel de agua, microcontroladores, protocolos de comunicación y plataformas de monitoreo en tiempo real.

**Fase 4: Evaluación de viabilidad estratégica.** Aplicación de un análisis multicriterio orientado a determinar la sostenibilidad técnica, económica y social de la propuesta. Esta fase considera variables como el costo estimado de implementación, la disponibilidad de infraestructura tecnológica y la capacidad institucional para gestionar el sistema.

**Fase 5: Consolidación de la propuesta y recomendaciones.** Formulación de lineamientos estratégicos y hoja de ruta para una eventual implementación por parte de actores gubernamentales o comunitarios. En esta fase se articulan los resultados de las fases anteriores en un documento técnico que sirva como insumo para futuras iniciativas.

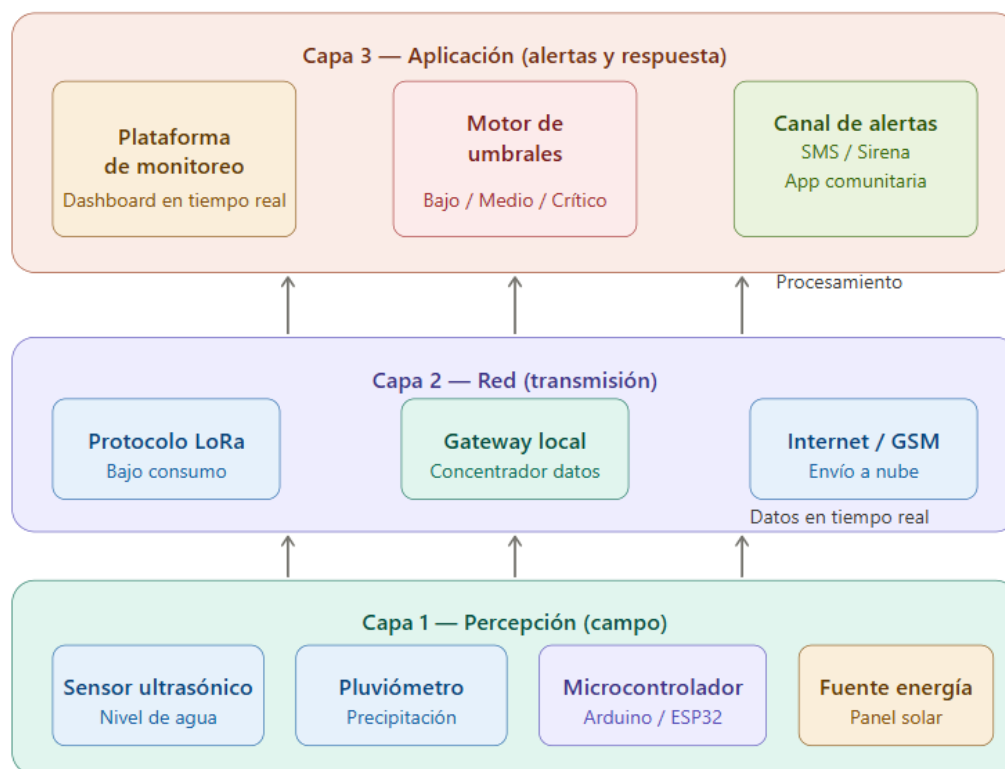


*Figura 2. Cronograma conceptual de Gantt — Ruta metodológica del proyecto "Río*

*Seguro"*

Nota. Elaboración propia con base en PMI (2021). Nota: El cronograma es de carácter conceptual. Los tiempos están expresados en semanas académicas de trabajo. La representación corresponde a la ruta metodológica descrita en la sección 3.6.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES



*Figura 3. Arquitectura conceptual del sistema de alerta temprana "Río Seguro" basado en IoT*

Nota. Elaboración propia basada en Ray (2021) y Li et al. (2022).

La arquitectura conceptual del sistema "Río Seguro" se estructura en tres capas funcionales interconectadas, siguiendo el modelo de referencia IoT propuesto por Ray (2021), el cual organiza los sistemas de monitoreo distribuido en niveles de percepción, red y aplicación.

La capa de percepción constituye el nivel más próximo al entorno físico y es responsable de la captura de variables hidrológicas en campo. En esta capa se integran sensores ultrasónicos para la medición del nivel del agua y pluviómetros para el registro de precipitación acumulada, ambos articulados a un microcontrolador de bajo costo —como Arduino o ESP32— que procesa

y prepara los datos para su transmisión. La alimentación energética de los nodos se garantiza mediante paneles solares, lo que favorece la autonomía operativa en contextos con acceso limitado a la red eléctrica convencional.

La capa de red cumple la función de transmisión de la información captada en campo hacia una plataforma centralizada. Para ello, el sistema emplea el protocolo LoRa (Long Range), caracterizado por su bajo consumo energético y su capacidad de cobertura en entornos urbanos complejos, lo que lo convierte en una alternativa adecuada para contextos con infraestructura de comunicaciones limitada (Li et al., 2022). Los datos son consolidados en un gateway local antes de ser enviados a la nube mediante conectividad GSM o Internet disponible.

La capa de aplicación integra los componentes de procesamiento, análisis y difusión de alertas. En esta capa, una plataforma de monitoreo en tiempo real recibe y visualiza los datos transmitidos, mientras que un motor de umbrales evalúa automáticamente los niveles registrados y determina el nivel de alerta correspondiente —preventivo, medio o crítico—. Una vez activada la alerta, el sistema la difunde a través de canales accesibles para la comunidad, tales como mensajes SMS, sirenas locales o aplicaciones móviles. Este modelo arquitectónico es coherente con los hallazgos de Ahmed et al. (2023), quienes evidencian que los sistemas de monitoreo basados en IoT con arquitectura de tres capas mejoran significativamente los tiempos de detección y respuesta ante eventos hidrológicos extremos.

**Tabla 1**

*Matriz de interesados del proyecto "Río Seguro"*

Interesado	Rol	Influencia	Interés	Posición	Estrategia de gestión
DAGR (Medellín)	Entidad rectora del riesgo local	Alto	Alto	Favorable	Vinculación desde diagnóstico.

Interesado	Rol	Influencia	Interés	Posición	Estrategia de gestión
					Suministro de datos históricos.
SIATA	Proveedor de datos hidrometeorológicos	Alto	Alto	Favorable	Articulación técnica para calibración de umbrales.
UNIMINUTO	Institución académica ejecutora	Alto	Alto	Favorable	Supervisión metodológica y validación académica.
Alcaldía de Medellín	Entidad territorial de gobierno	Alto	Medio	Neutral / Potencialmente favorable	Socialización de resultados y gestión de recursos.
Comunidades vulnerables prioritizadas	Beneficiarios directos	Medio	Alto	Favorable	Procesos participativos y formación en gestión del riesgo.
Organismos de socorro	Respuesta ante emergencias	Medio	Alto	Favorable	Coordinación de protocolos vinculados al sistema de alertas.

Interesado	Rol	Influencia	Interés	Posición	Estrategia de gestión
Sector privado (proveedores IoT)	Proveedores tecnológicos	Medio	Medio	Neutral	Evaluación de alternativas de costo-eficiencia.
Comunidad académica e investigadores	Validación científica	Bajo	Alto	Favorable	Difusión de resultados en espacios académicos.

*Nota.* El nivel de influencia hace referencia a la capacidad del interesado para afectar el desarrollo del proyecto; el nivel de interés refleja el grado de involucramiento esperado.

Clasificación adaptada de la Guía del PMBOK® (PMI, 2021).

La matriz de interesados presentada permite identificar los actores clave del proyecto y definir estrategias diferenciadas de gestión de acuerdo con su nivel de influencia e interés. Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, la adecuada gestión de los interesados es un factor determinante para la viabilidad y sostenibilidad de cualquier iniciativa (PMI, 2021). En el caso de "Río Seguro", el DAGRD y el SIATA se configuran como aliados estratégicos en la fase de diagnóstico y validación técnica, mientras que las comunidades vulnerables priorizadas son los beneficiarios directos cuya participación activa es indispensable para la efectividad del sistema.

En este marco, la propuesta contempla la configuración de nodos de monitoreo compuestos por sensores de nivel de agua, integrados a microcontroladores con capacidad de transmisión de datos mediante redes de comunicación de bajo consumo energético. Estos componentes permitirían la recolección y envío continuo de datos hacia una plataforma centralizada, donde la información sería procesada para la generación de alertas basadas en umbrales previamente definidos.

Diversos estudios recientes respaldan la pertinencia de este enfoque, señalando que los sistemas basados en IoT pueden mejorar significativamente la capacidad de monitoreo y respuesta ante eventos de inundación, especialmente en contextos caracterizados por limitaciones de infraestructura y recursos técnicos (Siddique et al., 2023). La evidencia sugiere que la incorporación de tecnologías de sensado distribuido permite ampliar la cobertura del monitoreo hidrometeorológico a escalas locales, superando las limitaciones propias de los sistemas centralizados.

**Tabla 2**

*Umbral de alerta del sistema de monitoreo "Río Seguro" basados en ocupación del cauce y precipitación acumulada*

Nivel	Color	Ocupación del cauce	Precipitación	Indicadores observables	Acciones requeridas
Preventivo	Amarillo	50 %–70 %	20–40 mm/h	Incremento visible del caudal. Agua turbia. Arrastre leve de sedimentos. El cauce contiene el flujo sin riesgo inmediato.	Monitoreo continuo. Notificación a líderes comunitarios. Verificación de canales de comunicación. Alistamiento de rutas de evacuación.
Medio	Naranja	71 %–85 %	41–70 mm/h	Caudal alto con desbordamiento incipiente en zonas de menor cota. Arrastre de material. Ruido hidráulico intenso.	Alerta formal al DAGRD y organismos de socorro. Evacuación preventiva de zonas de mayor exposición.

