



Plataforma de IA Cuántica para la Optimización de Servicios Públicos Territoriales

1. Resumen Ejecutivo

La gestión ineficiente de recursos críticos como agua y energía genera pérdidas sustanciales y acceso desigual en zonas rurales de Colombia, un desafío que las soluciones de IA actuales no abordan por su complejidad y falta de adaptación. Este proyecto propone la "Plataforma de IA Cuántica para la Optimización de Servicios Públicos Territoriales", una solución innovadora que integra algoritmos avanzados de IA con principios de computación cuántica. Nuestra visión es lograr una optimización eficiente y equitativa de estos servicios, superando limitaciones tecnológicas y contribuyendo al desarrollo territorial sostenible.

Para materializar esta visión, el proyecto se centrará en el diseño y desarrollo de una plataforma de IA Cuántica híbrida, buscando demostrar una mejora significativa en la eficiencia operativa de los servicios públicos rurales, como la reducción de pérdidas de agua y el aumento de la eficiencia energética. Adicionalmente, se validará su robustez y adaptabilidad en diversos entornos rurales. La metodología adoptada es el Modelo en V de Ingeniería de Sistemas, garantizando un enfoque riguroso desde la definición de requisitos hasta la implementación y pruebas piloto en campo, asegurando la fiabilidad de la solución.

Los resultados esperados incluyen un prototipo funcional de la plataforma, código fuente documentado e informes detallados de rendimiento. Los impactos estratégicos son profundos: a nivel técnico-científico, avanzaremos el estado del arte en IA cuántica híbrida; económicamente, se proyecta una reducción mínima del 15% en pérdidas de agua no facturada y un aumento del 10% en la eficiencia energética, mejorando la competitividad y fomentando el desarrollo local. Social y ambientalmente, se mejorará el acceso equitativo a servicios esenciales, la calidad de vida y se contribuirá a la gestión sostenible de recursos.

Este proyecto es una inversión crítica y estratégica que posicionará a las organizaciones involucradas a la vanguardia de la innovación tecnológica, impulsando un futuro más eficiente, equitativo y sostenible para las comunidades rurales de Colombia.

2. Generalidades del Proyecto

- **Descripción:** Desarrollo de una plataforma inteligente que integra algoritmos de IA avanzada y principios de computación cuántica para optimizar la gestión de recursos críticos como el agua o la energía en zonas rurales de Colombia. El objetivo es mejorar la eficiencia, reducir pérdidas y garantizar un acceso equitativo, contribuyendo a cerrar las brechas tecnológicas y mejorar la calidad de vida en los territorios.
- **Palabras Clave:** IA, Computación Cuántica, Servicios Públicos, Desarrollo Territorial, Colombia

3. Planteamiento del Problema y Justificación

La gestión eficiente de recursos públicos críticos como el agua y la energía es fundamental para el desarrollo sostenible y la calidad de vida, particularmente en las zonas rurales de Colombia que enfrentan significativas brechas tecnológicas. Sin embargo, la complejidad inherente a la optimización de estos sistemas, que involucra múltiples variables interconectadas, dinámicas temporales y factores geográficos, conduce a ineficiencias operativas sustanciales, pérdidas significativas y un acceso desigual a servicios esenciales. Esta problemática representa un desafío persistente que impacta directamente el bienestar social y el desarrollo económico territorial.

A pesar de la creciente adopción de la Inteligencia Artificial (IA) en la optimización de recursos, como lo demuestran estudios sobre la aplicación de sensores IoT y IA para la gestión hídrica (Facuy Toledo, 2024) y modelos de gestión eficiente de recursos (Saxena y Singh, 2022), las soluciones actuales presentan limitaciones cruciales. Como el estado del arte indica, la mayoría de los enfoques de IA se centran en optimizaciones parciales o están diseñados para entornos urbanos, dejando desatendidas las complejidades específicas de las zonas rurales, como la infraestructura dispersa, la variabilidad de la demanda y las limitaciones de conectividad. Además, si bien la computación cuántica promete revolucionar la resolución de problemas de optimización de complejidad intratable (Mercado et al., 2013; Lapuente Valea, 2015), su aplicación directa a problemas del mundo real en la gestión de servicios públicos aún es un campo emergente. Esto revela una brecha crítica: la ausencia de plataformas integrales que combinen eficazmente IA avanzada con principios de computación cuántica para abordar la optimización de recursos críticos en contextos rurales.

