
1. Reporte de Mejoras y Recomendaciones

Reporte de Mejoras: Proyecto "Detección de deforestación mediante inteligencia artificial"

Introducción Ejecutiva

Este reporte tiene como objetivo proporcionar recomendaciones estratégicas y accionables para el proyecto de "Detección de deforestación mediante inteligencia artificial". Basándonos en una revisión de la literatura académica reciente, hemos identificado áreas clave de mejora que permitirán optimizar la precisión, eficiencia y robustez del sistema de detección de deforestación con drones y visión artificial. Las siguientes recomendaciones buscan guiar al equipo de desarrollo hacia la implementación de soluciones innovadoras que generen un valor tangible y sostenible.

1. Optimización de la Detección Mediante Fusión de Sensores y Modelos Avanzados de Deep Learning

- **Descripción:** Se propone ir más allá de la visión artificial óptica básica, integrando múltiples modalidades de sensores (como imágenes multiespectrales, SAR o datos LiDAR) para superar las limitaciones de la nubosidad y mejorar la discriminación de la cubierta forestal. Esto se complementará con la implementación de arquitecturas de Deep Learning de última generación, como redes U-Net, recurrentes/residuales o modelos de segmentación semántica (ej. Deeplab v3+), para una identificación más precisa y detallada de los patrones de deforestación y cambios en la cubierta arbórea.

- **Justificación y Conexión con la Investigación:**

La detección de deforestación se beneficia enormemente de la riqueza de datos multimodales y de modelos de aprendizaje profundo especializados. La investigación demuestra que la combinación de datos satelitales (como Planet NICFI) con modelos U-Net permite un mapeo preciso de la cubierta arbórea y la deforestación (Fuente: Arxiv, Título: Mapping Tropical Forest Cover and Deforestation with Planet NICFI Satellite Images and Deep Learning in Mato Grosso State (Brazil) from 2015 to 2021). Además, el uso de "Deep Multimodal Learning on Satellite Imagery" es crucial para la estimación de deforestación y la detección de incendios, abordando el desafío de la vasta extensión y limitada accesibilidad de áreas como la Amazonía (Fuente: Arxiv, Título: Rapid Deforestation and Burned Area Detection using Deep Multimodal Learning on Satellite Imagery). Para superar problemas como la persistente nubosidad que afecta los datos ópticos, se ha

propuesto la combinación de "recurrent and residual learning for deforestation monitoring using multitemporal SAR images" (Fuente: Arxiv, Título: Combining recurrent and residual learning for deforestation monitoring using multitemporal SAR images). La segmentación semántica de árboles a partir de series temporales de imágenes aéreas es esencial para comprender la salud y biodiversidad de los bosques (Fuente: Arxiv, Título: Tree semantic segmentation from aerial image time series), y para la detección de cambios de cobertura terrestre (Fuente: Arxiv, Título: Land Cover Change Detection via Semantic Segmentation). La inclusión de datos LiDAR con deep learning también ha demostrado ser efectiva para la detección de especies arbóreas (Fuente: Arxiv, Título: Lidar-based Norwegian tree species detection using deep learning), y la selección de bandas satelitales optimiza la representación de la deforestación (Fuente: Arxiv, Título: A Satellite Band Selection Framework for Amazon Forest Deforestation Detection Task).

● Pasos de Acción Sugeridos:

1. Investigar y prototipar la integración de sensores multispectrales o de radar de apertura sintética (SAR) en los drones, o la fusión de datos de drones con datos satelitales existentes para enriquecer la información de entrada.
2. Evaluar e implementar arquitecturas de Deep Learning como U-Net, redes recurrentes/residuales o modelos de segmentación semántica avanzados (ej. variantes de Deeplab v3+) adaptados a las nuevas modalidades de datos y la detección de cambios multitemporal.
3. Desarrollar una estrategia de adquisición y preprocesamiento de datos que incluya series temporales de imágenes para un monitoreo de cambios más dinámico y efectivo.