Nivel	Color	Ocupación del cauce	Precipitación	Indicadores observables	Acciones requeridas
					Suspensión de actividades en zonas de retiro.
Crítico	Rojo	> 85 %	> 70 mm/h	Desbordamiento activo o inminente. Pérdida de control del cauce. Arrastre de objetos de gran tamaño. Riesgo directo para la vida.	Evacuación inmediata. Activación del Plan Municipal de Emergencias. Coordinación con Bomberos, Defensa Civil y DAGRD. Corte de servicios en zonas afectadas.

*Nota.* Los umbrales de ocupación del cauce se expresan en términos porcentuales respecto a la capacidad máxima de cada cauce monitoreado. Los valores de precipitación acumulada corresponden a parámetros hidrológicos de referencia del SIATA. Ambos indicadores deben interpretarse de manera conjunta para la activación de alertas. La calibración definitiva de estos umbrales requiere validación empírica en campo. Fuente: elaboración propia basada en Khan et al. (2023), DAGRD (2021) y criterios hidrométricos del SIATA.

Los resultados de la simulación conceptual sugieren que el sistema propuesto podría contribuir a la detección temprana de incrementos en los niveles hídricos, facilitando la emisión oportuna de alertas. En línea con estos hallazgos, la literatura científica indica que los sistemas de monitoreo en tiempo real basados en IoT fortalecen la capacidad de anticipación en contextos vulnerables (Esposito et al., 2022). La definición de tres niveles de alerta —preventivo, medio y crítico— permite graduar la respuesta comunitaria e institucional según la severidad del evento, lo

que contribuye a optimizar los recursos disponibles y evitar la saturación de los canales de comunicación.

**Tabla 3**

*Zonas territoriales priorizadas para la aplicación del sistema "Río Seguro"*

N°	Zona / Sector	Comuna	Fuente hídrica	Criterio de priorización
1	Sector La Honda – El Pinar	Comuna 1 – Popular	Quebrada La Honda	Alta recurrencia de crecientes súbitas.  Vulnerabilidad socioeconómica alta.
2	Barrio El Pinal – Versalles	Comuna 3 – Manrique	Quebrada La Bermejala	Densidad poblacional elevada. Historial de desbordamientos registrados por DAGRD.
3	Barrio El Salado	Comuna 7 – Robledo	Quebrada La Iguaná	Proximidad crítica al cauce.  Ocupación de zonas de retiro de fuente hídrica.
4	Barrio Villatina	Comuna 8 – Villa Hermosa	Quebrada Ayurá	Antecedente de tragedia de 1987. Persistencia de asentamientos en zona de riesgo alto.
5	Barrio El Corazón	Comuna 13 – San Javier	Quebrada La Hueso	Crecientes recurrentes.  Deficiencia en infraestructura de drenaje urbano.

N°	Zona / Sector	Comuna	Fuente hídrica	Criterio de priorización
6	Sector Las Lomas – Los Balsos	Comuna 14 – El Poblado	Quebrada La Presidenta	Inundaciones recientes de alto impacto. Déficit en infraestructura de drenaje pluvial.

*Nota.* La selección de las seis zonas priorizadas responde a los criterios técnicos descritos en la sección 3.5.1 del presente documento. La inclusión de la Comuna 14 responde a la recurrencia reciente de eventos de inundación de alta magnitud en sectores como Las Lomas y Los Balsos, asociados al desbordamiento de la Quebrada La Presidenta y a deficiencias estructurales en el sistema de drenaje pluvial urbano. Fuente: elaboración propia con base en DAGRD (2021) y Restrepo et al. (2021).

No obstante, la efectividad de los sistemas de alerta temprana no depende exclusivamente del componente tecnológico, sino también de factores sociales, institucionales y operativos. Bajo esta perspectiva, la propuesta incorpora un enfoque de gobernanza comunitaria, reconociendo que la apropiación social del sistema constituye un factor clave para su funcionamiento efectivo. Diversos estudios señalan que los sistemas que integran activamente a la comunidad presentan mayores niveles de efectividad, sostenibilidad y resiliencia frente a eventos extremos (UNDRR, 2019).

Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, los resultados evidencian que la formulación de una propuesta de este tipo requiere un enfoque integrado que articule la dimensión técnica con la dimensión social. La gestión de los interesados, la definición clara del alcance y la identificación de los riesgos del proyecto son elementos fundamentales para garantizar su viabilidad y sostenibilidad en el tiempo (PMI, 2021). En este sentido, la propuesta "Río Seguro" se configura como una iniciativa que, con los ajustes institucionales y comunitarios adecuados,

tiene potencial para contribuir de manera significativa a la reducción del riesgo de inundaciones en comunidades vulnerables de Medellín.

Finalmente, es importante reconocer algunas limitaciones técnicas inherentes a las soluciones basadas en IoT. Entre ellas se destacan la posible latencia en la transmisión de datos en entornos con conectividad inestable, la necesidad de mantenimiento periódico de sensores expuestos a condiciones de alta humedad y variabilidad climática, así como la dependencia de fuentes de energía confiables para garantizar la continuidad operativa del sistema. Estas limitaciones deben ser consideradas como condiciones críticas en futuros procesos de diseño e implementación, a fin de garantizar la robustez y confiabilidad del sistema a largo plazo.

## 13 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 13.1 5.1. Conclusiones

El desarrollo de la presente investigación permite concluir que la integración de tecnologías basadas en el Internet de las Cosas (IoT) constituye una alternativa potencialmente viable para el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana en contextos vulnerables. En virtud de lo expuesto, la incorporación de sensores de bajo costo articulados con plataformas de comunicación en tiempo real se consolida como una estrategia pertinente para el monitoreo continuo de variables hidrológicas, dando respuesta al objetivo relacionado con la estructuración de una solución tecnológica conceptual.

Por consiguiente, los resultados derivados del ejercicio de modelación y simulación conceptual evidencian que un sistema de estas características puede mejorar la capacidad de anticipación frente a eventos de inundación, especialmente en territorios con limitaciones de infraestructura y acceso a tecnologías convencionales. La arquitectura de tres capas propuesta — percepción, red y aplicación— configura un modelo funcional coherente con los estándares técnicos identificados en la literatura especializada, lo que permite dar cumplimiento al objetivo asociado a la evaluación del comportamiento del sistema propuesto.

En relación con el componente social, se concluye que la efectividad de los sistemas de alerta temprana no depende exclusivamente del componente tecnológico, sino de su articulación con dinámicas comunitarias y estrategias integrales de gestión del riesgo. En definitiva, la gobernanza comunitaria se configura como un factor determinante para la apropiación social del sistema y su sostenibilidad en el tiempo, en coherencia con el objetivo orientado a incorporar el enfoque de resiliencia comunitaria.

De igual manera, los escenarios de simulación permiten inferir que la implementación de un sistema de alerta temprana basado en IoT podría reducir los tiempos de respuesta ante eventos críticos, lo que representa un aporte significativo en la mitigación de impactos asociados a inundaciones. El modelo propuesto presenta condiciones favorables de costo-eficiencia, escalabilidad y replicabilidad, respondiendo al objetivo de analizar su viabilidad técnica, económica y social.

Finalmente, se reconoce que la implementación de este tipo de soluciones enfrenta desafíos técnicos y operativos relacionados con la conectividad, el mantenimiento de los dispositivos y la apropiación tecnológica por parte de las comunidades. En consecuencia, estos factores deben ser considerados como condiciones críticas en futuros procesos de implementación, a fin de garantizar la sostenibilidad y efectividad del sistema en el largo plazo.

### **13.2 5.2. Recomendaciones**

A partir de los hallazgos obtenidos en el desarrollo del proyecto "Río Seguro", se plantean las siguientes recomendaciones organizadas por componentes estratégicos, con el fin de orientar su posible evolución hacia escenarios de implementación real.

**Recomendaciones técnicas.** Se recomienda avanzar hacia la validación empírica del modelo mediante la implementación de pruebas piloto en zonas de alto riesgo de la ciudad de Medellín, lo que permitiría contrastar el desempeño del sistema IoT bajo condiciones reales de operación. Adicionalmente, se sugiere fortalecer la arquitectura tecnológica mediante la incorporación de fuentes de energía alternativas, mecanismos de redundancia en la transmisión de datos y estrategias de mitigación de fallas asociadas a conectividad intermitente. La calibración de los umbrales de alerta debe realizarse con datos hidrométricos reales del SIATA para garantizar la precisión de las mediciones.

**Recomendaciones sociales.** En el componente comunitario, se considera fundamental implementar procesos estructurados de capacitación, apropiación tecnológica y sensibilización frente al riesgo, orientados a fortalecer la participación activa de la población en el uso del sistema de alerta temprana. En el caso de "Río Seguro", este aspecto resulta crítico, dado que la efectividad del modelo depende en gran medida del nivel de respuesta comunitaria ante la activación de alertas. Se recomienda, asimismo, incorporar desde el diseño del sistema mecanismos de retroalimentación comunitaria que permitan ajustar los protocolos de respuesta según las condiciones reales de cada territorio.

