

Esquema Inicial del Proyecto

Plataforma de Agricultura de Precisión Inteligente y Segura

COTECMAR - December 2025

Como Gerente Senior de Proyectos de I+D y Redactor Técnico, a continuación, presento la Estructura Conceptual Inicial (Blueprint) para la propuesta de proyecto, asegurando la coherencia lógica con la Convocatoria "Colombia Inteligente" y la idea de proyecto seleccionada.

Blueprint de Propuesta de Proyecto: Plataforma de Agricultura de Precisión Inteligente y Segura

1. Alineación General del Proyecto con la Convocatoria

Este proyecto se alinea de manera excepcional con la Convocatoria "Colombia Inteligente" de Minciencias (Número 966) al abordar directamente dos de sus ejes temáticos prioritarios y objetivos estratégicos.

- **Eje Temático de Inteligencia Artificial – Sistemas Agroalimentarios Inteligentes:** La propuesta encaja perfectamente en esta línea al enfocarse en el "desarrollo y aplicaciones de IA en agricultura de precisión, agroindustria, gestión de recursos hídricos y trazabilidad de productos para la soberanía alimentaria". La plataforma propuesta utilizará aprendizaje automático con datos IoT y satelitales para optimizar el uso de recursos y predecir enfermedades, contribuyendo directamente a estos objetivos.
- **Eje Temático de Ciencia y Tecnologías Cuánticas – Procesamiento Cuántico de la Información y Comunicaciones Seguras:** La integración de protocolos criptográficos post-cuánticos para la seguridad de los datos agrícolas es una respuesta directa a la necesidad de "comunicaciones seguras" y el "desarrollo de algoritmos y métodos que utilicen principios cuánticos para el procesamiento de información y comunicación", asegurando la privacidad e integridad de la información frente a amenazas futuras.
- **Impacto Territorial y Cierre de Brechas:** El proyecto está diseñado con un fuerte "enfoque territorial", buscando impactar el desarrollo ambiental, social y económico de las regiones, y específicamente "cerrar brechas tecnológicas en los territorios colombianos" al empoderar a los agricultores con tecnología avanzada.
- **Política de Investigación e Innovación Orientada por Misiones y CONPES 4144:** La iniciativa de agricultura inteligente y segura se enmarca en la política de misiones al buscar soluciones a desafíos nacionales clave, y la aplicación de IA se alinearán con los principios éticos y sostenibles del CONPES 4144.
- **Tipo de Alianza y Domicilio Regional:** La propuesta se presentará a través de una alianza estratégica entre una IES (ejecutor principal), una Empresa Nacional y una Organización Local-Regional, todas con domicilio en la misma región, cumpliendo con los requisitos de la convocatoria.
- **Nivel de Madurez Tecnológica (TRL) y Formación de Talento:** El proyecto inicia en un TRL intermedio (ej. TRL 3-4) y avanzará hacia TRLs más altos (ej. TRL 6-7), incorporando componentes de I+D+i, formación de talento humano (maestría, jóvenes investigadores, semilleros) y protección de la propiedad intelectual, elementos clave del alcance de la convocatoria.

2. Estrategia del Resumen Ejecutivo

El Resumen Ejecutivo debe ser conciso y captar la atención del evaluador, siguiendo la estructura Problema -> Solución -> Impacto.

- **Problema:** Iniciar destacando los desafíos críticos de la agricultura regional en Colombia: ineficiencia en el uso de recursos (agua, fertilizantes), pérdidas por enfermedades de cultivos no detectadas a tiempo, y la creciente vulnerabilidad de los datos agrícolas ante ciberamenazas (incluyendo las cuánticas), lo que limita la competitividad y la sostenibilidad del sector.
- **Solución:** Presentar la "Plataforma de Agricultura de Precisión Inteligente y Segura" como una solución innovadora y dual. Explicar brevemente cómo la Inteligencia Artificial (aprendizaje automático con datos IoT y satelitales) optimizará la gestión agrícola y cómo la criptografía post-cuántica garantizará la seguridad de la información crítica.
- **Impacto:** Concluir con los beneficios tangibles y medibles: incremento de la productividad y rentabilidad agrícola, reducción del impacto ambiental (menor uso de insumos), fortalecimiento de la ciberseguridad nacional, formación de talento especializado en IA y cuántica, y un avance significativo en el cierre de brechas tecnológicas y el desarrollo socioeconómico de la región.