2. Mejora de la Autonomía Operacional y Eficiencia de los Drones

● **Descripción:** Esta recomendación se enfoca en potenciar la capacidad operativa de los drones mediante la mejora de su autonomía, la precisión de su navegación y la eficiencia en la cobertura de grandes extensiones. Esto implica explorar tecnologías como los drones atados (tethered drones) para operaciones prolongadas y la implementación de sistemas de navegación autónoma avanzados, posiblemente basados en Deep Learning, para reducir la dependencia de GPS y optimizar las rutas de vuelo.

● Justificación y Conexión con la Investigación:

La autonomía y eficiencia son críticas para el monitoreo de vastas áreas. La investigación destaca cómo los "Autonomous Tethered Drones" representan un avance significativo al ofrecer soluciones a las limitaciones de duración de batería y latencia de datos que enfrentan los drones tradicionales, proporcionando un suministro continuo de energía (Fuente: Arxiv, Título: Redefining Aerial Innovation: Autonomous Tethered Drones as a Solution to Battery Life and Data Latency Challenges). Para una navegación precisa y adaptable, se ha propuesto un enfoque novedoso basado en "Deep Convolutional Neural Network-Based Autonomous Drone Navigation" que utiliza solo entrada visual de una cámara a bordo, sin depender de GPS, para generar comandos de dirección (Fuente: Arxiv, Título: Deep Convolutional Neural Network-Based Autonomous Drone Navigation). Además, el concepto de frameworks de aprendizaje por refuerzo multi-agente (MARL) aplicado a drones autónomos puede optimizar la ubicación de medición y el mapeo, lo que es transferible para mejorar

la cobertura y eficiencia en la detección de deforestación (Fuente: Arxiv, Título: Navigating the Smog: A Cooperative Multi-Agent RL for Accurate Air Pollution Mapping through Data Assimilation).

● **Pasos de Acción Sugeridos:**

1. Realizar un estudio de viabilidad e implementar pruebas piloto con tecnología de drones atados (tethered drones) para misiones de monitoreo que requieran tiempos de vuelo extendidos en puntos estratégicos.
2. Investigar e integrar algoritmos de navegación autónoma basados en visión y Deep Learning para mejorar la precisión del posicionamiento y la adaptabilidad de las rutas de vuelo, especialmente en entornos donde la señal GPS es débil o inexistente.
3. Explorar el uso de frameworks de aprendizaje por refuerzo multi-agente para la planificación óptima de misiones y la coordinación de flotas de drones, maximizando la cobertura y minimizando el tiempo de detección en grandes áreas.

3. Integración Geospacial AI y Detección de Cambios Contextualizada

● **Descripción:** Se recomienda transformar el sistema de detección de patrones en un enfoque más holístico que utilice Inteligencia Artificial Geoespacial (GeoAI). Esto implica no solo identificar la deforestación, sino también clasificar la cobertura terrestre, realizar detección de cambios robusta y contextualizar los hallazgos dentro de un marco geoespacial más amplio para evaluar riesgos, priorizar áreas de intervención y generar insights más profundos.

● **Justificación y Conexión con la Investigación:**

La integración de la IA con datos geoespaciales es fundamental para una comprensión completa de los cambios ambientales. La "Land Cover Change Detection via Semantic Segmentation" permite identificar cambios en la cobertura terrestre de forma precisa utilizando imágenes aéreas y técnicas de machine learning como Deeplab v3+ (Fuente: Arxiv, Título: Land Cover Change Detection via Semantic Segmentation). El monitoreo efectivo de diferentes especies arbóreas, esencial para la salud forestal, puede lograrse mediante la segmentación semántica de árboles a partir de series temporales de imágenes aéreas (Fuente: Arxiv, Título: Tree semantic segmentation from aerial image time series). Para estandarizar y facilitar estas tareas, existen iniciativas como "SRAI: Towards Standardization of Geospatial AI", una librería Python que permite trabajar con datos geoespaciales, dividir áreas en micro-regiones y entrenar modelos de embedding (Fuente: Arxiv, Título: SRAI: Towards Standardization of Geospatial AI). Además, la aplicación de "Geospatial AI" para la evaluación de riesgos (ej. identificación de áreas con minas terrestres en el papel de Desk-Aid) demuestra la capacidad de esta disciplina para predecir y priorizar zonas de interés (Fuente: Arxiv, Título: Desk-Aid: Humanitarian Aid Desk Assessment with Geospatial AI for Predicting Landmine Areas). En el contexto de los drones, la detección de objetos (como especies de ciervos o panículas de sorgo) con técnicas de Deep Learning y segmentación precisa en imágenes UAV subraya la capacidad para análisis detallados (Fuente: Arxiv, Título: Detection of Endangered Deer Species Using UAV Imagery: A Comparative Study Between Efficient Deep Learning Approaches) y la posibilidad de usar aprendizaje semi-supervisado para reducir la necesidad de grandes volúmenes de datos etiquetados (Fuente: Arxiv, Título: Semi-Supervised Object Detection for Sorghum Panicles in UAV Imagery).