**Recomendaciones institucionales y de gestión del proyecto.** Desde la perspectiva de gerencia de proyectos, se recomienda promover la articulación entre entidades públicas, privadas y académicas para facilitar la financiación, la sostenibilidad y la escalabilidad del sistema. Resulta pertinente estructurar un análisis formal de riesgos del proyecto en escenarios de implementación,

considerando variables como disponibilidad presupuestal, continuidad operativa, mantenimiento tecnológico y gobernanza del sistema. Asimismo, se sugiere explorar mecanismos de financiación mixtos o por fases, que permitan la implementación progresiva del modelo "Río Seguro" en territorios priorizados según nivel de riesgo.

## 14 REFERENCIAS

- Ahmed, S., Rahman, M., & Islam, T. (2023). IoT-based flood monitoring and early warning systems: A review. *Journal of Hydrology*, 620, 129456. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129456>
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2022). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24(2), 1234–1282. <https://doi.org/10.1109/COMST.2022.3148450>
- Alfieri, L., Bisselink, B., Dottori, F., Naumann, G., de Roo, A., & Feyen, L. (2022). Global projections of river flood risk in a warmer world. *Earth's Future*, 10(1), e2021EF002326. <https://doi.org/10.1029/2021EF002326>
- Aristizábal, E., Gómez, J., & Martínez, H. (2021). Rainfall-induced landslides and floods in Colombia: Impacts of La Niña. *Natural Hazards*, 105(2), 1325–1345. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04393-9>
- Barrera, C., & Rodríguez, M. (2020). Sistema de alerta temprana para inundaciones en microcuencas urbanas mediante tecnologías IoT de bajo costo: caso microcuenca urbana de Bogotá. *Revista Colombiana de Tecnología e Ingeniería Ambiental*, 8(1), 45–62.
- Basher, R. (2021). Global early warning systems for natural hazards: Systematic and people-centred. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2194). <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0201>
- Blöschl, G., Kiss, A., Viglione, A., Barendrecht, M., Blahušiaková, A., Brázdil, R., Castellarin, A., Elekes, M., Gail, G., Szolgay, J., & Kohnová, S. (2022). Current European flood-rich period exceptional compared with past 500 years. *Nature*, 583, 560–566. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2478-3>
- Cardona, O. D., van Aalst, M. K., Birkmann, J., Fordham, M., McGregor, G., Mechler, R., et al. (2021). Determinants of risk: Exposure and vulnerability. En *IPCC — Managing the Risks*

- of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2019). *Experiencias de resiliencia comunitaria y gestión del riesgo en América Latina*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2022). *La vulnerabilidad ante desastres en América Latina*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones>
- Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA)*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>
- Congreso de la República de Colombia. (2009). *Ley 1341 de 2009. Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones — TIC*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36913>
- Congreso de la República de Colombia. (2012). *Ley 1523 de 2012. Por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
- Congreso de la República de Colombia. (2019). *Ley 1978 de 2019. Por la cual se moderniza el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC)*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=97543>
- Cutter, S. L., Ahearn, J. A., Amadei, B., Crawford, P., Eide, E. A., Galloway, G. E., Goodchild, M. F., Kunreuther, H., Li-Vollmer, M., Schoch-Spana, M., & Scrivner, C. (2021). Disaster resilience: A national imperative. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 63(2), 4–17. <https://doi.org/10.1080/00139157.2021.1879632>

- Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGR). (2021). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Medellín*. Alcaldía de Medellín. <https://www.medellin.gov.co/es/dagr/>
- Esposito, C., Trunfio, G. A., & Traina, G. (2022). Real-time IoT-based monitoring systems for urban flood early warning: Architecture and performance analysis. *Sensors*, 22(6), 2124. <https://doi.org/10.3390/s22062124>
- Fakhruddin, S. H. M., Kawasaki, A., & Musiake, K. (2020). Community responses to early warning systems: A review of disaster risk reduction practice. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101655. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101655>
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., & Kanae, S. (2021). Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, 11(5), 354–360. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01027-9>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Informe del estado del clima en Colombia*. IDEAM. <https://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Kelsen, H. (1934). *Reine Rechtslehre [Teoría pura del derecho]*. Franz Deuticke.
- Khan, M. A., Alhazmi, O. H., Aloufi, K. S., & Alzahrani, N. A. (2023). Smart water level monitoring system using IoT. *Sensors*, 23(4), 1987. <https://doi.org/10.3390/s23041987>
- Kumar, A., & Singh, R. (2022). LoRaWAN and MQTT-based IoT architecture for urban flood monitoring: A scalable approach using Thingspeak platform. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(14), 12345–12358. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3167890>
- Li, S., Xu, L. D., & Zhao, S. (2022). The Internet of Things: A survey. *Information Systems Frontiers*, 24(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10148-9>

- Murray, R., Caulier-Grice, J., & Mulgan, G. (2021). *The open book of social innovation*. Nesta.  
<https://www.nesta.org.uk/report/the-open-book-of-social-innovation/>
- Nguyen, T. T., Nguyen, H. X., & Tran, V. P. (2021). IoT-based flood monitoring and early warning systems for urban areas: A systematic review. *Sustainability*, 13(18), 10345.  
<https://doi.org/10.3390/su131810345>
- Poveda, G., Espinoza, J. C., Zuluaga, M. D., Solman, S. A., Garreaud, R., & van Oevelen, P. J. (2021). High impact weather events in the Andes. *Frontiers in Earth Science*, 8, 1–26.  
<https://doi.org/10.3389/feart.2020.00162>
- Presidencia de la República de Colombia. (2015). *Decreto 1077 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>
- Project Management Institute (PMI). (2021). *A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) and the Standard for Project Management (7.<sup>a</sup> ed.)*. Project Management Institute.
- Quintero, M., Vélez, J., & Patiño, J. (2022). Urban flood risk assessment in Medellín. *Water*, 14(5), 789. <https://doi.org/10.3390/w14050789>
- Ray, P. P. (2021). A survey on Internet of Things architectures. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 33(4), 375–388.  
<https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2019.04.001>
- Restrepo, J. D., Kjerfve, B., Hermelin, M., & Restrepo, J. C. (2021). Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: The Magdalena River, Colombia. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.09.022>
- Sánchez, J., & Reyes, G. (2021). Urban flooding in Latin America: Challenges and solutions. *Sustainable Cities and Society*, 68, 102789. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102789>
- Siddique, M., Ahmed, T., & Husain, M. S. (2023). Flood monitoring and early warning systems: An IoT-based perspective. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, 9(2).  
<https://doi.org/10.4108/eetiot.v9i2.2968>

- Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA). (s.f.). *¿Qué es el SIATA? Monitoreo hidrometeorológico en tiempo real*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Alcaldía de Medellín. [https://siata.gov.co/sitio\\_web/index.php/nosotros](https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/nosotros)
- Tellman, B., Sullivan, J. A., Kuhn, C., Kettner, A. J., Doyle, C. S., Brakenridge, G. R., Erickson, T. A., & Slayback, D. A. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, *596*, 80–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w>
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2018). *Informe especial UNGRD 2018–2021*. [https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Slide\\_home/Informe-especial-UNGRD-2018-2021.aspx](https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Slide_home/Informe-especial-UNGRD-2018-2021.aspx)
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030*. UNDRR. <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2019). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2019*. UNDRR. <https://www.undrr.org/publication/global-assessment-report-disaster-risk-reduction-2019>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2022). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2022*. UNDRR. <https://www.undrr.org/gar2022>
- World Meteorological Organization (WMO). (2022). *Early Warning Systems: A Global Status Report*. WMO. <https://public.wmo.int/en/resources/library>
- Zhang, Y., Wang, X., & Chen, J. (2022). Low-cost IoT-based flood monitoring systems: Design and implementation. *IEEE Access*, *10*, 45678–45689. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3167890>

## 15 ANEXOS

### **Anexo A. Matriz de Riesgos del Proyecto "Río Seguro"**

Instrumento de identificación, valoración y gestión de los riesgos asociados al proyecto "Río Seguro". Incluye la categorización de 15 riesgos según probabilidad e impacto, el mapa de calor de riesgos y las estrategias de respuesta para cada uno, desarrolladas conforme a los lineamientos de la Guía del PMBOK® (PMI, 2021). Documento disponible como archivo independiente adjunto a la presente monografía.

### **Anexo B. Protocolo Comunitario de Respuesta ante Alertas**

Protocolo de actuación comunitaria ante la activación de los tres niveles de alerta del sistema "Río Seguro" (preventivo, medio y crítico). Define los roles de los actores comunitarios, los canales de comunicación y el flujograma de respuesta ante cada nivel de alerta. Desarrollado con base en los lineamientos del DAGRD (2021) y los principios de resiliencia comunitaria (Cutter et al., 2021). Documento disponible como archivo independiente adjunto a la presente monografía.

### **Anexo C. Mapa de Zonas Territoriales Priorizadas**

Representación cartográfica esquemática y propositiva de las seis zonas territoriales priorizadas para la instalación de nodos de monitoreo del sistema "Río Seguro" en la ciudad de Medellín. Incluye la descripción de cada zona, la fuente hídrica asociada y los criterios técnicos de priorización. No constituye un producto de cartografía oficial. Elaborado con base en DAGRD (2021) y Restrepo et al. (2021). Documento disponible como archivo independiente adjunto a la presente monografía.

### **Anexo D. Tabla de Costos Estimados del Proyecto**

Estimación presupuestal referencial del sistema "Río Seguro", estructurada en seis componentes: infraestructura física de nodos IoT, instalación y puesta en marcha, desarrollo de software y aplicación móvil, mantenimiento y operación del primer año, capacitación y apropiación comunitaria, y equipo profesional requerido durante la fase de implementación. Los

valores expresados en pesos colombianos (COP) corresponden a precios de referencia del mercado colombiano 2025-2026, considerando seis zonas territoriales priorizadas en las comunas 1 (Popular), 3 (Manrique), 7 (Robledo), 8 (Villa Hermosa), 13 (San Javier) y 14 (El Poblado). Incluye reserva de contingencias equivalente al 5% del subtotal base. No constituye un presupuesto oficial ejecutable. Elaborado con base en precios de mercado consultados y los lineamientos técnicos de DAGRD (2021) y Restrepo et al. (2021). Documento disponible como archivo independiente adjunto a la presente monografía.