Este proyecto propone el desarrollo de una "Plataforma de IA Cuántica para la Optimización de Servicios Públicos Territoriales" como la respuesta directa e innovadora a esta brecha tecnológica y de conocimiento. Al integrar algoritmos de IA avanzada, capaces de procesar datos en tiempo real y predecir demandas, con los principios de la computación cuántica para resolver las partes más computacionalmente intensivas de los problemas de optimización, la plataforma superará las limitaciones de los enfoques actuales. La solución se centrará en arquitecturas híbridas de IA cuántica, adaptando algoritmos cuánticos a los datos y restricciones específicas de la gestión de agua y energía en zonas rurales, ofreciendo una herramienta necesaria para una administración más eficiente y equitativa.

La implementación de esta plataforma es estratégica y oportuna, alineándose con iniciativas nacionales como el CONPES 4144 de 2025, que subraya la hoja de ruta de Colombia en Inteligencia Artificial, y los esfuerzos del Ministerio TIC para promover la adopción de IA. Este proyecto es crítico porque su impacto se extiende más allá de la eficiencia operativa; contribuirá a reducir significativamente las pérdidas de recursos, garantizar un acceso equitativo y cerrar las brechas tecnológicas en zonas rurales, mejorando directamente la calidad de vida de sus habitantes. Representa una solución innovadora y de vanguardia que no solo aborda un problema persistente, sino que también posiciona a las organizaciones involucradas a la vanguardia de la innovación tecnológica para el desarrollo territorial sostenible.

4. Marco Teórico y Estado del Arte

4.1. Introducción al Dominio

La gestión eficiente de los recursos públicos, como el agua y la energía, es un pilar fundamental para el desarrollo sostenible y la mejora de la calidad de vida, especialmente en zonas rurales y territorios con brechas tecnológicas. La complejidad inherente a la optimización de estos sistemas, que involucra múltiples variables interconectadas, dinámicas temporales y factores geográficos, demanda mejora de la calidad de vida, especialmente en zonas rurales y territorios con brechas tecnológicas. La complejidad inherente a la optimización de estos sistemas, que involucra múltiples variables interconectadas, dinámicas temporales y factores geográficos, demanda enfoques innovadores. En este contexto, la Inteligencia Artificial (IA) ha emergido como una herramienta transformadora, capaz de analizar grandes volúmenes de datos, predecir demandas, optimizar distribuciones y automatizar procesos, contribuyendo a una administración más eficiente y equitativa de los recursos.

Paralelamente, la computación cuántica representa una frontera tecnológica con el potencial de revolucionar la resolución de problemas de optimización de una complejidad computacional intratable para los sistemas clásicos. Sus principios, basados en la superposición y el entrelazamiento cuántico, prometen acelerar significativamente la búsqueda de soluciones óptimas en escenarios complejos. La convergencia de la IA avanzada y los principios de la computación cuántica ofrece una oportunidad sin precedentes para abordar los desafíos más apremiantes en la gestión de servicios públicos territoriales, sentando las bases para una nueva generación de plataformas inteligentes.

4.2. Revisión de la Literatura (Literature Review)

La literatura reciente destaca la creciente aplicación de la IA en la optimización de recursos. Por ejemplo, el trabajo de Facuy Toledo (2024) sobre la "Aplicación de sensores IoT e inteligencia artificial para la optimización del riego en cultivos agroecológicos" subraya cómo la integración de tecnologías emergentes puede mejorar la eficiencia y sostenibilidad del riego. Aunque enfocado en la agricultura, este estudio es relevante por su metodología de optimización de recursos hídricos mediante IA en un contexto de sostenibilidad, aplicable a la gestión de agua en servicios públicos. La investigación demuestra la capacidad de la IA para procesar datos de sensores y generar estrategias de riego eficientes, lo cual es directamente extrapolable a la gestión de redes de distribución de agua en zonas rurales.