● Pasos de Acción Sugeridos:

1. Desarrollar un módulo de detección de cambios de cobertura terrestre que utilice segmentación semántica avanzada sobre series temporales de imágenes capturadas por los drones, identificando no solo la deforestación sino también los tipos de uso de suelo post-deforestación.
 2. Integrar la plataforma de procesamiento de datos de drones con frameworks de Geospatial AI (como SRAI) para contextualizar los hallazgos, realizar análisis de riesgo de deforestación y generar mapas de calor de vulnerabilidad.
 3. Explorar e implementar técnicas de aprendizaje semi-supervisado para la detección y clasificación de patrones de deforestación, lo que permitirá entrenar modelos robustos con una menor dependencia de datos etiquetados manualmente, optimizando los recursos del equipo.
-

Conclusión y Próximos Pasos

La implementación de estas recomendaciones estratégicas posicionará el proyecto de "Detección de deforestación mediante inteligencia artificial" a la vanguardia tecnológica. Al adoptar la fusión de sensores y modelos avanzados de Deep Learning, mejorar la autonomía operacional de los drones y contextualizar los hallazgos con Inteligencia Artificial Geoespacial, el equipo no solo aumentará significativamente la precisión y eficiencia de la detección de deforestación, sino que también generará insights más profundos y accionables para la toma de decisiones.

Los próximos pasos incluyen la asignación de recursos para la investigación y desarrollo de las tecnologías sugeridas, la formación del equipo en las nuevas metodologías y la elaboración de un plan de implementación detallado para cada recomendación. Estamos a disposición para apoyar al equipo en la planificación y ejecución de estas mejoras.

2. Propuesta Conceptual del Proyecto Mejorado

Propuesta Conceptual: Sentinel Verde - Monitoreo Avanzado de Deforestación Mediante IA Multimodal y Geoespacial

1. Visión General del Proyecto Mejorado (Elevator Pitch)

La deforestación acelera el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, con métodos de monitoreo actuales que a menudo son lentos, costosos e ineficaces ante vastas extensiones y condiciones adversas. **Sentinel Verde** propone una solución transformadora: un sistema inteligente de monitoreo de deforestación que integra drones de autonomía extendida con una arquitectura de Inteligencia Artificial multimodal (óptica, SAR, LiDAR) y geoespacial. Este enfoque no solo detecta la deforestación con una precisión sin precedentes en cualquier condición climática, sino que también contextualiza los cambios del uso del suelo, evalúa riesgos y genera proactivamente información accionable para la intervención, protegiendo así nuestros ecosistemas críticos de forma eficiente y sostenible.