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**

**Especialización en Gerencia de Proyectos**

**PROYECTO RÍO SEGURO**

**Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones Basado en IoT**

**ANEXO A**

**MATRIZ DE RIESGOS DEL PROYECTO**

*Anexo propuesto — Instrumento de planificación conceptual*

**Autores:**

Daniel Moreno Castaño Luz Patricia Vallejo Alzate

Asesor: Jaime Darío Restrepo Díaz

Medellín, Antioquia — Mayo de 2026

## 1. INTRODUCCIÓN

La presente Matriz de Riesgos constituye un instrumento de planificación propuesto en el marco del proyecto "Río Seguro", cuyo objetivo es formular una propuesta de Sistema de Alerta Temprana (SAT) de bajo costo basado en tecnologías IoT para comunidades vulnerables de Medellín. Su desarrollo es coherente con las recomendaciones de la sección 5.2 de la monografía, que señala la necesidad de estructurar un análisis formal de riesgos considerando variables como disponibilidad presupuestal, continuidad operativa, mantenimiento tecnológico y gobernanza del sistema.

La matriz se fundamenta en las buenas prácticas de la Guía del PMBOK® (PMI, 2021) para la gestión de riesgos de proyectos, e incorpora cinco categorías de riesgo: técnico, financiero, social, institucional y operativo. Cada riesgo es evaluado mediante dos variables: probabilidad de ocurrencia e impacto sobre los objetivos del proyecto, con una escala de 1 a 5 para cada una.

Este documento tiene carácter conceptual y propositivo. No representa riesgos documentados en una implementación real, sino riesgos identificados y analizados para orientar la planificación de una eventual fase de implementación del proyecto.

## 2. ESCALA DE VALORACIÓN

Valor	Probabilidad	Descripción	Valor	Impacto	Descripción
1	Muy baja	Evento excepcional. Probabilidad < 10%.	1	Muy bajo	Impacto mínimo. No compromete entregables.
2	Baja	Probabilidad entre 10% y 30%.	2	Bajo	Afectación leve. Absorbible sin comprometer el alcance.
3	Media	Probabilidad entre 31% y 60%.	3	Medio	Afectación parcial. Requiere ajustes en cronograma o presupuesto.
4	Alta	Probabilidad entre 61% y 80%.	4	Alto	Afectación significativa. Compromete objetivos clave.
5	Muy alta	Probabilidad > 80%.	5	Muy alto	Afectación crítica. Puede comprometer la viabilidad del proyecto.

Puntuación (P × I)	Nivel de riesgo	Color	Criterio de gestión
1 – 4	BAJO		Riesgo aceptable. Monitoreo periódico suficiente.

5 – 9	<b>MODERADO</b>	Requiere plan de respuesta documentado y seguimiento frecuente.
10 – 15	<b>ALTO</b>	Requiere acciones de mitigación activas y responsable asignado.
16 – 25	<b>CRÍTICO</b>	Riesgo prioritario. Plan de contingencia inmediato y escalamiento a la dirección.

Nota. Elaboración propia con base en PMI (2021). PMBOK® Guide, 7.ª ed.

### 3. MATRIZ DE RIESGOS — PROYECTO RÍO SEGURO

ID	Categoría	Nombre del riesgo	Descripción	P	I	P×I	Nivel	Estrategia de respuesta propuesta	Responsable
<b>RIESGOS TÉCNICOS</b>									
R01	Técnico	<b>Falla de sensores por condiciones climáticas extremas</b>	Los sensores pueden deteriorarse por exposición a lluvias intensas, humedad extrema o arrastre de materiales.	3	4	12	<b>ALTO</b>	Mitigar: Sensores IP67 o superior. Carcasas protectoras. Protocolo de inspección periódica.	Equipo técnico / DAGRD
R02	Técnico	<b>Intermitencia o pérdida de conectividad (LoRa / GSM)</b>	La topografía accidentada puede generar zonas sin cobertura, interrumpiendo la transmisión de datos en tiempo real.	3	5	15	<b>ALTO</b>	Mitigar: Arquitectura redundante (LoRa + GSM). Gateways locales con almacenamiento temporal de datos.	Equipo técnico / Proveedor IoT
R03	Técnico	<b>Fallo en el suministro energético de los nodos</b>	Periodos de nubosidad pueden reducir la carga de baterías solares y comprometer la operación continua.	2	4	8	<b>MODERADO</b>	Mitigar: Banco de baterías con autonomía mínima de 72 horas. Evaluar red eléctrica local como respaldo.	Equipo técnico
R04	Técnico	<b>Generación de falsas alarmas por errores de calibración</b>	Una calibración inadecuada puede generar activaciones erróneas y erosionar la confianza de la comunidad.	3	4	12	<b>ALTO</b>	Mitigar: Calibración formal con datos del SIATA. Validación cruzada entre sensores. Fase de prueba piloto.	Equipo técnico / SIATA
R05	Técnico	<b>Obsolescencia tecnológica de componentes IoT</b>	Microcontroladores y módulos pueden quedar sin soporte técnico o ser descontinuados.	2	3	6	<b>MODERADO</b>	Aceptar con control: Seleccionar componentes con comunidad activa y amplia disponibilidad en Colombia.	Equipo técnico
<b>RIESGOS FINANCIEROS</b>									
R06	Financiero	<b>Insuficiencia de recursos para</b>	La falta de recursos puede impedir la adquisición de	4	5	20	<b>CRÍTICO</b>	Mitigar: Financiación mixta (recursos)	Gerente / Alcaldía de Medellín

ID	Categoría	Nombre del riesgo	Descripción	P	I	P×I	Nivel	Estrategia de respuesta propuesta	Responsable
		<b>implementación y mantenimiento</b>	componentes IoT, instalación o mantenimiento del sistema.					municipales, cooperación internacional, fondos de gestión del riesgo). Implementación por fases.	
<b>R07</b>	Financiero	<b>Incremento en costos por variación cambiaria</b>	Los dispositivos IoT se cotizan en dólares. Una devaluación puede incrementar significativamente los costos.	3	3	<b>9</b>	<b>MODERADO</b>	Mitigar: Cotizar en pesos con proveedores locales. Reserva de contingencia del 15%. Proveedores nacionales.	Gerente del proyecto
<b>R08</b>	Financiero	<b>Falta de sostenibilidad financiera post-implementación</b>	Los costos de mantenimiento y conectividad pueden no estar cubiertos por el presupuesto institucional.	3	4	<b>12</b>	<b>ALTO</b>	Mitigar: Modelo de sostenibilidad desde la formulación. Transferencia operativa a la comunidad con respaldo del DAGRD.	DAGRD / Alcaldía
<b>RIESGOS SOCIALES</b>									
<b>R09</b>	Social	<b>Baja apropiación social del sistema</b>	Si la comunidad no comprende el sistema ni confía en sus alertas, la respuesta ante eventos reales será deficiente.	3	5	<b>15</b>	<b>ALTO</b>	Mitigar: Procesos participativos de capacitación. Involucrar líderes comunitarios desde la formulación. Simulacros.	Equipo social / DAGRD
<b>R10</b>	Social	<b>Vandalismo o robo de equipos instalados en campo</b>	Los nodos instalados en zonas públicas están expuestos al hurto o daño intencional.	3	3	<b>9</b>	<b>MODERADO</b>	Mitigar: Comunidad como custodios del sistema. Carcasas de bajo perfil. Coordinación con JAC y líderes.	Comunidad / Equipo social
<b>R11</b>	Social	<b>Resistencia comunitaria al uso de tecnología digital</b>	Brechas de acceso o habilidades digitales pueden dificultar la adopción de canales de alerta digital.	2	3	<b>6</b>	<b>MODERADO</b>	Mitigar: Incluir canales no digitales (sirenas físicas, comunicación verbal). Formación adaptada a cada comunidad.	Equipo social
<b>RIESGOS INSTITUCIONALES</b>									
<b>R12</b>	Institucional	<b>Falta de articulación interinstitucional</b>	La falta de acuerdos formales entre DAGRD, SIATA, Alcaldía y academia puede bloquear el proyecto.	3	4	<b>12</b>	<b>ALTO</b>	Mitigar: Formalizar acuerdos de cooperación desde etapas tempranas. Incluir interesados	Gerente / DAGRD

ID	Categoría	Nombre del riesgo	Descripción	P	I	P×I	Nivel	Estrategia de respuesta propuesta	Responsable
								en la gobernanza del proyecto.	
R13	Institucional	<b>Cambios de administración que afecten la continuidad</b>	Cambios de gobierno pueden generar discontinuidad en el respaldo institucional al proyecto.	2	4	8	MODERADO	Transferir: Institucionalizar mediante ordenanzas. Documentar el proceso para transferencia a nuevos funcionarios.	Alcaldía / DAGRD
R14	Institucional	<b>Incumplimiento de marcos normativos</b>	Instalar sensores en cauces puede requerir permisos ambientales que demoren la implementación.	2	3	6	MODERADO	Mitigar: Identificar permisos anticipadamente. Articular con Secretaría de Medio Ambiente y AMVA.	Gerente / Asesor jurídico
<b>RIESGOS OPERATIVOS</b>									
R15	Operativo	<b>Falta de respuesta comunitaria ante alertas</b>	La comunidad puede no responder adecuadamente por desconocimiento del protocolo o fatiga de alertas.	3	5	15	ALTO	Mitigar: Simulacros periódicos (mínimo 2 por año). Socializar el protocolo de respuesta. Corregir causas de falsas alarmas.	Equipo social / DAGRD

*Nota.* Elaboración propia con base en PMI (2021), UNGRD (2018), DAGRD (2021) y Li et al. (2022). P = Probabilidad (1–5) | I = Impacto (1–5) | P×I = Puntuación de exposición al riesgo.