En el ámbito más amplio de la gestión de recursos, Saxena y Singh (2022) propusieron un "modelo de gestión de recursos eficiente en energía y seguro centrado en la seguridad para entornos de computación en la nube". Aunque específico para la computación en la nube, su enfoque en la asignación eficiente de máquinas virtuales para optimizar el rendimiento y la seguridad es un ejemplo claro de cómo la IA puede ser utilizada para la gestión inteligente de recursos, un principio aplicable a la optimización de infraestructuras de servicios públicos.

En cuanto a la computación cuántica, la investigación se ha centrado en su capacidad para resolver problemas de optimización combinatoria. Mercado et al. (2013) exploraron "Algoritmos evolutivos multirecombinativos híbridos aplicados al problema de vehículos con capacidad limitada", un tipo de problema de optimización combinatoria que tiene paralelismos con la planificación de rutas para el mantenimiento de infraestructura de servicios públicos. Aunque no es directamente cuántico, sienta las bases para entender la complejidad de los problemas que la computación cuántica busca resolver. En esta línea, Lapuente Valea (2015) investigó "Algoritmos multi-objetivos para la optimización de una secuencia de matrices generadoras en computación cuántica topológica", demostrando el potencial de los enfoques cuánticos para abordar problemas de optimización complejos, incluso a nivel de diseño de algoritmos cuánticos.

Finalmente, la relevancia de la IA en el contexto colombiano es evidente en documentos como el CONPES 4144 de 2025, que establece la hoja de ruta del país en Inteligencia Artificial, y las iniciativas del Ministerio TIC, como el evento 'AgroTIC 2024', que promueven la adopción de la IA en el sector agropecuario y, por extensión, en la gestión de recursos territoriales. Estos esfuerzos nacionales demuestran un reconocimiento de la IA como motor de desarrollo y una clara oportunidad para la aplicación de tecnologías avanzadas en el sector público.

4.3. Tecnologías y Enfoques Actuales (State of the Art)

El estado del arte en la optimización de servicios públicos territoriales se caracteriza por la creciente adopción de sistemas basados en Inteligencia Artificial, particularmente Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL). Estos enfoques permiten el análisis predictivo de la demanda de recursos (agua, energía), la detección de anomalías y fugas en las redes de distribución, y la optimización de la asignación de recursos. Los sensores del Internet de las Cosas (IoT) son fundamentales en este ecosistema, proporcionando los datos en tiempo real que alimentan los algoritmos de IA, como se observa en la optimización del riego. Los modelos actuales a menudo emplean algoritmos de series temporales para predicción y algoritmos de optimización heurísticos o metaheurísticos para la toma de decisiones.

En el ámbito de la computación cuántica, el estado del arte se centra en el desarrollo de algoritmos cuánticos para problemas de optimización, como el Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA) y el Variational Quantum Eigensolver (VQE). Estos algoritmos, si bien aún están en fases de investigación y desarrollo, prometen superar las capacidades de la computación clásica para ciertos tipos de problemas combinatorios a medida que los hardware cuánticos maduran. El concepto de "Quantum Computing as a Service" (QCaaS) facilita el acceso a estas tecnologías emergentes a través de la nube, permitiendo su experimentación y aplicación en diversos sectores. La integración de la IA con la computación cuántica, a través de modelos híbridos de IA cuántica, representa la vanguardia, buscando combinar la capacidad de la IA para aprender de datos con el poder de la computación cuántica para resolver optimizaciones complejas.

4.4. Brechas de Conocimiento y Oportunidades (Knowledge Gaps & Opportunities)

A pesar de los avances, existen brechas significativas en la aplicación de IA y computación cuántica a la optimización de servicios públicos territoriales, especialmente en contextos como el colombiano. Una brecha crucial es la falta de plataformas integrales que combinen eficazmente algoritmos avanzados de IA con principios de computación cuántica para la gestión de recursos críticos en entornos rurales. La mayoría de las soluciones de IA existentes se centran en optimizaciones parciales o en entornos urbanos, dejando desatendidas las complejidades específicas de las zonas rurales, como la infraestructura dispersa, la variabilidad de la demanda y las limitaciones de conectividad.