3. Estrategia de la Declaración del Problema

La declaración del problema debe ser una narrativa convincente que justifique la necesidad del proyecto, enfatizando el "gap" o la brecha en las soluciones actuales.

- **Contexto del Sector Agrícola Regional:** Iniciar describiendo el contexto actual de la agricultura en la región objetivo, sus particularidades, retos climáticos, topográficos y socioeconómicos. Mencionar la relevancia de este sector para la economía local y la seguridad alimentaria.
- **Ineficiencias Actuales y sus Consecuencias:** Detallar cómo las prácticas agrícolas tradicionales o la tecnología limitada conducen a un uso subóptimo de recursos (sobre-riego, exceso de fertilizantes), dificultando la detección temprana de plagas y enfermedades, y resultando en mermas en la producción y pérdidas económicas para los agricultores.
- **Riesgos de Ciberseguridad en la Agricultura Digital:** Introducir la creciente digitalización del sector agrícola (Agro 4.0) y la consecuente generación de grandes volúmenes de datos sensibles. Argumentar cómo las soluciones de seguridad actuales pueden ser insuficientes frente a los avances en computación cuántica, poniendo en riesgo la propiedad intelectual, la privacidad y la soberanía de los datos agrícolas.
- **Brecha en las Soluciones Existentes (El "Gap"):** Articular claramente que, si bien existen soluciones de agricultura de precisión o de seguridad de datos de forma aislada, no hay una plataforma *integrada, inteligente y, crucialmente, segura con capacidades post-cuánticas* que haya sido diseñada y validada para las condiciones y necesidades específicas de los territorios rurales colombianos, que sea accesible y que genere un impacto real y sostenible.

-
- **Relevancia de la Convocatoria:** Conectar la solución propuesta a las demandas de la convocatoria de cerrar brechas tecnológicas, fomentar la innovación y contribuir al desarrollo sostenible a través de IA y tecnologías cuánticas.

4. Definición de Objetivos (Refinamiento SMART)

Objetivo General:

- **Refinamiento del Objetivo de la Idea:**

"Desarrollar, implementar y validar una Plataforma de Agricultura de Precisión Inteligente y Segura, integrando tecnologías de Inteligencia Artificial y protocolos criptográficos post-cuánticos, para optimizar la gestión de recursos agrícolas y la detección temprana de enfermedades en territorios rurales colombianos, contribuyendo al desarrollo ambiental, social y económico regional en un plazo de dieciocho (18) meses."

Objetivos Específicos:

Los objetivos iniciales de la idea se han refinado para cumplir estrictamente con los criterios SMART (Específicos, Medibles, Alcanzables, Relevantes, con Plazo Definido) y alinearse con la duración máxima de la convocatoria (18 meses).

1. Diseño y Desarrollo de Prototipo Funcional de Plataforma IA:

- **SMART:** "Diseñar, desarrollar y desplegar un prototipo funcional de la Plataforma de Agricultura de Precisión Inteligente que integre al menos tres (3) fuentes de datos geoespaciales (satélite), ambientales (IoT) y climáticos en un entorno de pruebas, demostrando su capacidad de recolección y procesamiento de datos, en un plazo de doce (12) meses."
- **Métricas:** Prototipo funcional entregado, al menos 3 fuentes de datos integradas y operativas, informe de pruebas de recolección y procesamiento de datos.
- **Plazo:** 12 meses.

2. Investigación y Validación de Algoritmo de Aprendizaje Automático:

- **SMART:** "Investigar, desarrollar y validar un modelo de Aprendizaje Automático para la detección temprana de, al menos, dos (2) enfermedades comunes en cultivos seleccionados en la región, alcanzando una precisión mínima del 85% en condiciones de prueba controladas, en un plazo de dieciocho (18) meses."
- **Métricas:** Modelo de ML desarrollado, informe de resultados con métricas de precisión (>85%) y recall para 2 enfermedades, informe de validación en entorno de prueba.
- **Plazo:** 18 meses.

