

Esquema Inicial del Proyecto

Sistema Inteligente de Monitoreo de Infraestructura Crítica con IoT y IA

COTECMAR - December 2025

Como Gerente Senior de Proyectos de I+D y Redactor Técnico, he analizado la Convocatoria Colombia Inteligente (Minciencias 966) y su propuesta de "Sistema Inteligente de Monitoreo de Infraestructura Crítica con IoT y IA". A continuación, presento la Estructura Conceptual Inicial (Blueprint) para la propuesta, asegurando la coherencia lógica entre la oportunidad de financiación y la idea del proyecto.

Blueprint de Propuesta: Sistema Inteligente de Monitoreo de Infraestructura Crítica con IoT y IA

1. Alineación General del Proyecto con la Convocatoria

Guía de Contenido:

Esta sección establecerá cómo el proyecto propuesto se integra de manera estratégica con los objetivos y líneas temáticas de la Convocatoria Colombia Inteligente 966. Se debe destacar:

- **Eje Temático IA:** El proyecto se enmarca directamente en la Línea 1: Eje Temático Inteligencia Artificial, específicamente en la aplicación de tecnologías de IA para la gestión y monitoreo.
- **Objetivo de la Convocatoria:** Contribuirá al fortalecimiento de la Investigación Aplicada y el Desarrollo Tecnológico en IA, generando un impacto medible en el desarrollo social y económico al mejorar la seguridad y eficiencia de la infraestructura crítica en regiones colombianas.
- **Enfoque Territorial y Cierre de Brechas:** La solución está diseñada para abordar problemas en "territorios remotos", lo que se alinea perfectamente con la demanda de la convocatoria de impactar el desarrollo regional y cerrar brechas tecnológicas a nivel nacional.
- **TRL Esperado y Transferencia Tecnológica:** El proyecto busca llevar una idea desde un TRL intermedio (ej. 3-4) hacia un prototipo funcional (TRL 6-7), con un claro potencial de escalabilidad y transferencia tecnológica a entidades públicas o privadas responsables de infraestructura, cumpliendo con el alcance de la convocatoria.

2. Estrategia del Resumen Ejecutivo

Guía de Contenido:

El resumen ejecutivo debe ser conciso y persuasivo, capturando la atención del evaluador. Se debe estructurar para resaltar los siguientes puntos clave:

- **Problema Central:** Iniciar con la problemática crítica del monitoreo ineficiente o inexistente de infraestructuras vitales (puentes, carreteras) en zonas remotas de Colombia, que conlleva riesgos de

seguridad pública, altos costos de mantenimiento reactivo y limitaciones en el desarrollo regional.

- **Solución Innovadora:** Presentar el "Sistema Inteligente de Monitoreo de Infraestructura Crítica con IoT y IA" como una solución disruptiva que integra redes de sensores IoT para la recolección de datos en tiempo real y algoritmos avanzados de Inteligencia Artificial para el análisis predictivo y la detección temprana de anomalías estructurales.

- **Impacto Medible y Relevancia:** Cuantificar el impacto esperado, como la mejora de la seguridad ciudadana, la prevención de colapsos, la optimización de los recursos de mantenimiento (reducción del 20% en tiempo de respuesta), el cierre de brechas tecnológicas en las regiones, y la contribución al desarrollo económico y social del país, en consonancia con la Política de Investigación e Innovación Orientada por Misiones.

- **Consortio y Talento:** Breve mención de la capacidad del consorcio (academia, industria, sector público) y el talento especializado que ejecutará el proyecto.

3. Estrategia de la Declaración del Problema

Guía de Contenido:

Esta sección debe construir un argumento sólido sobre la necesidad y relevancia del proyecto, profundizando en la problemática.

- **Contexto Nacional y Regional:** Iniciar contextualizando la importancia de la infraestructura crítica (carreteras, puentes) para la conectividad y el desarrollo económico y social de las regiones colombianas, especialmente en zonas remotas o de difícil acceso.