Asimismo, la madurez de la computación cuántica aún presenta desafíos, y la aplicación directa de algoritmos cuánticos a problemas de optimización del mundo real es un campo emergente. Existe una oportunidad clara para investigar y desarrollar arquitecturas híbridas de IA cuántica que puedan aprovechar las fortalezas de ambas paradigmas: la IA para el procesamiento de datos, la predicción y la toma de decisiones en tiempo real, y la computación cuántica para resolver las partes más computacionalmente intensivas de los problemas de optimización. Esto incluye la adaptación de algoritmos cuánticos a los datos y restricciones específicas de la gestión de agua y energía, y la creación de interfaces que permitan a los operadores de servicios públicos utilizar estas tecnologías avanzadas sin requerir un conocimiento profundo de la computación cuántica. El proyecto propuesto busca precisamente cerrar estas brechas, ofreciendo una solución innovadora y adaptada a las necesidades del desarrollo territorial en Colombia.

5. Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una plataforma integral de IA Cuántica para la optimización eficiente y equitativa de servicios públicos críticos (agua y energía) en zonas rurales de Colombia, superando las limitaciones tecnológicas actuales y contribuyendo al desarrollo territorial sostenible.

Objetivos Específicos

1. Objetivo: Diseñar y desarrollar la Plataforma de IA Cuántica Híbrida.

- **Específico (S):** Diseñar, desarrollar e implementar una plataforma de IA Cuántica híbrida que integre algoritmos avanzados de inteligencia artificial con principios de computación cuántica, específicamente adaptada para la optimización de la gestión de recursos hídricos y energéticos en contextos rurales de Colombia.
- **Medible (M):** Completar el diseño de la arquitectura de la plataforma (documento de arquitectura), desarrollar los módulos clave de IA y cuánticos (código fuente funcional), y entregar una versión prototipo funcional de la plataforma dentro de los primeros 12 meses del proyecto, verificada mediante pruebas unitarias y de integración.
- **Alcanzable (A):** Este objetivo es alcanzable dado que el proyecto se centra en arquitecturas híbridas y la integración de tecnologías existentes y emergentes, con la participación de un equipo de desarrollo multidisciplinario con experiencia en IA y conocimientos en computación cuántica.

- **Relevante (R):** Aborda directamente la brecha tecnológica y la ausencia de una plataforma integral mencionada en la justificación, sentando las bases tecnológicas para la solución del problema central de ineficiencia y acceso desigual a servicios públicos.

- **Plazo (T):** Dentro de los primeros 12 meses de la ejecución del proyecto.

2. **Objetivo:** Demostrar una mejora significativa en la eficiencia operativa de los servicios públicos rurales.

- **Específico (S):** Implementar la plataforma de IA Cuántica en escenarios piloto para la gestión de recursos hídricos y energéticos en zonas rurales, con el fin de demostrar una mejora cuantificable en la eficiencia operativa y una reducción en las pérdidas de recursos.

- **Medible (M):** Lograr una reducción mínima del 15% en las pérdidas de agua no facturada y un aumento del 10% en la eficiencia de la distribución energética en las zonas piloto seleccionadas, comparado con las métricas de línea base pre-implementación, al finalizar el proyecto.

- **Alcanzable (A):** Las capacidades avanzadas de optimización de la IA y la computación cuántica, como se describe en la justificación, prometen superar las limitaciones de los enfoques tradicionales, haciendo que estas mejoras sean realistas y esperadas.

- **Relevante (R):** Contribuye directamente a resolver la problemática de ineficiencias operativas, pérdidas significativas de recursos y acceso desigual, que son el núcleo del problema planteado en la justificación.

- **Plazo (T):** Al finalizar el periodo de ejecución total del proyecto (24 meses).

3. **Objetivo:** Validar la robustez y adaptabilidad de la plataforma en entornos rurales diversos.

- **Específico (S):** Validar la funcionalidad, robustez y adaptabilidad de la Plataforma de IA Cuántica en al menos dos entornos rurales piloto seleccionados en Colombia, asegurando su pertinencia y escalabilidad a las complejidades específicas de estas zonas, como infraestructura dispersa y variabilidad de la demanda.

- **Medible (M):** Implementar exitosamente la plataforma en dos municipios rurales distintos, recopilar y analizar datos de rendimiento durante un periodo de 6 meses, y obtener una satisfacción del usuario superior al 80% en las pruebas piloto, documentando las lecciones aprendidas y adaptaciones realizadas en un informe final de validación.