3. Implementación y Validación de Criptografía Post-Cuántica:

- **SMART:** "Investigar e implementar protocolos de criptografía post-cuántica para asegurar la comunicación y el almacenamiento de los datos sensibles dentro de la plataforma, demostrando su resiliencia y conformidad con estándares de seguridad a través de pruebas simuladas de ciberataques, en un plazo de quince (15) meses."
- **Métricas:** Protocolos post-cuánticos implementados y documentados, informe de pruebas de seguridad y resiliencia contra ataques simulados, evaluación de conformidad con estándares de ciberseguridad.
- **Plazo:** 15 meses.

4. Pruebas Piloto Iniciales y Proyección de Impacto en Fincas Agrícolas:

- **SMART:** "Realizar pruebas piloto de la plataforma integrada en al menos dos (2) fincas agrícolas en la región, recopilando datos de uso y rendimiento que *proyecten* una reducción potencial del 15% en el uso de agua o fertilizantes, y validando la viabilidad técnica y operativa de la plataforma en un plazo de dieciocho (18) meses."
- **Métricas:** Informe de pruebas piloto en 2 fincas, datos de uso de recursos pre y post-implementación (proyectando el 15% de reducción), encuestas de satisfacción y usabilidad de agricultores, informe de viabilidad técnica.
- **Plazo:** 18 meses.

5. Programa de Formación y Capacitación para la Apropiación Social:

- **SMART:** "Diseñar e implementar un programa de formación y capacitación en el uso básico de la plataforma para al menos cincuenta (50) agricultores y técnicos locales, promoviendo la apropiación social del conocimiento y la transferencia tecnológica en la región, en un plazo de dieciocho (18) meses."
- **Métricas:** Programa de capacitación diseñado, número de participantes capacitados (>50), material didáctico generado, encuestas de conocimiento adquirido y satisfacción.
- **Plazo:** 18 meses.

5. Marco Metodológico

Dada la naturaleza de I+D+i, el desarrollo de software/hardware, el análisis de datos y la necesidad de experimentación, se propone un enfoque metodológico híbrido:

- **Para el Componente de Inteligencia Artificial (ML):** Se adoptará el modelo **CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining)**, adaptado a la investigación aplicada. Esto incluirá fases de:

1. Comprensión del Negocio: Definición de objetivos de IA y necesidades agrícolas.

2. **Comprensión de los Datos:** Recolección, exploración y validación de datos (IoT, satelitales, climáticos, históricos de enfermedades).

3. **Preparación de los Datos:** Limpieza, integración, transformación y selección de características.

4. **Modelado:** Selección de algoritmos de ML, entrenamiento y ajuste de modelos para la predicción de enfermedades y optimización de recursos.

5. **Evaluación:** Validación de modelos, análisis de rendimiento y ajuste fino.

6. **Despliegue:** Integración de modelos en el prototipo de plataforma.

- **Para el Componente de Desarrollo de la Plataforma y Criptografía Post-Cuántica:** Se seguirá una metodología **Ágil (Scrum)**, permitiendo un desarrollo iterativo e incremental, con ciclos cortos (sprints) para la entrega de funcionalidades, adaptación a requisitos cambiantes y retroalimentación constante. Esto será crucial para la integración de tecnologías emergentes como la criptografía post-cuántica.

- Se implementará un enfoque de **Diseño Experimental** para la validación de los protocolos criptográficos post-cuánticos, evaluando su resiliencia y rendimiento bajo condiciones controladas.

- **Para la Integración y Pruebas Piloto:** Se utilizará un enfoque de **Ingeniería de Sistemas**, que garantice la interoperabilidad entre los módulos de IA, la interfaz de usuario, los sistemas de seguridad y las fuentes de datos. Las pruebas piloto se realizarán bajo un **Diseño Cuasi-Experimental** en campo, con un grupo de fincas de tratamiento y control (si es posible), para evaluar el impacto real y la viabilidad operativa.