2. Objetivos Estratégicos (Formato SMART)

- 1. Optimizar la Precisión de Detección:** Reducir la tasa de falsos positivos y negativos en la identificación de deforestación en un 35% y aumentar la precisión de la segmentación semántica de la cubierta forestal en un 25% en los próximos 18 meses, mediante la fusión de sensores multimodales y arquitecturas de Deep Learning avanzadas.
- 2. Mejorar la Eficiencia Operacional y Cobertura:** Aumentar la cobertura efectiva de monitoreo de grandes extensiones en un 50% y reducir el tiempo de detección de eventos de deforestación de semanas a un máximo de 72 horas en los próximos 12 meses, implementando drones de autonomía extendida y sistemas de navegación autónoma basados en IA.
- 3. Generar Inteligencia Geoespacial Accionable:** Desarrollar un módulo de GeoAI que permita clasificar el uso de suelo post-deforestación, identificar áreas de alto riesgo y priorizar zonas de intervención con un 80% de fiabilidad en los próximos 15 meses, facilitando decisiones estratégicas para la conservación forestal.
- 4. Desarrollar una Plataforma Escalable y Ética:** Establecer una plataforma robusta y adaptable que procese datos multimodales a gran escala, asegurando la trazabilidad y la transparencia de los modelos de IA, cumpliendo con estándares éticos de desarrollo de IA en un plazo de 18 meses, lista para su implementación en diversas geografías.

3. Arquitectura Técnica del Sistema

La arquitectura de Sentinel Verde está diseñada para ser modular, escalable y robusta, integrando hardware de vanguardia con software inteligente para una solución de monitoreo integral.

Componentes de Hardware

- **Drones de Monitoreo Avanzados:**
- **Drones de ala fija y multirotor:** Equipados con módulos de energía extendida (baterías de alta densidad, posiblemente celdas de combustible de hidrógeno para versiones futuras) y, para misiones estacionarias prolongadas, **drones atados (tethered drones)** que reciben energía continua desde tierra.
- **Sensores Multimodales:**

- **Cámaras RGB y Multiespectrales:** Para adquisición de imágenes de alta resolución y análisis de la salud vegetal (índices NDVI, etc.).
- **Sensores SAR (Radar de Apertura Sintética):** Para penetrar la cubierta de nubes y obtener mediciones consistentes independientemente de las condiciones meteorológicas.
- **Sensores LiDAR (Light Detection and Ranging):** Para generar modelos de elevación digital de alta precisión y estructuras tridimensionales de la vegetación, esenciales para la identificación de la biomasa forestal y la detección de cambios sutiles.
- **Hardware de Computación en el Borde (Edge AI):** Unidades de procesamiento gráfico (GPU) compactas y eficientes integradas en los drones para realizar preprocesamiento de datos, inferencia de modelos ligeros de IA para detección inicial y navegación autónoma en tiempo real.

Plataforma de Software/Nube

- **Centro de Control de Misiones:** Una interfaz de usuario para la planificación de rutas de vuelo autónomas, gestión de la flota de drones, monitoreo en tiempo real de las operaciones y control de la adquisición de datos.
- **Plataforma de Ingesta y Almacenamiento de Datos Multimodales:** Un sistema robusto basado en la nube (ej. AWS S3, Azure Blob Storage) para la ingesta, almacenamiento y gestión de volúmenes masivos de datos ópticos, SAR, LiDAR y satelitales (ej. Planet NICFI), con capacidad de versionado y metadatos geoespaciales.
- **Pipeline de Preprocesamiento y Fusión de Datos:** Módulos automatizados para la alineación geoespacial, normalización radiométrica, corrección atmosférica y fusión de datos provenientes de diferentes sensores y plataformas (drones y satélites).
- **Base de Datos Geoespacial:** Un sistema de información geográfica (GIS) avanzado (ej. PostGIS) para almacenar, consultar y analizar datos geoespaciales procesados y resultados de IA.
- **API y Dashboard de Visualización:** Una API RESTful para la integración con sistemas externos y un dashboard interactivo basado en la web para la visualización de mapas de deforestación, alertas en tiempo real, análisis de tendencias, informes contextualizados y métricas de rendimiento del sistema.

Motor de Inteligencia Artificial

El corazón de Sentinel Verde es su motor de IA, que integra múltiples modelos y técnicas avanzadas:

- **Modelos de Fusión de Datos Multimodales:**
- **Redes U-Net / Deeplab v3+ con atención:** Arquitecturas de Deep Learning adaptadas para la segmentación semántica de imágenes, entrenadas para fusionar capas de características profundas de datos ópticos, SAR y LiDAR, superando las limitaciones de cada sensor individualmente. Permiten una clasificación precisa de la cubierta forestal y la detección de cambios a nivel de píxel, incluso bajo nubosidad persistente.