- **Definición del Problema Específico:** Articular claramente que "la detección temprana de daños o amenazas en infraestructuras críticas en territorios remotos de Colombia es limitada". Esto se debe a:

- **Métodos Actuales:** Dependencia de inspecciones manuales, periódicas y reactivas, que son costosas, lentas y a menudo insuficientes para identificar problemas incipientes.

- **Brecha Tecnológica:** La ausencia de sistemas de monitoreo continuo, predictivo y en tiempo real, lo que impide una gestión proactiva y eficaz de la infraestructura.

- **Consecuencias:** Riesgos elevados para la seguridad de los usuarios, interrupciones de servicios vitales, reparaciones de emergencia más costosas y complejas, y frenos al desarrollo regional sostenible.

- **Justificación de la Innovación:** Explicar cómo la integración de IoT y IA aborda directamente esta brecha, ofreciendo una capacidad de monitoreo sin precedentes que los sistemas actuales no pueden proporcionar. Conectar la solución propuesta como una respuesta directa a las "Demandas" de la convocatoria de contribuir al desarrollo regional y cerrar brechas tecnológicas.

4. Definición de Objetivos (Refinamiento SMART)

Guía de Contenido:

Se presentará el objetivo general y los objetivos específicos reformulados bajo criterios SMART, incluyendo métricas y plazos explícitos.

Objetivo General:

- **Refinamiento:** Desarrollar y validar un sistema inteligente de monitoreo en tiempo real basado en Internet de las Cosas (IoT) e Inteligencia Artificial (IA) para la evaluación de la salud estructural y la detección temprana de anomalías en infraestructuras críticas (puentes y carreteras) en territorios remotos de Colombia, con el fin de mejorar la seguridad pública, optimizar el mantenimiento y contribuir al desarrollo regional.

Objetivos Específicos (SMART Refinamiento):

1. Diseñar e Implementar la Red Piloto de Sensores IoT:

- **Específico:** Diseñar la arquitectura, seleccionar los componentes y desplegar una red piloto de 50 sensores IoT multisensor (ej. vibración, inclinación, temperatura, deformación) en un tramo de infraestructura crítica seleccionado (ej. un puente estratégico y 2 km de carretera adyacente) en una región específica de Colombia.
- **Medible:** Red de 50 sensores multisensor instalados y operativos, con un mínimo del 95% de disponibilidad de datos.
- **Alcanzable:** Sí, con un equipo técnico adecuado y una planificación logística robusta.
- **Relevante:** Es la base para la recolección de datos del sistema.
- **Tiempo-definido:** En los primeros 9 meses de ejecución del proyecto.

2. Desarrollar y Validar el Modelo de IA para Detección de Anomalías:

- **Específico:** Desarrollar un modelo de Inteligencia Artificial (ej. redes neuronales recurrentes o transformadores) capaz de procesar y analizar los datos en tiempo real de los sensores IoT para identificar patrones de deterioro, anomalías estructurales (ej. fatiga de materiales, subsidencia del terreno) y eventos críticos.
- **Medible:** El modelo de IA alcanzará una precisión mínima del 90% en la detección de anomalías estructurales y una tasa de falsos positivos inferior al 5% en un conjunto de datos validado.
- **Alcanzable:** Sí, con la disponibilidad de datos de entrenamiento y expertos en IA.
- **Relevante:** Es el componente central para la inteligencia del sistema.
- **Tiempo-definido:** En los primeros 15 meses de ejecución del proyecto.