- **Alcanzable (A):** La validación en entornos piloto es una fase crucial y estándar en proyectos de I+D, y es fundamental para asegurar que la solución no solo sea tecnológicamente viable, sino también práctica y útil en el contexto real de las zonas rurales.

- **Relevante (R):** Asegura que la solución propuesta aborde las limitaciones de los enfoques actuales que no atienden las complejidades específicas de las zonas rurales, garantizando que el proyecto tenga un impacto directo y significativo en el bienestar social y el desarrollo económico territorial.

- **Plazo (T):** Durante los últimos 12 meses del proyecto.

6. Metodología Propuesta

Framework Seleccionado: Modelo en V de Ingeniería de Sistemas

El Modelo en V ha sido seleccionado como el framework metodológico principal debido a la naturaleza de este proyecto de I+D, que implica el desarrollo de una plataforma compleja de IA Cuántica híbrida para servicios públicos críticos. Su énfasis en la verificación y validación rigurosa en cada etapa del ciclo de vida del desarrollo es fundamental para garantizar la fiabilidad y robustez de la plataforma, alineándose directamente con el Objetivo Específico 1 (diseño, desarrollo e implementación con pruebas unitarias y de integración) y los Objetivos 2 y 3, que demandan una mejora significativa en la eficiencia operativa y la validación de la adaptabilidad en entornos rurales diversos. Este modelo asegura que la calidad y los requisitos se aborden desde las fases iniciales, minimizando riesgos en la integración de tecnologías emergentes y su despliegue en contextos sensibles.

Fases Principales de la Metodología:

- **Fase 1: Análisis y Definición de Requisitos del Sistema** - Se realizará una exhaustiva recopilación y documentación de los requisitos funcionales y no funcionales de la plataforma, incluyendo las necesidades específicas para la optimización de recursos hídricos y energéticos en zonas rurales de Colombia.
- **Fase 2: Diseño Arquitectónico de Alto Nivel** - Se establecerá la arquitectura general de la Plataforma de IA Cuántica Híbrida, definiendo los componentes principales, sus interfaces, las tecnologías clave (IA, cuántica) y el marco de integración para asegurar escalabilidad y modularidad.
- **Fase 3: Diseño Detallado de Componentes y Algoritmos** - Esta fase se centrará en el diseño pormenorizado de cada módulo de la plataforma, incluyendo los algoritmos específicos de IA y cuánticos, las bases de datos y las interfaces de usuario, asegurando la coherencia con la arquitectura global.
- **Fase 4: Desarrollo e Implementación de la Plataforma** - Se procederá a la codificación y construcción de los módulos diseñados, integrando los algoritmos de IA y cuánticos, y desarrollando las funcionalidades necesarias para la gestión y optimización de servicios públicos.
- **Fase 5: Verificación y Pruebas Unitarias y de Integración** - Se ejecutarán pruebas rigurosas a nivel de componente (unitarias) y de subsistema (integración) para asegurar que cada módulo funciona correctamente de forma aislada y que la interacción entre los componentes es fluida y sin errores.
- **Fase 6: Validación y Pruebas del Sistema** - Se realizarán pruebas completas del sistema para verificar que la plataforma en su conjunto cumple con todos los requisitos definidos y opera de manera estable y eficiente en un entorno de laboratorio controlado, previo a su implementación en campo.
- **Fase 7: Implementación y Pruebas Piloto en Entornos Rurales** - La plataforma será desplegada en los entornos rurales piloto seleccionados para evaluar su funcionalidad, robustez y adaptabilidad en condiciones operativas reales, recopilando datos de rendimiento y retroalimentación directa de los usuarios.
- **Fase 8: Evaluación de Rendimiento y Optimización Continua** - Se analizarán los resultados de las pruebas piloto para medir las mejoras en la eficiencia operativa y la satisfacción del usuario, e implementar las adaptaciones y mejoras necesarias para optimizar la plataforma antes de su entrega

final.