- **Marco General de I+D+i:** Todas las fases se enmarcarán en un ciclo continuo de Investigación, Desarrollo, Experimentación y Validación, asegurando la generación de conocimiento, el desarrollo de prototipos y la transferencia tecnológica, acorde con el TRL esperado.

6. Estrategia del Plan de Ejecución

Fases de Actividades de Alto Nivel:

1. Fase I: Planificación y Diseño Conceptual (Mes 1-2)

- Conformación y consolidación de la alianza.
- Definición detallada de requisitos funcionales y no funcionales.
- Diseño de arquitectura de la plataforma (IA y seguridad).
- Definición de plan de recolección y gestión de datos.
- Elaboración de plan de propiedad intelectual y gestión de riesgos.

2. Fase II: Investigación y Desarrollo del Módulo de IA (Mes 3-12)

- Adquisición, curación y preprocesamiento de datos agrícolas.
- Investigación y selección de algoritmos de Aprendizaje Automático.
- Desarrollo y entrenamiento de modelos para detección de enfermedades y optimización de recursos.
- Pruebas internas y refinamiento de los modelos de IA.

3. Fase III: Investigación e Implementación de Seguridad Cuántica (Mes 3-15)

- Investigación de protocolos criptográficos post-cuánticos adecuados.
- Diseño e implementación de los módulos de seguridad en la plataforma.
- Pruebas de resiliencia y rendimiento de los protocolos implementados.

4. Fase IV: Integración de la Plataforma y Desarrollo del Prototipo (Mes 10-15)

- Integración de los módulos de IA, seguridad y la interfaz de usuario.
- Desarrollo del prototipo funcional de la plataforma.
- Pruebas de sistema completas (funcionalidad, usabilidad, seguridad).

5. Fase V: Pruebas Piloto y Capacitación Inicial (Mes 14-18)

- Implementación y operación de las pruebas piloto en fincas seleccionadas.
- Recolección y análisis de datos de las pruebas piloto.
- Diseño y ejecución del programa de capacitación para agricultores y técnicos.

6. Fase VI: Evaluación, Documentación y Cierre (Mes 17-18)

- Evaluación de resultados frente a los objetivos específicos.
- Documentación técnica y científica (artículos, informes).
- Gestión de la propiedad intelectual.
- Eventos de divulgación y transferencia tecnológica.
- Informe final y cierre administrativo del proyecto.

3 Riesgos Críticos (Técnicos y Operacionales) Específicos de la Idea:

1. Riesgo Técnico: Disponibilidad y Calidad de Datos Agrícolas Regionales

- **Descripción:** Dificultad para obtener datos de sensores IoT, imágenes satelitales y datos climáticos con la granularidad, consistencia y calidad necesarias en las regiones rurales específicas, o falta de datos históricos etiquetados de enfermedades de cultivos para el entrenamiento efectivo de los modelos de IA.

- **Mitigación:** Establecer acuerdos de colaboración sólidos con entidades locales (organizaciones de agricultores, observatorios climáticos) para la recolección de datos; invertir en la instalación de sensores propios; desarrollar estrategias de aumento de datos (data augmentation) o técnicas de aprendizaje por transferencia; implementar protocolos robustos de validación y limpieza de datos.

2. Riesgo Técnico: Complejidad y Eficacia de la Criptografía Post-Cuántica

- **Descripción:** Retos inesperados en la investigación, adaptación e implementación eficiente de protocolos criptográficos post-cuánticos en un entorno de agricultura de precisión, incluyendo el rendimiento (latencia, consumo de recursos) y la interoperabilidad con los sistemas de IA existentes, o que los protocolos seleccionados no ofrezcan la seguridad esperada contra futuros ataques cuánticos.

- **Mitigación:** Realizar una revisión exhaustiva de la literatura y pruebas de concepto de los algoritmos post-cuánticos más prometedores y estandarizados; colaborar con expertos en criptografía y seguridad cuántica; diseñar la arquitectura de seguridad con módulos que permitan la flexibilidad y futuras actualizaciones de protocolos; realizar pruebas de penetración y evaluación de vulnerabilidades exhaustivas.