3. Implementar un Panel de Control y Sistema de Alertas en Tiempo Real:

- **Específico:** Desarrollar e implementar una plataforma de software (panel de control) intuitiva y un sistema de alertas automatizado, que permita la visualización en tiempo real de los datos de los sensores y las predicciones del modelo de IA, accesible para los equipos de mantenimiento y gestión de infraestructura.
- **Medible:** Plataforma desplegada y funcional, con un mínimo de 3 perfiles de usuario definidos y un tiempo de notificación de alertas inferior a 5 minutos desde la detección de una anomalía. Se realizará una prueba de aceptación de usuario con el 80% de satisfacción.
- **Alcanzable:** Sí, con ingenieros de software y UX/UI.
- **Relevante:** Es la interfaz de interacción del usuario con el sistema.
- **Tiempo-definido:** En los primeros 12 meses de ejecución del proyecto.

4. Evaluar el Impacto en la Eficiencia del Mantenimiento:

- **Específico:** Cuantificar la mejora en la eficiencia operativa de los equipos de mantenimiento de infraestructura en el área piloto, mediante la reducción del tiempo de respuesta ante incidentes detectados por el sistema.
- **Medible:** Reducir en al menos un 20% el tiempo de respuesta promedio ante incidentes de mantenimiento detectados por el sistema, comparado con el tiempo de respuesta promedio histórico (línea base a definir), durante los primeros 6 meses de operación del sistema piloto.
- **Alcanzable:** Sí, con colaboración de entidades operadoras.
- **Relevante:** Demuestra el valor práctico y económico del sistema.
- **Tiempo-definido:** Durante los meses 13 a 18 de ejecución del proyecto.

5. Generar un Informe de Viabilidad y Plan de Expansión:

- **Específico:** Realizar un análisis de viabilidad técnica, económica y operativa, y generar un informe detallado que sirva como hoja de ruta para la expansión del sistema a otras infraestructuras críticas y regiones de Colombia.
- **Medible:** Informe de viabilidad completo, que incluya un modelo de costos, un cronograma de expansión propuesto y un análisis de retorno de inversión.
- **Alcanzable:** Sí, basado en los resultados del piloto.
- **Relevante:** Garantiza la sostenibilidad y escalabilidad a largo plazo.
- **Tiempo-definido:** En el mes 18 de ejecución del proyecto.

5. Marco Metodológico

Guía de Contenido:

Se propondrá un marco metodológico híbrido que combine la robustez de los procesos estructurados de I+D con la agilidad necesaria para el desarrollo tecnológico.

- **Enfoque General:** Adoptar un enfoque de **Ingeniería de Sistemas** para la gestión global del proyecto, desde la conceptualización hasta la validación y despliegue.
- **Fases Estructuradas:** Desglosar el proyecto en fases secuenciales que permitan la gestión de TRLs:
- **Fase de Investigación Aplicada y Diseño (TRL 3-4):** Investigación bibliográfica avanzada, selección de tecnologías (sensores, plataformas IA), diseño de arquitectura de hardware y software, y diseño de experimentos para la recolección de datos.
- **Fase de Desarrollo y Prototipado (TRL 4-6):** Construcción de la red de sensores IoT, desarrollo del modelo de IA (utilizando un enfoque iterativo como **CRISP-DM** para la ciencia de datos: Comprensión del Negocio, Comprensión de Datos, Preparación de Datos, Modelado, Evaluación, Despliegue), y desarrollo del panel de control.
- **Fase de Integración y Validación (TRL 6-7):** Integración de todos los componentes, pruebas de laboratorio y campo exhaustivas, validación del rendimiento del sistema en el entorno piloto, y ajustes iterativos basados en los resultados. Se emplearán principios de **Agile/Scrum** para el desarrollo del software, permitiendo flexibilidad y adaptación.
- **Fase de Operación Piloto y Evaluación:** Despliegue del sistema en la infraestructura crítica seleccionada, monitoreo continuo, recolección de datos para la evaluación de impacto y refinamiento.
- **Gestión de Calidad y Estándares:** Integrar estándares de calidad (ej. ISO/IEC 42001 para IA), prácticas de seguridad (ISO/IEC 27001) y normatividad aplicable (CONPES 4144, Ley 1581 de 2012) a lo largo de todas las fases.