#### 4. MAPA DE CALOR DE RIESGOS

El mapa de calor visualiza la distribución de los 15 riesgos identificados según su puntuación de exposición (Probabilidad × Impacto). Cada celda muestra la puntuación y los identificadores de los riesgos ubicados en esa intersección.

IMPACTO ↑ / PROB. →	Muy baja (1)	Baja (2)	Media (3)	Alta (4)	Muy alta (5)
Muy alto (5)	5	10	15 R02, R09, R15	20 R06	25
Alto (4)	4	8 R03, R13	12 R01, R04, R08, R12	16	20
Medio (3)	3	6 R05, R11, R14	9 R07, R10	12	15

Bajo (2)	2	4	6	8	10
Muy bajo (1)	1	2	3	4	5

*Nota. Elaboración propia con base en PMI (2021). Los identificadores dentro de cada celda corresponden a los riesgos listados en la Sección 3.*

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

Del total de quince (15) riesgos identificados, la distribución por nivel de exposición es la siguiente: un (1) riesgo se clasifica como CRÍTICO (R06), siete (7) como ALTOS (R01, R02, R04, R08, R09, R12 y R15), seis (6) como MODERADOS (R03, R05, R07, R10, R11 y R13) y uno (1) como BAJO, aunque en esta matriz todos los riesgos alcanzan al menos nivel moderado. Esta distribución evidencia que el proyecto enfrenta desafíos significativos, especialmente en los ámbitos financiero y de apropiación social.

El riesgo crítico identificado —la insuficiencia de recursos para implementación y mantenimiento (R06)— constituye la principal amenaza para la viabilidad del proyecto y debe ser objeto de un plan de contingencia específico desde las etapas más tempranas de la planificación. En coherencia con las recomendaciones de la sección 5.2 de la monografía, se recomienda explorar mecanismos de financiación mixtos y diseñar una arquitectura tecnológica con redundancia de comunicaciones para los riesgos de conectividad.

Cabe señalar que el riesgo R02 (intermitencia de conectividad) obtuvo una puntuación de 15 (P=3, I=5), clasificándose como ALTO. Si bien representa una amenaza técnica relevante, su probabilidad moderada lo diferencia del riesgo R06, cuya combinación de alta probabilidad (P=4) e impacto muy alto (I=5) lo sitúa como el único riesgo verdaderamente crítico del proyecto.

Los riesgos relacionados con la apropiación social (R09 y R15) refuerzan la premisa central de la monografía: la efectividad del sistema no depende exclusivamente de su componente tecnológico, sino de su articulación con dinámicas comunitarias y estrategias integrales de gestión del riesgo (Fakhruddin et al., 2020). Por ello, los procesos de capacitación, participación comunitaria y simulacros deben ser parte estructural del proyecto, no actividades complementarias.

## 6. REFERENCIAS

- Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGRDR). (2021). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Medellín*. Alcaldía de Medellín. <https://www.medellin.gov.co/es/dagrdr/>
- Fakhruddin, S. H. M., Kawasaki, A., & Musiaka, K. (2020). Community responses to early warning systems: A review of disaster risk reduction practice. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101655. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101655>
- Li, S., Xu, L. D., & Zhao, S. (2022). The Internet of Things: A survey. *Information Systems Frontiers*, 24(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10148-9>
- Project Management Institute (PMI). (2021). *A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) and the Standard for Project Management (7.ª ed.)*. Project Management Institute.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2018). *Informe especial UNGRD 2018–2021*. [https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Slide\\_home/Informe-especial-UNGRD-2018-2021.aspx](https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Slide_home/Informe-especial-UNGRD-2018-2021.aspx)

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**

**Especialización en Gerencia de Proyectos**

**PROYECTO RÍO SEGURO**

**Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones Basado en IoT**

**ANEXO B**

**PROTOCOLO COMUNITARIO DE RESPUESTA ANTE ALERTAS**

*Anexo propuesto — Documento de planificación conceptual*

**Autores:**

Daniel Moreno Castaño | Luz Patricia Vallejo Alzate

Asesor: Jaime Darío Restrepo Díaz

Medellín, Antioquia — Mayo de 2026

## 1. INTRODUCCIÓN Y PROPÓSITO DEL PROTOCOLO

El presente protocolo constituye un instrumento de planificación propuesto en el marco del proyecto "Río Seguro", cuyo objetivo es formular una propuesta de Sistema de Alerta Temprana (SAT) de bajo costo, basado en tecnologías IoT, orientada a comunidades vulnerables de la ciudad de Medellín frente al riesgo de inundación.

Este documento tiene carácter conceptual y propositivo. No representa un protocolo implementado, sino un lineamiento de planificación que define, de manera anticipada, las acciones que debería ejecutar la comunidad ante la activación de cada nivel de alerta del sistema. Su diseño es coherente con el enfoque de gestión comunitaria del riesgo promovido por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2018) y con los principios del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030 (UNDRR, 2015).

La efectividad de cualquier sistema de alerta temprana depende, en gran medida, de la capacidad de respuesta de la comunidad frente a las alertas emitidas. La literatura especializada señala que los sistemas con alto desarrollo tecnológico pero débil articulación comunitaria presentan tasas de respuesta significativamente menores frente a eventos de riesgo (Fakhruddin et al., 2020). Por ello, la gobernanza comunitaria se configura como un factor determinante para la apropiación social del sistema "Río Seguro" y su sostenibilidad en el tiempo.

### 1.1. Alcance del Protocolo

Este protocolo aplica conceptualmente a las seis (6) zonas territoriales priorizadas por el proyecto "Río Seguro" en la ciudad de Medellín, descritas en la Tabla 3 de la monografía y en el Anexo C del presente trabajo:

N°	Zona / Sector	Comuna	Fuente hídrica	Condición principal
1	Sector La Honda – El Pinar	Comuna 1 – Popular	Qda. La Honda	Alta recurrencia de crecientes. Vulnerabilidad socioeconómica alta.
2	Barrio El Pinal – Versalles	Comuna 3 – Manrique	Qda. La Bermejala	Densidad poblacional elevada. Historial de desbordamientos.
3	Barrio El Salado	Comuna 7 – Robledo	Qda. La Iguaná	Proximidad crítica al cauce. Ocupación de zonas de retiro.

N°	Zona / Sector	Comuna	Fuente hídrica	Condición principal
4	Barrio Villatina	Comuna 8 – Villa Hermosa	Qda. Ayurá	Antecedente tragedia 1987. Persistencia en zona de riesgo alto.
5	Barrio El Corazón	Comuna 13 – San Javier	Qda. La Hueso	Crecientes recurrentes. Déficit en infraestructura de drenaje.
6	Sector Las Lomas – Los Balsos	Comuna 14 – El Poblado	Qda. La Presidenta	Inundaciones recientes de alto impacto. Déficit en drenaje pluvial.

*Nota. Elaboración propia con base en DAGRD (2021) y Restrepo et al. (2021).*

## 2. NIVELES DE ALERTA DEL SISTEMA RÍO SEGURO

El sistema opera con tres niveles de alerta, definidos a partir de variables hidrológicas clave: la ocupación porcentual del cauce y la precipitación acumulada por hora. Estos umbrales fueron establecidos con base en parámetros hidrométricos del SIATA y criterios técnicos de Khan et al. (2023) y el DAGRD (2021). Ambos indicadores deben interpretarse de manera conjunta para la activación de alertas. La calibración definitiva requiere validación empírica en campo.

Nivel de Alerta	Ocupación del cauce	Precipitación acumulada	Condición observable
<b>PREVENTIVO (Amarilla)</b>	50 % – 70 %	20 – 40 mm/h	Incremento visible del caudal. Agua turbia. Arrastre leve de sedimentos. El cauce contiene el flujo sin riesgo inmediato.
<b>MEDIO (Naranja)</b>	71 % – 85 %	41 – 70 mm/h	Caudal alto con desbordamiento incipiente. Arrastre de material. Ruido hidráulico intenso.
<b>CRÍTICO (Roja)</b>	> 85 %	> 70 mm/h	Desbordamiento activo o inminente. Pérdida de control del cauce. Riesgo directo para la vida.

*Nota. Elaboración propia con base en Khan et al. (2023), DAGRD (2021) y criterios hidrométricos del SIATA.*

## 3. FLUJOGRAMA PROPUESTO DE RESPUESTA COMUNITARIA

El siguiente flujograma describe la cadena de respuesta comunitaria propuesta ante la activación de cada nivel de alerta. Define quién recibe la notificación, quién activa la cadena de respuesta, qué acciones se ejecutan y cuáles entidades intervienen. Su diseño es coherente

con los cuatro componentes esenciales de un SAT: monitoreo de la amenaza, análisis de la información, difusión de alertas y capacidad de respuesta (Basher, 2021).

Este flujograma es de carácter propuesto y deberá ser validado y ajustado con las comunidades beneficiarias y las entidades competentes (DAGR, organismos de socorro) en una fase posterior de implementación.