- **Redes Recurrentes y Residuales (RNN/ResNet):** Aplicadas a series temporales de imágenes SAR y ópticas para la detección robusta de cambios multitemporales, identificando patrones de deforestación a lo largo del tiempo.
- **Inteligencia Artificial para Autonomía de Drones:**
- **Redes Neuronales Convolucionales Profundas (DCNN) para Navegación:** Modelos entrenados para la navegación autónoma basada puramente en la visión a bordo, minimizando la dependencia de GPS y permitiendo operaciones en entornos desafiantes.
- **Aprendizaje por Refuerzo Multi-Agente (MARL):** Frameworks para la planificación óptima de misiones y la coordinación de flotas de drones, maximizando la cobertura del área de monitoreo y minimizando el tiempo de detección con una eficiencia energética superior.
- **Motor de Inteligencia Geoespacial (GeoAI) y Detección de Cambios Contextualizada:**
- **Modelos de Segmentación Semántica Avanzada:** Para la clasificación detallada de la cobertura terrestre (bosque primario, secundaria, agricultura, asentamientos, etc.) y la identificación de cambios específicos (ej. deforestación a agricultura, minería ilegal).
- **Frameworks de GeoAI (ej. SRAI):** Para el análisis contextual de los patrones de deforestación, la evaluación de riesgos (ej. proximidad a vías, asentamientos, áreas de minería ilegal) y la generación de mapas de calor de vulnerabilidad.
- **Aprendizaje Semi-Supervisado (Semi-Supervised Learning):** Técnicas para entrenar modelos robustos de detección y clasificación de deforestación con una menor cantidad de datos etiquetados manualmente, optimizando los recursos de desarrollo y acelerando el despliegue.

4. Innovaciones Clave y Ventaja Competitiva

Sentinel Verde se distingue por varias innovaciones clave que establecen un foso competitivo significativo:

1. **Fusión Profunda Multimodal e Inteligente de Sensores (SAR, LiDAR, Óptico):** A diferencia de los sistemas que solo usan visión artificial o combinan datos de forma superficial, Sentinel Verde integra a nivel de *características profundas* información de SAR (para penetración de nubes), LiDAR (para estructura 3D del bosque) y ópticos (para detalle visual). Esta fusión inteligente, impulsada por arquitecturas avanzadas de Deep Learning, permite una detección de deforestación con una precisión y robustez sin precedentes, operativa 24/7 y bajo cualquier condición climática, lo que es extremadamente difícil de replicar sin un profundo conocimiento en procesamiento de señales, visión por computadora y Deep Learning.
2. **Flota de Drones Autónoma y Resiliente potenciada por IA:** El sistema va más allá de los drones convencionales, incorporando drones atados para misiones de monitoreo prolongadas y algoritmos de navegación autónoma basados en visión que eliminan la dependencia de GPS. La optimización de rutas y la coordinación de flotas mediante Aprendizaje por Refuerzo Multi-Agente maximizan la cobertura y la eficiencia operativa en vastas y complejas geografías, ofreciendo una escalabilidad y resiliencia que superan a las soluciones actuales. El desarrollo de tales capacidades requiere una inversión considerable en I+D en robótica, IA y hardware especializado.

3. **Inteligencia Geoespacial Predictiva y Accionable:** Sentinel Verde no solo detecta la deforestación, sino que la *contextualiza* mediante GeoAI. Clasifica el uso del suelo, evalúa riesgos de deforestación futura y prioriza intervenciones. El uso de técnicas de aprendizaje semi-supervisado acelera la capacidad de adaptación a nuevas regiones con menos datos etiquetados. Esta capacidad predictiva y de generación de *insights accionables* transforma el monitoreo reactivo en gestión proactiva, un salto cualitativo que requiere una profunda experiencia en ciencia de datos geoespaciales, modelos predictivos y algoritmos de aprendizaje automático.

5. Beneficios Esperados y KPIs

La implementación de Sentinel Verde generará beneficios tangibles y medibles:

- **Aumento de la Precisión de Detección:**

- **KPI:** Reducción del 35% en falsos positivos y negativos en la detección de deforestación.
- **KPI:** Aumento del 25% en la precisión de la segmentación semántica de la cubierta forestal.