6. Estrategia del Plan de Ejecución

Guía de Contenido:

Esta sección detallará las fases de alto nivel del cronograma de actividades y los riesgos críticos específicos del proyecto.

Fases de Alto Nivel del Cronograma de Actividades:

1. Fase 1: Planificación y Diseño Conceptual (Meses 1-3)

- Establecimiento del equipo de proyecto y alianzas.

-
- Análisis detallado de requisitos de infraestructura y usuario.
 - Diseño de la arquitectura del sistema IoT y la plataforma de IA.
 - Selección de tecnologías de hardware (sensores) y software (frameworks IA).
 - Definición de protocolos de comunicación y seguridad.

2. Fase 2: Desarrollo y Prototipado (Meses 4-12)

- Adquisición y desarrollo de prototipos de sensores IoT.
- Desarrollo y entrenamiento inicial del modelo de IA.
- Desarrollo del software de la plataforma de monitoreo y panel de control.
- Pruebas unitarias y de integración de componentes.

3. Fase 3: Implementación y Validación Piloto (Meses 10-15)

- Despliegue de la red de sensores IoT en la infraestructura crítica piloto.
- Calibración y ajuste de los sensores.
- Integración final de la red IoT con la plataforma de IA y el panel de control.
- Pruebas de rendimiento del sistema en ambiente real.
- Validación de la precisión del modelo de IA con datos en tiempo real.

4. Fase 4: Operación y Monitoreo Inicial (Meses 13-18)

- Operación continua del sistema piloto.
- Monitoreo y recolección de datos para la evaluación de impacto.
- Capacitación a los usuarios finales (equipos de mantenimiento).
- Ajustes y optimizaciones finales del sistema.

5. Fase 5: Evaluación y Cierre (Meses 16-18)

- Evaluación del impacto técnico, económico y social.
- Generación del informe de viabilidad técnica y económica para la expansión.
- Publicación de resultados científicos y divulgación.
- Transferencia de conocimiento y cierre administrativo del proyecto.

Identificación de 3 Riesgos Críticos (Técnicos y Operacionales) Específicos para el Proyecto:

1. Riesgo Técnico - Calidad y Heterogeneidad de Datos para IA:

● **Descripción:** Dificultad para obtener conjuntos de datos de alta calidad, representativos y etiquetados de anomalías estructurales en condiciones reales de infraestructura, lo que podría afectar la precisión y robustez del modelo de IA, especialmente ante la heterogeneidad de los datos provenientes de diferentes tipos de sensores o condiciones ambientales variables.

● **Mitigación:** Implementar estrategias robustas de preprocesamiento y limpieza de datos, utilizar técnicas de aumento de datos, explorar modelos de IA semi-supervisados o de aprendizaje por transferencia, y establecer una fase de recolección y etiquetado de datos iniciales en el sitio piloto con expertos en ingeniería civil.

2. Riesgo Operacional - Despliegue y Mantenimiento en Entornos Remotos:

● **Descripción:** Desafíos logísticos, de seguridad y de conectividad para el despliegue, calibración y mantenimiento continuo de la red de 50 sensores IoT en infraestructuras críticas ubicadas en territorios remotos o de difícil acceso, lo que podría generar interrupciones en el servicio o costos operativos inesperados.

● **Mitigación:** Establecer alianzas estratégicas con entidades locales o la comunidad para apoyo logístico, diseñar sensores con baterías de larga duración y bajo consumo de energía, implementar capacidades de monitoreo remoto y autodiagnóstico de los sensores, y desarrollar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo con equipos de campo capacitados.

3. Riesgo Técnico/Operacional - Integración y Escalabilidad del Sistema:

● **Descripción:** Dificultades en la integración robusta y escalable de la red de sensores IoT (posiblemente de diferentes fabricantes) con la plataforma central de procesamiento de IA y el panel de control, lo que podría generar latencia en la detección de anomalías, problemas de interoperabilidad o limitaciones para una futura expansión a múltiples infraestructuras.