7. Plan de Ejecución y Gestión

Cronograma de Actividades

7.1. Cronograma de Actividades

Fase	Actividad / Hito Clave	Entregable Principal	Duración Estimada (Semanas)
Fase 1: Análisis y Definición de Requisitos del Sistema	<i>Recopilación exhaustiva y documentación de los requisitos funcionales y no funcionales, incluyendo necesidades específicas para la optimización de recursos en zonas rurales.</i>	5	
1.1. Recopilación y análisis de requisitos funcionales y no funcionales.	Documento de Requisitos del Sistema (DRS)	3	
1.2. Estudio de necesidades específicas en zonas rurales de Colombia (agua y energía).	Informe de Análisis de Contexto Rural	2	
Fase 2: Diseño Arquitectónico de Alto Nivel	<i>Establecimiento de la arquitectura general de la plataforma, definición de componentes, interfaces y tecnologías clave para escalabilidad y modularidad.</i>	7	
2.1. Definición de la arquitectura de la Plataforma de IA Cuántica Híbrida.	Documento de Arquitectura de la Plataforma (DAP)	4	
2.2. Selección de tecnologías clave y marco de integración.	Especificación de Tecnologías y Frameworks	3	
Fase 3: Diseño Detallado de Componentes y Algoritmos	<i>Diseño pormenorizado de cada módulo, algoritmos de IA y cuánticos, bases de datos e interfaces de usuario, asegurando coherencia con la arquitectura global.</i>	9	
3.1. Diseño detallado de módulos de IA y cuánticos.	Especificaciones de Diseño de Algoritmos (SDA)	5	
3.2. Diseño de bases de datos e interfaces de usuario.	Documentos de Diseño Detallado de Módulos (DDDM)	4	

Fase 4: Desarrollo e Implementación de la Plataforma	<i>Codificación y construcción de los módulos diseñados, integración de algoritmos de IA y cuánticos, y desarrollo de funcionalidades.</i>	18	
4.1. Codificación y desarrollo de módulos de IA y cuánticos.	Código Fuente Funcional (Módulos de IA y Cuánticos)	10	
4.2. Integración de componentes y desarrollo de funcionalidades principales.	Prototipo Funcional de la Plataforma v1.0	8	
Fase 5: Verificación y Pruebas Unitarias y de Integración	<i>Ejecución de pruebas rigurosas a nivel de componente y subsistema para asegurar el correcto funcionamiento y la interacción fluida entre ellos.</i>	7	
5.1. Ejecución de pruebas unitarias por módulo.	Informes de Pruebas Unitarias	3	
5.2. Realización de pruebas de integración del prototipo.	Informes de Pruebas de Integración y Lista de Fallos	4	
Fase 6: Validación y Pruebas del Sistema	<i>Realización de pruebas completas del sistema para verificar el cumplimiento de requisitos y la operación estable y eficiente en un entorno de laboratorio.</i>	8	
6.1. Ejecución de pruebas de sistema completas en laboratorio.	Informe de Pruebas de Sistema y Rendimiento en Laboratorio	5	
6.2. Verificación de cumplimiento de requisitos y estabilidad.	Plataforma Validada en Entorno Controlado	3	
Fase 7: Implementación y Pruebas Piloto en Entornos Rurales	<i>Despliegue de la plataforma en entornos rurales piloto para evaluar su funcionalidad, robustez y adaptabilidad en condiciones operativas reales.</i>	24	
7.1. Selección y adecuación de entornos rurales piloto (2 municipios).	Informe de Selección y Preparación de Pilotos	4	
7.2. Despliegue de la plataforma en entornos piloto.	Plataforma Desplegada en Pilotos	4	
7.3. Recopilación de datos de rendimiento y feedback de usuarios (6 meses).	Base de Datos de Datos de Rendimiento y Retroalimentación de Usuarios	16	
Fase 8: Evaluación de Rendimiento y Optimización Continua	<i>Análisis de resultados de pruebas piloto, medición de mejoras en eficiencia operativa e implementación de adaptaciones y mejoras.</i>	18	

8.1. Análisis de datos de rendimiento de pilotos y métricas de eficiencia.	Informe de Evaluación de Impacto y Eficiencia	8	
8.2. Implementación de adaptaciones y mejoras basadas en feedback y análisis.	Versión Optimizada de la Plataforma v2.0	6	
8.3. Elaboración de informe final de validación y lecciones aprendidas.	Informe Final de Validación y Lecciones Aprendidas	4	