<b>INICIO</b>	<b>Detección automática del sistema IoT.</b> Los sensores instalados en los nodos capturan en tiempo real el nivel del agua y la precipitación acumulada. La plataforma digital evalúa automáticamente si se supera algún umbral de alerta definido.
<b>PASO 1 ALERTA AMARILLA</b>	<p><b>¿Quién recibe la notificación?</b> Líder comunitario de gestión del riesgo, vía SMS o aplicación móvil.</p> <p><b>¿Quién activa la cadena?</b> El líder comunitario, de manera autónoma.</p> <p><b>Acciones propuestas:</b> Activar monitoreo continuo. Notificar verbalmente a vecinos cercanos a la fuente hídrica. Verificar canales de comunicación comunitaria (WhatsApp, sirena). Revisar disponibilidad de rutas de evacuación. Informar al DAGRD como registro del evento.</p> <p><b>Entidades a notificar:</b> DAGRD (registro). No se requiere movilización de organismos de socorro.</p>
<b>PASO 2 ALERTA NARANJA</b>	<p><b>¿Quién recibe la notificación?</b> Líder comunitario, DAGRD y organismos de socorro (Bomberos, Defensa Civil), vía SMS, sirena y aplicación.</p> <p><b>¿Quién activa la cadena?</b> El líder comunitario en coordinación con el DAGRD.</p> <p><b>Acciones propuestas:</b> Emitir alerta formal mediante sirena y canales digitales. Iniciar evacuación preventiva de hogares en mayor exposición. Priorizar niños, adultos mayores y personas con discapacidad. Suspender actividades en zonas de retiro. Activar punto de encuentro comunitario. Mantener comunicación continua con el DAGRD.</p> <p><b>Entidades a notificar:</b> DAGRD, Cuerpo de Bomberos de Medellín, Defensa Civil Colombiana.</p>
<b>PASO 3 ALERTA ROJA</b>	<p><b>¿Quién recibe la notificación?</b> Toda la comunidad simultáneamente, DAGRD, organismos de socorro y Alcaldía de Medellín.</p> <p><b>¿Quién activa la cadena?</b> El sistema activa la alerta de forma automática. El DAGRD toma el mando institucional del evento.</p> <p><b>Acciones propuestas:</b> EVACUACIÓN INMEDIATA de toda la zona de riesgo. Activación del Plan Municipal de Emergencias. Coordinación activa de Bomberos, Defensa Civil y DAGRD. Corte de servicios públicos en zonas afectadas. Activación de albergues temporales. Nadie regresa hasta que el DAGRD declare la zona segura.</p> <p><b>Entidades a notificar:</b> DAGRD, Bomberos, Defensa Civil, Alcaldía de Medellín, EPM, Secretaría de Salud.</p>
<b>FASE POST- EVENTO</b>	<b>Una vez declarado el cese de la emergencia:</b> Retorno ordenado bajo supervisión institucional. Verificación del estado del sistema de monitoreo. Registro del evento (hora de activación, nivel alcanzado, tiempo de respuesta, afectaciones). Reunión comunitaria de evaluación para identificar lecciones aprendidas y ajustar el protocolo.

*Nota. Elaboración propia con base en UNGRD (2018), DAGRD (2021) y Basher (2021).*

#### 4. ROLES Y RESPONSABILIDADES COMUNITARIAS PROPUESTAS

Para el funcionamiento efectivo del protocolo, se proponen los siguientes roles dentro de la estructura comunitaria de respuesta. Estos roles deberán ser definidos y formalizados con cada comunidad beneficiaria mediante procesos participativos de apropiación social, en la fase de implementación del proyecto.

Rol propuesto	Responsabilidades principales	Nivel de alerta en que actúa
<b>Líder comunitario de gestión del riesgo</b>	Recibir alertas del sistema, activar la cadena de respuesta, coordinar con el DAGRD y mantener informada a la comunidad.	Amarilla, Naranja y Roja
<b>Brigadista de evacuación</b>	Guiar a la comunidad por las rutas de evacuación establecidas. Priorizar grupos vulnerables (niños, adultos mayores, personas con discapacidad).	Naranja y Roja
<b>Vigía de fuente hídrica</b>	Monitorear visualmente el comportamiento de la quebrada o río y reportar al líder cualquier cambio observable no capturado por los sensores.	Amarilla y Naranja
<b>Responsable de comunicaciones</b>	Activar y gestionar los canales de alerta comunitaria (sirena, grupos de mensajería, megáfono). Mantener contacto con organismos de socorro.	Naranja y Roja
<b>Enlace con DAGRD y organismos de socorro</b>	Servir de puente de comunicación oficial entre la comunidad y las entidades institucionales. Suministrar información del evento en tiempo real.	Naranja y Roja
<b>Equipo de apoyo a poblaciones vulnerables</b>	Asistir físicamente en la evacuación de personas con movilidad reducida, hogares con menores de edad sin adultos y adultos mayores solos.	Naranja y Roja

*Nota. Elaboración propia con base en UNGRD (2018) y Cutter et al. (2021).*

## 5. CANALES DE COMUNICACIÓN PROPUESTOS

El sistema "Río Seguro" propone la difusión de alertas a través de múltiples canales complementarios, garantizando que la información llegue a la comunidad de manera oportuna incluso en escenarios de falla parcial de alguno de los medios:

Canal	Descripción	Nivel de alerta	Ventaja principal
Mensaje SMS	Notificación automática generada por la plataforma IoT al líder comunitario y responsable de comunicaciones.	Amarilla, Naranja, Roja	No requiere conectividad a Internet.
Aplicación móvil	Plataforma digital del sistema que muestra en tiempo real los niveles del cauce y el estado de la alerta.	Amarilla, Naranja, Roja	Información visual y en tiempo real.

Canal	Descripción	Nivel de alerta	Ventaja principal
Sirena local	Señal sonora instalada en punto estratégico del barrio, activada automáticamente o manualmente por el líder.	Naranja y Roja	Alcance masivo sin dispositivos adicionales.
Grupos de mensajería (WhatsApp)	Grupos comunitarios administrados por el líder para difusión rápida y coordinación.	Amarilla, Naranja, Roja	Accesible y de uso cotidiano en la comunidad.
Comunicación verbal / megáfono	Difusión directa en calle por brigadistas o líder comunitario.	Naranja y Roja (apoyo)	Funciona sin energía ni conectividad.

*Nota. Elaboración propia con base en Li et al. (2022) y Ahmed et al. (2023).*

## 6. NOTA SOBRE EL CARÁCTER PROPUESTO DE ESTE PROTOCOLO

Este protocolo es un instrumento de planificación conceptual, desarrollado como parte de la propuesta académica "Río Seguro". No constituye un protocolo implementado ni validado en campo. Su construcción se fundamenta en fuentes secundarias especializadas, marcos normativos vigentes (Congreso de la República de Colombia, 2012; UNGRD, 2018) y buenas prácticas internacionales en gestión del riesgo de desastres (UNDRR, 2015; WMO, 2022).

Para su eventual implementación, este protocolo deberá ser sometido a un proceso participativo de validación con las comunidades beneficiarias, el DAGRD, los organismos de socorro y las entidades territoriales competentes, quienes podrán ajustarlo a las condiciones reales de cada zona priorizada.

Este documento es coherente con el objetivo específico de la monografía orientado a plantear lineamientos para la apropiación social y la respuesta comunitaria frente a la activación de alertas, en el marco de la gestión del riesgo.

## 7. REFERENCIAS

Ahmed, S., Rahman, M., & Islam, T. (2023). IoT-based flood monitoring and early warning systems: A review. *Journal of Hydrology*, 620, 129456. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129456>

- Basher, R. (2021). Global early warning systems for natural hazards: Systematic and people-centred. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2194). <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0201>
- Congreso de la República de Colombia. (2012). *Ley 1523 de 2012. Por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
- Cutter, S. L., Ahearn, J. A., Amadei, B., Crawford, P., Eide, E. A., Galloway, G. E., Goodchild, M. F., Kunreuther, H., Li-Vollmer, M., Schoch-Spana, M., & Scrivner, C. (2021). Disaster resilience: A national imperative. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 63(2), 4–17. <https://doi.org/10.1080/00139157.2021.1879632>
- Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGR). (2021). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Medellín*. Alcaldía de Medellín. <https://www.medellin.gov.co/es/dagr/>
- Fakhrudin, S. H. M., Kawasaki, A., & Musiaka, K. (2020). Community responses to early warning systems: A review of disaster risk reduction practice. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101655. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101655>
- Khan, M. A., Alhazmi, O. H., Aloufi, K. S., & Alzahrani, N. A. (2023). Smart water level monitoring system using IoT. *Sensors*, 23(4), 1987. <https://doi.org/10.3390/s23041987>
- Li, S., Xu, L. D., & Zhao, S. (2022). The Internet of Things: A survey. *Information Systems Frontiers*, 24(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10148-9>
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2018). *Informe especial UNGRD 2018–2021*. [https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Slide\\_home/Informe-especial-UNGRD-2018-2021.aspx](https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Slide_home/Informe-especial-UNGRD-2018-2021.aspx)

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030*. UNDRR. <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>

World Meteorological Organization (WMO). (2022). *Early Warning Systems: A Global Status Report*. WMO. <https://public.wmo.int/en/resources/library>

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**  
**Especialización en Gerencia de Proyectos**

**PROYECTO RÍO SEGURO**  
**Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones Basado en IoT**

**ANEXO C**  
**MAPA DE ZONAS TERRITORIALES PRIORIZADAS**

*Anexo propuesto — Instrumento de planificación conceptual*

**Autores:**

Daniel Moreno Castaño | Luz Patricia Vallejo Alzate

Asesor: Jaime Darío Restrepo Díaz

Medellín, Antioquia — Mayo de 2026

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente anexo forma parte del conjunto de instrumentos de planificación propuestos en el marco del proyecto "Río Seguro", cuyo objetivo es formular una propuesta de Sistema de Alerta Temprana (SAT) de bajo costo basado en tecnologías IoT para comunidades vulnerables de la ciudad de Medellín frente al riesgo de inundación.