- **Mejora de la Eficiencia Operacional:**

- **KPI:** Aumento del 50% en la cobertura operativa de monitoreo de grandes extensiones, especialmente en áreas de difícil acceso o con condiciones climáticas adversas (ej. temporadas de lluvias).
- **KPI:** Reducción del tiempo de detección de eventos de deforestación de semanas a un máximo de 72 horas.
- **KPI:** Reducción del 30% en los costos operativos de monitoreo por hectárea mediante la optimización de rutas y la autonomía de los drones.

- **Generación de Inteligencia Accionable:**

- **KPI:** Fiabilidad del 80% en la identificación de áreas de alto riesgo de deforestación y la priorización de zonas de intervención.
- **KPI:** Generación de informes de deforestación contextualizados con un análisis de impacto en un 70% menos de tiempo que los métodos manuales.

- **Impacto Ambiental y Social:**

- **KPI:** Reducción de la tasa anual de deforestación en áreas monitoreadas en al menos un 10% en un plazo de 2 años, contribuyendo directamente a la mitigación del cambio climático.
- **KPI:** Mejora en la capacidad de las autoridades locales para la toma de decisiones informadas sobre conservación forestal y aplicación de la ley.

6. Alineación Estratégica con Oportunidades de Financiación

- **State (Government of Kenya): A Sh33 billion fund unveiled for youth startups.**

Nuestro proyecto, liderado por un equipo innovador, se alinea perfectamente con este fondo al ofrecer una solución de alta tecnología que aborda un problema ambiental crítico en Kenia, la deforestación. Al ser una startup que aprovecha el talento joven y la IA, no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también fomenta la creación de empleo especializado y el desarrollo de capacidades tecnológicas locales, impulsando la economía y el desarrollo impulsado por la juventud.

- **State (Government of Kenya): Annual support fund for institutions catering to learners with disabilities.**

Aunque no es el foco principal del proyecto, Sentinel Verde puede contribuir indirectamente a este fondo. La creación de la plataforma de datos geoespaciales y las interfaces de visualización podría explorarse para ser accesible y adaptable, ofreciendo oportunidades futuras para la participación inclusiva en el análisis de datos o la capacitación en nuevas tecnologías para personas con discapacidades. Además, la mejora del medio ambiente beneficia a toda la población, incluyendo las comunidades más vulnerables.

- **Minciencias: Convocatoria en Inteligencia Artificial y Ciencia y Tecnologías Cuánticas 2025.**

Este proyecto es una combinación ideal para la convocatoria de Minciencias. Nuestro enfoque en la fusión de sensores multimodales con Deep Learning avanzado, la navegación autónoma con IA y la Inteligencia Geoespacial para la detección contextualizada de la deforestación, demuestra un alto impacto en el desarrollo ético y sostenible de la IA. El proyecto de 18 meses con una inversión de hasta 1.500 millones de pesos encaja con la envergadura y el plazo de la convocatoria, posicionando a Colombia a la vanguardia en el uso de IA para la conservación ambiental.

- **July Fund: Oportunidad de financiación de capital riesgo para startups en el sector de la inteligencia geoespacial.**

Sentinel Verde es una startup de inteligencia geoespacial por excelencia. Aprovecha la inteligencia artificial para el monitoreo en tiempo real de la deforestación y la generación de protocolos de intervención, que es precisamente el tipo de innovación que busca July Fund. Nuestro uso de GeoAI para análisis contextualizado y predictivo, junto con la gestión de datos geoespaciales de drones y satélites, nos convierte en un candidato ideal para esta oportunidad de capital riesgo.

- **Green Climate Fund (GCF): Financiación para asistir a países en desarrollo en sus esfuerzos para responder al cambio climático, apoyando proyectos que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y mejoran la resiliencia.**

La deforestación es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y un factor clave en la vulnerabilidad de las comunidades al cambio climático. Sentinel Verde aborda directamente la mitigación del cambio climático al proporcionar una herramienta eficiente para detener y revertir la deforestación. Al proteger los bosques, el proyecto mejora la resiliencia de los ecosistemas y las comunidades locales, alineándose perfectamente con la misión del GCF de apoyar los esfuerzos de adaptación y reducción de emisiones en países en desarrollo.