Matriz de Riesgos

7.2. Matriz de Riesgos

#	Riesgo Potencial	Probabilidad	Impacto	Estrategia de Mitigación
1	Complejidad Técnica de la Integración Híbrida Cuántica-IA Relacionado con: Fases 2, 3, 4 (Diseño Arquitectónico, Diseño Detallado, Desarrollo)	Alta	Alto	Realizar pruebas de concepto tempranas (PoC) en Fases 2 y 3 para validar la integración de componentes clave. Establecer un equipo multidisciplinario con expertos en IA, computación cuántica e ingeniería de software. Utilizar metodologías ágiles con sprints cortos para iterar y validar integraciones continuamente.
2	Comprensión Insuficiente o Inexacta de las Necesidades Rurales Específicas Relacionado con: Fase 1 (Análisis y Definición de Requisitos), Fase 7 (Pruebas Piloto)	Media	Alto	Involucrar a representantes de las comunidades rurales y expertos locales desde la Fase 1 a través de talleres y encuestas. Validar los requisitos con usuarios finales potenciales antes del diseño. Realizar visitas de campo previas al despliegue piloto para entender el contexto real.
3	Retrasos Significativos en el Desarrollo e Implementación de la Plataforma Relacionado con: Fase 4 (Desarrollo e Implementación), impactando fases subsiguientes	Media	Alto	Desglosar las tareas de la Fase 4 en submódulos manejables con hitos claros y entregables intermedios. Establecer un plan de contingencia con recursos adicionales o priorización de funcionalidades críticas. Implementar revisiones de código y pruebas continuas para identificar y resolver problemas tempranamente.

4	Dificultades Inesperadas en el Despliegue Piloto y Recopilación de Datos en Entornos Rurales Relacionado con: Fase 7 (Implementación y Pruebas Piloto)	Alta	Alto	Realizar un estudio de viabilidad detallado de los entornos piloto seleccionados en la Fase 7.1, incluyendo infraestructura y conectividad. Desarrollar un plan de capacitación exhaustivo para los usuarios locales. Establecer protocolos claros para la recopilación de datos y un equipo de soporte técnico dedicado para los pilotos.
5	Problemas de Rendimiento y Escalabilidad de la Solución Cuántica-IA en Entornos Reales Relacionado con: Fases 6, 7, 8 (Validación, Piloto, Optimización)	Media	Alto	Establecer métricas de rendimiento y escalabilidad claras desde la Fase 1. Realizar pruebas de estrés y rendimiento en laboratorio (Fase 6) antes del despliegue piloto. Diseñar la arquitectura con flexibilidad para permitir la optimización y el escalado incremental de los algoritmos y componentes.
6	Disponibilidad Limitada o Rotación de Talento Especializado en IA Cuántica Relacionado con: Todas las fases, especialmente desarrollo e investigación	Media	Alto	Contratar a expertos clave con antelación y establecer acuerdos de retención. Desarrollar un plan de formación interna para el equipo existente en áreas críticas (IA Cuántica). Establecer alianzas con universidades o centros de investigación para acceso a talento y consultoría.

8. Resultados e Impactos Esperados

8.1. Resultados Esperados (Entregables)

- **Documento de Arquitectura de la Plataforma de IA Cuántica Híbrida:** Detalla el diseño completo de la arquitectura de software y hardware, incluyendo la integración de módulos de IA y computación cuántica, correspondiente al Objetivo Específico 1.
- **Prototipo Funcional de la Plataforma de IA Cuántica Híbrida:** Versión operativa de la plataforma que integra los algoritmos de IA y los principios de computación cuántica para la optimización de recursos, verificada mediante pruebas, correspondiente al Objetivo Específico 1.
- **Código Fuente Funcional de los Módulos de IA y Cuánticos:** Repositorio de código fuente documentado y probado de los componentes clave de la plataforma, correspondiente al Objetivo Específico 1.
- **Informes de Rendimiento y Eficiencia de los Pilotos:** Documentación detallada de la implementación de la plataforma en escenarios piloto, incluyendo métricas de reducción de pérdidas de agua no facturada y mejora de la eficiencia energética, correspondiente al Objetivo Específico 2.
- **Informe Final de Validación y Adaptabilidad de la Plataforma:** Documento que recopila los resultados de las pruebas en dos entornos rurales diversos, evalúa la robustez, funcionalidad y escalabilidad de la plataforma, e incluye lecciones aprendidas y recomendaciones para su implementación a gran escala, correspondiente al Objetivo Específico 3.