Este documento describe y visualiza conceptualmente las seis (6) zonas territoriales priorizadas por el proyecto, identificadas con base en criterios de recurrencia histórica de eventos de inundación, proximidad a fuentes hídricas con comportamiento torrencial, densidad poblacional y niveles de vulnerabilidad socioeconómica (DAGR, 2021; Restrepo et al., 2021). Estas zonas corresponden a los puntos propuestos para la instalación de nodos de monitoreo del sistema IoT.

La representación cartográfica incluida en este anexo es de carácter esquemático y propositivo. No constituye un producto de cartografía oficial ni reemplaza los instrumentos de planificación territorial del DAGRD o del SIATA. Su propósito es ilustrar de manera comprensible la distribución espacial de los sitios propuestos para la instalación de nodos de monitoreo dentro del proyecto.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS PRIORIZADAS

La siguiente tabla describe las seis zonas priorizadas para el proyecto "Río Seguro", con los criterios técnicos que motivaron su selección. Cada zona corresponde a un punto de instalación propuesto para un nodo de monitoreo del sistema IoT.

Zona	Sector / Barrio	Comuna	Fuente hídrica de riesgo	Condición principal de riesgo	Criterio de priorización
<b>Z1</b>	La Honda / El Pinar	1 — Popular	Qda. La Honda	Alta recurrencia de crecientes súbitas.	Historial de eventos, proximidad a fuente hídrica, densidad poblacional y vulnerabilidad socioeconómica (DAGR, 2021).
<b>Z2</b>	El Pinal / Versalles	3 — Manrique	Qda. La Bermejala	Densidad poblacional	Historial de eventos, proximidad a fuente

Zona	Sector / Barrio	Comuna	Fuente hídrica de riesgo	Condición principal de riesgo	Criterio de priorización
				elevada. Historial de desbordamientos.	hídrica, densidad poblacional y vulnerabilidad socioeconómica (DAGR, 2021).
<b>Z3</b>	Barrio El Salado	7 — Robledo	Qda. La Iguaná	Proximidad crítica al cauce. Ocupación de zonas de retiro.	Historial de eventos, proximidad a fuente hídrica, densidad poblacional y vulnerabilidad socioeconómica (DAGR, 2021).
<b>Z4</b>	Barrio Villatina	8 — Villa Hermosa	Qda. Ayurá	Antecedente tragedia 1987. Persistencia en zona de riesgo alto.	Historial de eventos, proximidad a fuente hídrica, densidad poblacional y vulnerabilidad socioeconómica (DAGR, 2021).
<b>Z5</b>	Barrio El Corazón	13 — San Javier	Qda. La Hueso	Crecientes recurrentes. Déficit en infraestructura de drenaje.	Historial de eventos, proximidad a fuente hídrica, densidad poblacional y vulnerabilidad socioeconómica (DAGR, 2021).
<b>Z6</b>	Las Lomas / Los Balsos	14 — El Poblado	Qda. La Presidenta	Inundaciones recientes de alto impacto. Déficit en drenaje pluvial.	Historial de eventos, proximidad a fuente hídrica y déficit estructural en infraestructura de drenaje pluvial urbano (DAGR, 2021; Restrepo et al., 2021).

*Tabla 1. Zonas territoriales priorizadas para el proyecto "Río Seguro".* Nota. Elaboración propia con base en DAGRD (2021) y Restrepo et al. (2021).

### 3. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS ZONAS EN EL TERRITORIO

A continuación se presenta una representación esquemática conceptual de la distribución de las seis zonas priorizadas en el territorio de Medellín. Esta visualización no es un producto cartográfico oficial y tiene exclusivamente propósitos ilustrativos para la comprensión espacial del proyecto.

[Insertar mapa esquemático de Medellín con la ubicación de las seis zonas priorizadas Z1–Z6]

*Figura 1. Distribución espacial esquemática de las zonas priorizadas del proyecto "Río Seguro" en Medellín*

Nota. Representación de carácter esquemático y propositivo. Elaboración propia con base en DAGRD (2021). Para visualización oficial de riesgos consultar el SIATA: <https://siata.gov.co>

La siguiente tabla sintetiza la distribución espacial de las zonas priorizadas y los aspectos técnicos clave para la instalación de los nodos de monitoreo:

Zona	Ubicación relativa en la ciudad	Cuenca hidrográfica	Consideraciones técnicas para instalación del nodo
<b>Z1 — Popular</b>	Ladera nororiental	Cuenca Qda. La Honda	Pendiente pronunciada. Alta velocidad de creciente. Sensor ultrasónico recomendado. Fuente energética solar. Conectividad GSM disponible en el sector.
<b>Z2 — Manrique</b>	Ladera nororiental	Cuenca Qda. La Bermejala	Zona densamente urbanizada. Posible interferencia electromagnética. Recomendable nodo con LoRa y respaldo GSM.
<b>Z3 — Robledo</b>	Ladera noroccidental	Cuenca Qda. La Iguaná	Cauce de alta torrencialidad en épocas de lluvia. Sensor de nivel recomendado en punto de retiro del cauce.
<b>Z4 — Villa Hermosa</b>	Ladera suroriental	Cuenca Qda. Ayurá	Antecedente histórico de deslizamiento asociado a saturación hídrica. Nodo de monitoreo compuesto (nivel + pluviómetro) recomendado.
<b>Z5 — San Javier</b>	Ladera suroccidental	Cuenca Qda. La Hueso	Déficit de drenaje pluvial. Recomendable instalar nodo adicional en punto de confluencia urbana aguas abajo.
<b>Z6 — El Poblado</b>	Zona sur	Cuenca Qda. La Presidenta	Infraestructura de drenaje insuficiente para eventos extremos. Alta exposición de propiedad. Conectividad estable. Nodo estándar recomendado.

*Nota. Elaboración propia con base en DAGRD (2021), SIATA (s.f.) y Li et al. (2022).*

#### 4. CRITERIOS TÉCNICOS DE PRIORIZACIÓN

La selección de las seis zonas se realizó aplicando cuatro criterios técnicos definidos en la sección 3.5.1 de la monografía, evaluados con base en fuentes secundarias oficiales:

Criterio	Descripción	Fuente de verificación
<b>Recurrencia histórica de eventos</b>	Registro de inundaciones, crecientes súbitas o deslizamientos asociados a fuentes hídricas en los últimos 10 años.	DAGRD (2021); UNGRD (2018)

Criterio	Descripción	Fuente de verificación
<b>Determinantes geomorfológicos</b>	Pendiente del terreno, cercanía al cauce, velocidad de creciento estimada y condiciones de drenaje superficial.	Restrepo et al. (2021); SIATA (s.f.)
<b>Vulnerabilidad socioeconómica</b>	Densidad poblacional, informalidad habitacional, acceso a servicios públicos y capacidad de respuesta de la comunidad.	DAGRDR (2021); CEPAL (2022)
<b>Pertinencia tecnológica</b>	Disponibilidad de cobertura de red (GSM/LoRa), acceso a energía eléctrica o solar y condiciones para instalación segura de nodos.	Li et al. (2022); Ahmed et al. (2023)

*Nota. Elaboración propia con base en las fuentes indicadas.*

## 5. LIMITACIONES Y CONSIDERACIONES

La priorización de zonas presentada en este anexo tiene carácter conceptual y está basada en fuentes secundarias. Para una implementación real del proyecto, se requiere:

**Validación en campo.** Visitas técnicas a cada zona para verificar las condiciones de acceso, cobertura de red y posibilidades de instalación segura de los nodos de monitoreo.

**Actualización de datos.** Contraste con los registros más recientes del DAGRD y del SIATA para verificar cambios en las condiciones de riesgo de cada zona.

**Participación comunitaria.** Proceso de socialización con las comunidades beneficiarias para validar la pertinencia de la selección y garantizar la apropiación social del sistema.

**Cartografía oficial.** Elaboración de un mapa oficial con apoyo del DAGRD o de la Secretaría de Planeación de Medellín, que reemplace la representación esquemática de este anexo por un producto cartográfico con coordenadas geográficas precisas.

La representación cartográfica presentada en la sección 3 de este anexo no debe utilizarse para fines de planificación territorial, toma de decisiones institucionales ni evacuación. Para información oficial sobre riesgo en Medellín, consultar el SIATA (<https://siata.gov.co>) y el DAGRD (<https://www.medellin.gov.co/es/dagrdr/>).