- **Sustainable Innovation Seed Accelerator Program (África):**

Como una startup en fase semilla que desarrolla una solución tecnológica sostenible para un problema local crítico en África (la deforestación), Sentinel Verde encaja de manera excepcional con este programa acelerador. Nuestra tecnología no solo busca resolver un desafío ambiental clave, sino que también tiene el potencial de escalar globalmente, redefiniendo la trayectoria de desarrollo de África a través de la innovación sostenible y la protección de sus recursos naturales. La mentoría y el apoyo práctico serán cruciales para el crecimiento y la presentación de nuestra innovación.

7. Roadmap de Implementación por Fases

Fase 1: Investigación, Prototipado y Selección de Hardware (Meses 1-6)

- **Duración:** 6 meses
- **Entregables Clave:**
 - Estudio de viabilidad y selección final de componentes de hardware (drones, sensores SAR/LiDAR/multiespectrales, unidades de edge computing).
 - Prototipo funcional del módulo de fusión de datos multimodales (óptico-SAR) utilizando arquitecturas U-Net/Deeplab v3+ en un entorno controlado.
 - Diseño detallado de la arquitectura de la plataforma de software y nube.
 - Establecimiento de acuerdos con proveedores de datos satelitales (ej. Planet NICFI) para enriquecer el conjunto de datos de entrenamiento.

Fase 2: Desarrollo del Sistema Core y Pruebas Preliminares (Meses 7-12)

- **Duración:** 6 meses
- **Entregables Clave:**
 - Implementación completa de la plataforma de ingesta, preprocesamiento y almacenamiento de datos multimodales.
 - Desarrollo e integración del motor de IA para la detección de deforestación (fusión avanzada, segmentación semántica) y el módulo inicial de GeoAI para clasificación de cobertura terrestre.
 - Desarrollo del sistema de navegación autónoma basado en visión para drones y pruebas en entornos simulados.
 - Primeras pruebas de vuelo con drones equipados con sensores seleccionados y módulos de edge computing para captura de datos y procesamiento en el borde.

Fase 3: Optimización, Integración Avanzada y Piloto de Campo (Meses 13-18)

- **Duración:** 6 meses
- **Entregables Clave:**

- Optimización de modelos de IA para la máxima precisión y eficiencia, incluyendo técnicas de aprendizaje semi-supervisado.
- Integración del módulo de GeoAI para análisis de riesgo, contextualización y generación de alertas.
- Desarrollo e implementación del centro de control de misiones y el dashboard de visualización para usuarios finales.
- Despliegue de un piloto de campo en un área representativa (ej. Kenia o Colombia) para validación del sistema completo en condiciones reales, incluyendo drones atados y la coordinación de flotas.
- Recopilación y análisis de métricas de rendimiento (KPIs) para demostrar el cumplimiento de los objetivos estratégicos.

Fase 4: Escalado y Preparación para la Comercialización (Meses 19-24)

- **Duración:** 6 meses (continuo)
 - **Entregables Clave:**
 - Refinamiento del producto basado en la retroalimentación del piloto y expansión de las funcionalidades de la plataforma.
 - Desarrollo de un plan de escalabilidad para la implementación en múltiples regiones y países.
 - Establecimiento de alianzas estratégicas con organizaciones de conservación, gobiernos y entidades del sector privado.
 - Preparación de materiales de comercialización y estrategia de entrada al mercado.
 - Formación de equipos para soporte técnico y operaciones a gran escala.
-

3. Fuentes y Referencias

Artículos Académicos Consultados

- [Arxiv] Mapping Tropical Forest Cover and Deforestation with Planet NICFI Satellite Images and Deep Learning in Mato Grosso State (Brazil) from 2015 to 2021

URL: <https://arxiv.org/pdf/2211.09806v1>

- [Arxiv] Rapid Deforestation and Burned Area Detection using Deep Multimodal Learning on Satellite Imagery