3. Riesgo Operacional: Baja Adopción Tecnológica por parte de los Usuarios Finales

- **Descripción:** Resistencia cultural, falta de capacitación adecuada o dificultades de los agricultores y técnicos locales para comprender y utilizar eficazmente la plataforma, lo que limitaría la apropiación social de la tecnología y el impacto esperado en el campo.

- **Mitigación:** Co-diseñar la interfaz de usuario de la plataforma con la participación de los agricultores locales para asegurar su usabilidad; implementar un programa de capacitación interactivo y práctico, adaptado al nivel de conocimientos de los usuarios; proporcionar soporte técnico continuo y material didáctico claro; demostrar los beneficios tangibles y el retorno de la inversión de la plataforma en las fincas piloto.

7. Impactos Esperados

El proyecto "Plataforma de Agricultura de Precisión Inteligente y Segura" generará impactos multifacéticos y medibles en línea con los objetivos de la convocatoria.

Impacto Técnico:

- **Innovación Tecnológica:** Desarrollo de una plataforma integrada de IA para agricultura de precisión con capacidades avanzadas de detección de enfermedades y optimización de recursos, complementada con seguridad criptográfica post-cuántica.

-
- **Generación de Conocimiento:** Publicación de artículos científicos en revistas de alto impacto sobre algoritmos de IA aplicados a la agricultura y metodologías de seguridad post-cuántica. Creación de nuevos modelos de IA adaptados a cultivos y condiciones colombianas.
 - **Fortalecimiento I+D+i:** Incremento del TRL de las tecnologías desarrolladas (ej., de TRL 3 a TRL 6-7). Potenciales solicitudes de patente sobre componentes específicos de hardware/software o metodologías desarrolladas. Registro de software.
 - **Capacidades Técnicas:** Establecimiento de capacidades locales en el desarrollo, implementación y gestión de sistemas de IA y seguridad post-cuántica, fundamentales para la soberanía tecnológica del país.
 - **Infraestructura:** Adecuaciones menores en laboratorios y adquisición de equipos especializados para el desarrollo y validación de la plataforma.

Impacto Económico:

- **Productividad Agrícola:** Aumento de la productividad de los cultivos mediante la optimización del uso de insumos (agua, fertilizantes) y la reducción de pérdidas por enfermedades, mejorando la rentabilidad de las fincas.
- **Reducción de Costos:** Disminución significativa de los costos operativos para los agricultores al racionalizar el uso de agua, fertilizantes y pesticidas, impactando positivamente en sus ingresos.
- **Competitividad Regional:** Fortalecimiento de la competitividad del sector agrícola en la región mediante la adopción de tecnologías de vanguardia, facilitando el acceso a mercados más exigentes.
- **Nuevas Oportunidades de Negocio:** Creación de un ecosistema en torno a la agrotecnología, generando nuevas empresas (spin-offs), empleos cualificados y servicios asociados a la plataforma.
- **Seguridad Alimentaria:** Contribución indirecta a la soberanía y seguridad alimentaria del país al mejorar la eficiencia y resiliencia de la producción agrícola regional.

Impacto Social:

- **Cierre de Brechas Tecnológicas:** Empoderamiento de los agricultores y comunidades rurales a través del acceso y uso de tecnologías avanzadas, reduciendo la brecha digital y tecnológica con zonas urbanas.
- **Formación de Talento Humano:** Capacitación de al menos 50 agricultores y técnicos locales en el uso de la plataforma, así como la formación de jóvenes investigadores, estudiantes de maestría y postdoctorales en IA y tecnologías cuánticas, fortaleciendo el capital humano regional.
- **Mejora de la Calidad de Vida:** Contribución a la mejora de la calidad de vida de los agricultores al optimizar sus procesos, reducir riesgos y aumentar su eficiencia.
- **Sostenibilidad Ambiental:** Contribución significativa a la sostenibilidad ambiental mediante la reducción de la huella hídrica y química de la agricultura, fomentando prácticas más ecológicas.

- **Apropiación Social de la Ciencia:** Promoción de la cultura científica y tecnológica en las comunidades rurales a través de eventos de divulgación y participación activa en el proyecto.

- **Inclusión:** Promoción de la inclusión social y generacional al facilitar el acceso a oportunidades de formación y desarrollo tecnológico en los territorios.