8.2. Impactos Esperados

- **Impacto Técnico/Científico:**

Este proyecto avanzará el estado del arte en la aplicación de la computación cuántica híbrida y la inteligencia artificial para la resolución de problemas complejos del mundo real, particularmente en la optimización de servicios públicos. Se desarrollarán metodologías innovadoras para la gestión de recursos hídricos y energéticos en entornos rurales desafiantes, generando nuevo conocimiento en la intersección de estas tecnologías emergentes y la gestión de infraestructuras críticas. Esto posicionará a Colombia como un referente en la aplicación práctica de tecnologías avanzadas para el bienestar social y el desarrollo sostenible.

- **Impacto Económico:**

Se espera una reducción significativa en los costos operativos para los proveedores de servicios públicos gracias a una gestión de recursos optimizada y la disminución de pérdidas (proyectando una reducción mínima del 15% en agua no facturada y un aumento del 10% en la eficiencia energética). Esto mejorará la competitividad y la eficiencia en la prestación de servicios esenciales en zonas rurales. Además, la mayor disponibilidad y fiabilidad de los recursos hídricos y energéticos fomentará nuevas oportunidades económicas y el desarrollo local, contribuyendo a la resiliencia económica de estas comunidades.

- **Impacto Social/Ambiental:**

Social: El proyecto mejorará el acceso equitativo y la calidad de los servicios públicos esenciales (agua y energía) para las comunidades rurales, elevando sus condiciones de vida y bienestar. Se incrementará la confianza en la provisión de servicios y se empoderará a las comunidades locales a través de una mejor gestión de sus recursos. Además, se generará potencial para el desarrollo de nuevas habilidades técnicas en los profesionales y técnicos locales relacionados con la IA y la computación cuántica.

Ambiental: Contribuirá de manera significativa a la gestión sostenible de los recursos naturales al reducir las pérdidas de agua y mejorar la eficiencia energética, lo que resultará en la conservación de recursos vitales y una menor huella ambiental. Esto promoverá prácticas de desarrollo más sostenibles en los territorios rurales, mitigando el impacto del cambio climático y asegurando la disponibilidad de recursos para futuras generaciones.

9. Referencias Bibliográficas

- Facuy Toledo, D. P. (2024). *Aplicación de sensores IoT e inteligencia artificial para la optimización del riego en cultivos agroecológicos*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana].
- Lapuente Valea, G. (2015). *Algoritmos multi-objetivos para la optimización de una secuencia de matrices generadoras en computación cuántica topológica*. [Tesis de máster, Universidad Complutense de Madrid].
- Mercado, V. M., Villagra, A., Pandolfi, D., & Leguizamón, G. N. (2013). Algoritmos evolutivos multirecombinativos híbridos aplicados al problema de vehículos con capacidad limitada. *Revista de la*

Facultad de Ingeniería, 28(51), 77-88.

- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). (2024). *Sector agropecuario podrá adoptar la IA para un campo* <https://www.mintic.gov.co/portal/715/w3-article-399081.html>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2025). *CONPES 4144: La hoja de ruta de Colombia en Inteligencia* <https://www.dnp.gov.co/publicaciones/Planeacion/Paginas/conpes-4144-hoja-de-ruta-colombia-inteligencia-artificial-retos-actuales-transformacion-futura.aspx>
- Saxena, D., & Singh, A. K. (2022). An intelligent security centered resource-efficient resource management model for cloud computing environments. *arXiv preprint arXiv:2210.16544*.
- Telos Fundación Telefónica. (s.f.). *Aplicaciones de la computación cuántica*. Recuperado de <https://telos.fundaciontelefonica.com/telos-119-cuaderno-central-mundo-cuantico-patricia-garcia-garrido-aplicaciones-de-la-computacion-cuantica/>