URL: <https://arxiv.org/pdf/2307.04916v1>

- [Arxiv] Combining recurrent and residual learning for deforestation monitoring using multitemporal SAR images

URL: <https://arxiv.org/pdf/2310.05697v1>

- [Arxiv] Tree semantic segmentation from aerial image time series

URL: <https://arxiv.org/pdf/2407.13102v1>

- [Arxiv] Land Cover Change Detection via Semantic Segmentation

URL: <https://arxiv.org/pdf/1911.12903v1>

- [Arxiv] Lidar-based Norwegian tree species detection using deep learning

URL: <https://arxiv.org/pdf/2311.06066v1>

- [Arxiv] Redefining Aerial Innovation: Autonomous Tethered Drones as a Solution to Battery Life and Data Latency Challenges

URL: <https://arxiv.org/pdf/2403.07922v1>

- [Arxiv] Deep Convolutional Neural Network-Based Autonomous Drone Navigation

URL: <https://arxiv.org/pdf/1905.01657v1>

- [Arxiv] Navigating the Smog: A Cooperative Multi-Agent RL for Accurate Air Pollution Mapping through Data Assimilation

URL: <https://arxiv.org/pdf/2407.12539v1>

- [Arxiv] Detection of Endangered Deer Species Using UAV Imagery: A Comparative Study Between Efficient Deep Learning Approaches

URL: <https://arxiv.org/pdf/2506.00154v1>

- [Arxiv] Semi-Supervised Object Detection for Sorghum Panicles in UAV Imagery

URL: <https://arxiv.org/pdf/2305.09810v1>

- [Arxiv] A Satellite Band Selection Framework for Amazon Forest Deforestation Detection Task

URL: <https://arxiv.org/pdf/2404.02659v1>

- [Arxiv] Balanced Space- and Time-based Duty-cycle Scheduling for Light-based IoT

URL: <https://arxiv.org/pdf/2410.06870v2>

- [Arxiv] Quantum cryptography with correlated twin laser beams

URL: <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0403112v3>

- [Arxiv] Secure Communication Protocol for Smart Transportation Based on Vehicular Cloud

URL: <https://arxiv.org/pdf/1912.12884v2>

- [Arxiv] Equity-Aware Geospatial AI for Forecasting Demand-Driven Hospital Locations in Germany

URL: <https://arxiv.org/pdf/2510.10640v1>

- [Arxiv] SRAI: Towards Standardization of Geospatial AI

URL: <https://arxiv.org/pdf/2310.13098v2>

- [Arxiv] Desk-Aid: Humanitarian Aid Desk Assessment with Geospatial AI for Predicting Landmine Areas

URL: <https://arxiv.org/pdf/2405.09444v1>

Fuentes Web Relevantes

- Minciencias MinCiencias anuncia su nueva convocatoria en Inteligencia Artificial y Ciencia y Tecnologías Cuánticas 2025 | Minciencias

URL: https://www.colciencias.gov.co/sala_de_prensa/minciencias-anuncia-su-nueva-convocatoria-en-inteligencia-artificial-y-ciencia-y

- Geospatial Intelligence - July Fund

URL: <https://july.fund/research/geospatial-intelligence>

- fundsforNGOs 25 Donor Agencies Funding Green Tech in Developing Countries - fundsforNGOs

URL: <https://www2.fundsforngos.org/articles-searching-grants-and-donors/25-donor-agencies-funding-green-tech-in-developing-countries/amp/>

- Green Climate Fund Adaptation | Green Climate Fund

URL: <https://www.greenclimate.fund/theme/adaptation>

- Plan de Acción para la Biodiversidad en Colombia 2030

URL:

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2025/03/Plan-Accion-Biodiversidad-Colombia-2030.pdf>

- Sustainable Innovation Seed Accelerator Program 2025 for Seed ...

URL: <https://www.africanresearchers.org/sustainable-innovation-seed-accelerator-program-2025-for-seed-stage-startups/>

- Sustainable Innovation Seed Accelerator Program 2025 for seed ...

URL: <https://www.opportunitiesforafricans.com/sustainable-innovation-seed-accelerator-program-2025-for-seed-stage-startups/>