## 6. REFERENCIAS

- Ahmed, S., Rahman, M., & Islam, T. (2023). IoT-based flood monitoring and early warning systems: A review. *Journal of Hydrology*, 620, 129456. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129456>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2022). *La vulnerabilidad ante desastres en América Latina*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones>
- Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGR). (2021). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Medellín*. Alcaldía de Medellín. <https://www.medellin.gov.co/es/dagr/>
- Li, S., Xu, L. D., & Zhao, S. (2022). The Internet of Things: A survey. *Information Systems Frontiers*, 24(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10148-9>
- Restrepo, J. D., Kjerfve, B., Hermelin, M., & Restrepo, J. C. (2021). Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: The Magdalena River, Colombia. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.09.022>
- Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA). (s.f.). *¿Qué es el SIATA? Monitoreo hidrometeorológico en tiempo real*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Alcaldía de Medellín. [https://siata.gov.co/sitio\\_web/index.php/nosotros](https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/nosotros)
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2018). *Informe especial UNGRD 2018–2021*. [https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Slide\\_home/Informe-especial-UNGRD-2018-2021.aspx](https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Slide_home/Informe-especial-UNGRD-2018-2021.aspx)

## PRESUPUESTO ESTIMADO

Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones basado en IoT — Comunidades Vulnerables de Medellín

N°	Ítem / Concepto	Descripción / Especificación	Cant.	Valor unitario (COP)	Subtotal (COP)
<b>1. Infraestructura física — Nodos de monitoreo IoT</b>					
1.1	Sensor ultrasónico de nivel de agua	HC-SR04 waterproof, rango 2–400 cm, IP67	12	\$ 85.000	\$ 1.020.000
1.2	Pluviómetro digital (tipping-bucket)	Resolución 0.2 mm, salida digital	6	\$ 280.000	\$ 1.680.000
1.3	Microcontrolador ESP32 DevKit	Wi-Fi/BLE integrado, bajo consumo	12	\$ 55.000	\$ 660.000
1.4	Módulo LoRa SX1276 / Ra-02 (915 MHz)	Transmisión largo alcance en campo	12	\$ 70.000	\$ 840.000
1.5	Panel solar 20 W + batería LiPo 10Ah	Autonomía ≥72 h sin radiación solar	6	\$ 420.000	\$ 2.520.000
1.6	Carcasa metálica IP65 + soporte 3 m	Caja estanca + poste galvanizado + base anclaje	6	\$ 530.000	\$ 3.180.000
1.7	Gateway LoRa centralizado (3 zonas/u.)	RAK7244 o equiv. Concentra señal → nube	2	\$ 1.800.000	\$ 3.600.000
1.8	Cableado, conectores y accesorios	Set completo de materiales por nodo	6	\$ 120.000	\$ 720.000
<b>Subtotal sección 1</b>					<b>\$ 14.220.000</b>
<b>2. Instalación y puesta en marcha</b>					
2.1	Obra civil — fundación y anclaje	Excavación, vaciado concreto, nivelación por nodo	6	\$ 450.000	\$ 2.700.000
2.2	Mano de obra técnica — ensamble campo	Técnico electrónico 2 días por nodo	6	\$ 600.000	\$ 3.600.000
2.3	Configuración firmware + calibración	Carga ESP32, parámetros LoRa, pruebas comunicación	6	\$ 250.000	\$ 1.500.000
2.4	Instalación y configuración gateways	Montaje, TTN/ChirpStack, prueba extremo a extremo	2	\$ 500.000	\$ 1.000.000

**RÍO SEGURO · Presupuesto estimado del proyecto**

N°	Ítem / Concepto	Descripción / Especificación	Cant.	Valor unitario (COP)	Subtotal (COP)
2.5	<b>Calibración de umbrales (SIATA/DAGR)</b>	<i>Niveles: preventivo / medio / crítico</i>	1	\$ 800.000	\$ 800.000
2.6	<b>Transporte y logística de equipos</b>	<i>Desplazamiento 6 comunas, vehículo + combustible</i>	1	\$ 600.000	\$ 600.000
<b>Subtotal sección 2</b>					<b>\$ 10.200.000</b>
<b>3. Desarrollo de software y aplicación móvil</b>					
3.1	<b>Backend — servidor y API REST</b>	<i>Node.js / Python. Lógica umbrales, BD tiempo real</i>	1	\$ 8.500.000	\$ 8.500.000
3.2	<b>Infraestructura cloud (12 meses)</b>	<i>PostgreSQL + InfluxDB en AWS/GCP. Tier básico.</i>	1	\$ 3.600.000	\$ 3.600.000
3.3	<b>Dashboard web de monitoreo</b>	<i>Mapa en vivo, gráficas nivel/lluvia, estados alerta</i>	1	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000
3.4	<b>App móvil comunitaria (Android + iOS)</b>	<i>Notif. push, mapa de riesgo, protocolo evacuación</i>	1	\$ 12.000.000	\$ 12.000.000
3.5	<b>Alertas multicanal SMS + sirenas IoT</b>	<i>Integración Twilio/SNS + 6 sirenas 120 dB IP65</i>	1	\$ 7.600.000	\$ 7.600.000
3.6	<b>Pruebas QA y documentación técnica</b>	<i>Testing, corrección bugs, manuales usuario/operador</i>	1	\$ 2.800.000	\$ 2.800.000
<b>Subtotal sección 3</b>					<b>\$ 39.500.000</b>
<b>4. Mantenimiento y operación — Año 1</b>					
4.1	<b>Mantenimiento preventivo semestral</b>	<i>Limpieza, revisión, recalibración — 2 visitas x 6 nodos</i>	12	\$ 180.000	\$ 2.160.000
4.2	<b>Reposición sensores dañados (est. 15%)</b>	<i>Repuestos sensores ultrasónico / pluviómetro</i>	2	\$ 200.000	\$ 400.000
4.3	<b>Soporte técnico remoto (12 meses)</b>	<i>Uptime, actualizaciones software, soporte 8x5</i>	12	\$ 300.000	\$ 3.600.000
4.4	<b>Conectividad SIM/GSM gateways</b>	<i>Plan datos 2 SIMs x 12 meses</i>	24	\$ 60.000	\$ 1.440.000
4.5	<b>Renovación cloud año 2 en adelante</b>	<i>Estimado anual de operación continua del sistema</i>	1	\$ 3.600.000	\$ 3.600.000
<b>Subtotal sección 4</b>					<b>\$ 11.200.000</b>

**RÍO SEGURO · Presupuesto estimado del proyecto**

N°	Ítem / Concepto	Descripción / Especificación	Cant.	Valor unitario (COP)	Subtotal (COP)
<b>5. Capacitación y apropiación comunitaria</b>					
5.1	<b>Diseño del programa de capacitación</b>	<i>Módulos formativos, guías didácticas, protocolos</i>	1	\$ 1.500.000	<b>\$ 1.500.000</b>
5.2	<b>Talleres gestión del riesgo (por zona)</b>	<i>Taller 4 h: alertas, rutas evacuación — 6 zonas</i>	6	\$ 350.000	<b>\$ 2.100.000</b>
5.3	<b>Formación de líderes comunitarios</b>	<i>8 h por zona — 3 líderes x 6 zonas (18 líderes)</i>	6	\$ 280.000	<b>\$ 1.680.000</b>
5.4	<b>Simulacro de evacuación (por zona)</b>	<i>Ejercicio práctico coordinado con DAGRD</i>	6	\$ 400.000	<b>\$ 2.400.000</b>
5.5	<b>Material didáctico impreso y digital</b>	<i>500 cartillas + infografías + brochures</i>	1	\$ 800.000	<b>\$ 800.000</b>
<b>Subtotal sección 5</b>					<b>\$ 8.480.000</b>
<b>6. Profesionales requeridos (fase de implementación — 6 meses)</b>					
6.1	<b>Gerente de proyecto</b>	<i>Dirección técnica y administrativa del proyecto</i>	6	\$ 2.500.000	<b>\$ 15.000.000</b>
6.2	<b>Coordinador técnico IoT</b>	<i>Supervisión instalación, programación y calibración</i>	4	\$ 2.000.000	<b>\$ 8.000.000</b>
6.3	<b>Desarrollador de software (fullstack)</b>	<i>Backend, app móvil y dashboard web</i>	5	\$ 4.000.000	<b>\$ 20.000.000</b>
6.4	<b>Técnico electrónico / instalador</b>	<i>Montaje y calibración de nodos en campo</i>	4	\$ 1.800.000	<b>\$ 7.200.000</b>
6.5	<b>Coordinador social y comunitario</b>	<i>Talleres, formación líderes, enlace institucional</i>	4	\$ 1.800.000	<b>\$ 7.200.000</b>
6.6	<b>Gastos administrativos y legales</b>	<i>Pólizas, papelería, trámites, misceláneos</i>	1	\$ 1.200.000	<b>\$ 1.200.000</b>
<b>Subtotal sección 6</b>					<b>\$ 58.600.000</b>
<i>Imprevistos y contingencias (5% del subtotal base)</i>					<i>\$ 7.110.000</i>
<b>TOTAL GENERAL ESTIMADO DEL PROYECTO</b>					<b>\$ 149.310.000</b>
<i>Equivalente aprox. USD (TRM \$4.200): USD 35.550</i>					

## NOTAS Y SUPUESTOS DEL PRESUPUESTO

1. Los valores son estimados de referencia con base en precios del mercado colombiano 2025-2026. Deben validarse con cotizaciones formales antes de formular el presupuesto oficial.
2. La infraestructura (Sección 1) contempla 6 nodos ubicados en: comuna 1 (Popular), 3 (Manrique), 7 (Robledo), 8 (Villa Hermosa), 13 (San Javier) y 14 (El Poblado).
3. El desarrollo de la app móvil (Sección 3) asume contratación externa. Puede reducirse con estudiantes de ingeniería en práctica o convenios con universidades.
4. Los costos de capacitación (Sección 5) pueden ser cofinanciados por DAGRD, Alcaldía de Medellín o cooperación internacional (UNDRR, BID Lab).
5. Fuentes de financiación sugeridas: Fondo Nacional de Gestión del Riesgo (FNGRD), presupuesto participativo comunal, Responsabilidad Social Empresarial, cooperación internacional.