● **Mitigación:** Utilizar estándares de comunicación abiertos (ej. MQTT, LoRaWAN), diseñar una arquitectura modular y basada en microservicios para la plataforma de software, realizar pruebas de carga y estrés exhaustivas en las fases de desarrollo e integración, y planificar la infraestructura de cómputo para soportar el crecimiento futuro de la red de sensores.

7. Impactos Esperados

Guía de Contenido:

Se deben definir los impactos esperados del proyecto en tres dimensiones, conectándolos directamente con los objetivos de la convocatoria.

Impacto Técnico:

-
- **Generación de Conocimiento:** Producción de artículos científicos (Q1/Q2), tesis de maestría/doctorado, y informes técnicos sobre la aplicación de IA e IoT en monitoreo estructural.
 - **Desarrollo Tecnológico:** Creación de prototipos funcionales de sensores IoT adaptados a entornos colombianos, desarrollo de algoritmos de IA de vanguardia para detección predictiva de anomalías, y una plataforma de monitoreo en tiempo real.
 - **Avance de TRL:** El proyecto impulsará el Nivel de Madurez Tecnológica (TRL) de la solución, pasando de una prueba de concepto (TRL 3-4) a un sistema validado en un entorno relevante (TRL 6-7).
 - **Propiedad Intelectual:** Potencial de solicitud de patentes sobre el diseño de sensores o algoritmos, y registro de derechos de autor sobre el software desarrollado.
 - **Infraestructura CTel:** Fortalecimiento de capacidades de investigación en centros y universidades participantes, mediante la adecuación de laboratorios y la adquisición de equipos especializados en IoT y IA.

Impacto Económico:

- **Reducción de Costos Operativos:** Disminución significativa de los costos asociados a inspecciones manuales y mantenimiento correctivo de emergencia, al permitir una gestión proactiva y predictiva de la infraestructura.
- **Prevención de Pérdidas:** Evitar pérdidas económicas por daños catastróficos, interrupciones de vías y afectaciones a la productividad regional.
- **Optimización de Inversiones:** Maximización de la vida útil de las infraestructuras, permitiendo una asignación más eficiente de los recursos para su conservación.
- **Generación de Valor Agregado:** Creación de nuevas oportunidades de negocio y servicios tecnológicos especializados en monitoreo inteligente de infraestructura, con potencial de comercialización y exportación.
- **Competitividad Regional:** Contribución a la mejora de la competitividad de las regiones al garantizar infraestructuras más seguras y resilientes.

Impacto Social:

- **Mejora de la Seguridad Pública:** Reducción drástica de riesgos de accidentes y colapsos estructurales, salvaguardando vidas y la integridad de los ciudadanos que transitan por estas infraestructuras.
- **Cierre de Brechas Tecnológicas:** Provisión de soluciones de alta tecnología a territorios remotos, fomentando la inclusión digital y el acceso a herramientas avanzadas para su desarrollo.
- **Fortalecimiento del Talento Humano:** Formación de nuevo talento especializado en IA, IoT y monitoreo de infraestructura, a través de la vinculación de jóvenes investigadores, técnicos y la oferta de

programas de capacitación.

- **Apropiación Social del Conocimiento:** Realización de talleres de capacitación y sensibilización dirigidos a comunidades locales y actores del sector público sobre la importancia del monitoreo y el uso de nuevas tecnologías.

- **Desarrollo Regional Sostenible:** Contribución directa al desarrollo ambiental, social y económico de las regiones al garantizar infraestructuras seguras y funcionales, esenciales para el transporte de bienes, personas y servicios.

- **Enfoque Diferencial:** Asegurar que las comunidades locales, incluyendo poblaciones vulnerables en las áreas de influencia, se beneficien de una infraestructura más segura y de programas de formación inclusivos.
