

Reporte de Fundamentación y Estado del Arte

Proyecto: Detección de deforestación mediante inteligencia artificial

Fecha de Generación: 22 de October de 2025

Reporte de Fundamentación de Proyecto Tecnológico: Detección de Deforestación mediante Inteligencia Artificial

Contexto del Proyecto

El proyecto propone el desarrollo de drones equipados con capacidad para transferir información a un centro de control e identificar patrones de deforestación mediante visión artificial. Este reporte sintetiza el marco teórico y el estado del arte para fundamentar la relevancia, viabilidad y potencial innovador de esta iniciativa.

1. Marco Teórico

1.1. Conceptos Fundamentales

El proyecto "Detección de deforestación mediante inteligencia artificial" se asienta sobre pilares conceptuales derivados de la conjunción de la inteligencia artificial, la teledetección y la robótica aérea. A continuación, se detallan los conceptos más cruciales:

Aprendizaje Profundo (Deep Learning) para Análisis de Imágenes: Este subcampo de la Inteligencia Artificial es fundamental para la capacidad del proyecto de "identificar patrones de deforestación". Los modelos de aprendizaje profundo, como las Redes Neuronales Convolucionales (CNNs), han demostrado una habilidad excepcional para procesar y extraer características complejas de datos visuales, superando las limitaciones de los métodos tradicionales. Su aplicación abarca desde la cartografía de la cobertura forestal 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) hasta la segmentación semántica de árboles y la detección de cambios en la cobertura terrestre (Fuente: Arxiv, Título: Tree semantic segmentation from aerial image time series; Fuente: Arxiv, Título: Land Cover Change Detection via Semantic Segmentation*). La capacidad de estos modelos para aprender representaciones jerárquicas de datos

permite identificar sutiles indicadores de deforestación que podrían ser pasados por alto por otros métodos.

Teledetección y Sensores Remotos: La teledetección es la ciencia y tecnología de obtener información de objetos o fenómenos sin contacto físico directo, utilizando sensores montados en plataformas aéreas o espaciales. Para la detección de deforestación, la teledetección proporciona los datos de entrada esenciales. Esto incluye el uso de imágenes satelitales (ópticas y SAR) para el monitoreo de la cobertura forestal a gran escala (Fuente: Arxiv, Título: Rapid Deforestation and Burned Area Detection using Deep Multimodal Learning on Satellite Imagery; Fuente: Arxiv, Título: Combining recurrent and residual learning for deforestation monitoring using multitemporal SAR images) y datos LiDAR para la identificación de especies arbóreas (Fuente: Arxiv, Título: Lidar-based Norwegian tree species detection using deep learning*). En el contexto de este proyecto, los drones actúan como plataformas de teledetección, ofreciendo una flexibilidad y resolución espacial que complementa o supera a las plataformas satelitales en áreas específicas.

Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs/Drones) para Monitoreo Ambiental: Los drones son el componente tecnológico clave para la recolección de datos en este proyecto. Su maniobrabilidad y capacidad para operar en entornos "in-the-wild" los hacen herramientas esenciales para la reconstrucción 3D de escenas y la captura de imágenes detalladas (Fuente: Arxiv, Título: DroneSplat: 3D Gaussian Splatting for Robust 3D Reconstruction from In-the-Wild Drone Imagery). Además de la captura de imágenes, los drones son la plataforma para la aplicación de la visión artificial, permitiendo la detección de objetos (como especies animales o rasgos de plantas) en imágenes aéreas (Fuente: Arxiv, Título: Detection of Endangered Deer Species Using UAV Imagery: A Comparative Study Between Efficient Deep Learning Approaches; Fuente: Arxiv, Título: Semi-Supervised Object Detection for Sorghum Panicles in UAV Imagery). Su capacidad para transferir información a un centro de control también los posiciona como nodos en redes IoT marinas y edge computing, lo que es relevante para la gestión de datos en tiempo real (Fuente: Arxiv, Título: Marine IoT Systems with Space-Air-Sea Integrated Networks: Hybrid LEO and UAV Edge Computing*).

1.2. Modelos y Metodologías Relevantes

La investigación académica proporciona una base sólida de modelos y metodologías que son directamente aplicables y esenciales para el desarrollo del proyecto:

Redes Neuronales Convolucionales (CNNs) y Arquitecturas de Segmentación Semántica: Las CNNs son la columna vertebral de la visión artificial moderna y se utilizan para extraer características de las imágenes. Modelos avanzados como U-Net y Deeplab v3+ son específicamente diseñados para la segmentación semántica, un proceso que asigna una etiqueta de clase a cada píxel de una imagen. Esta capacidad es crucial para identificar y delimitar con precisión las áreas deforestadas o los cambios en la cobertura terrestre (Fuente: Arxiv, Título: Mapping Tropical Forest Cover and Deforestation...; Fuente: Arxiv, Título: Land Cover Change Detection via Semantic Segmentation*). La justificación de su uso radica en su eficacia probada para aprender patrones espaciales complejos relevantes para la detección de anomalías en el paisaje.

Aprendizaje Multimodal y Multitemporal: Para superar los desafíos inherentes a la recopilación de datos de teledetección, como la persistente cubierta de nubes que oscurece los datos ópticos (Fuente: Arxiv, Título: Combining recurrent and residual learning for deforestation monitoring using multitemporal SAR images), se emplean metodologías que combinan diferentes tipos de datos (multimodal) o series temporales de imágenes

(multitemporal). El aprendizaje multimodal, que integra datos de satélites ópticos y de radar (SAR), mejora la robustez de la detección de deforestación (Fuente: Arxiv, Título: Rapid Deforestation and Burned Area Detection using Deep Multimodal Learning on Satellite Imagery). Los enfoques multitemporales, que analizan cambios a lo largo del tiempo, son vitales para identificar patrones de deforestación activa y para la segmentación semántica de árboles (Fuente: Arxiv, Título: Tree semantic segmentation from aerial image time series*).

Detección y Clasificación de Objetos: Más allá de la segmentación de áreas, la detección de objetos permite identificar instancias específicas dentro de las imágenes. Modelos como YOLOv11 y RT-DETR son ejemplos de enfoques de vanguardia para la detección de objetos en imágenes UAV, incluso en escenarios desafiantes con objetos pequeños oclusión por vegetación (Fuente: Arxiv, Título: Detection of Endangered Deer Species Using UAV Imagery...). Estos modelos pueden adaptarse para detectar características específicas asociadas con la deforestación, como la presencia de maquinaria, caminos ilegales o incluso los límites de la tala, contribuyendo a una comprensión más profunda de los "patrones de deforestación" mencionados en el proyecto. La optimización de escala es también una metodología relevante para mejorar la detección de objetos con grandes variaciones de tamaño en imágenes aéreas (Fuente: Arxiv, Título: Scale Optimization Using Evolutionary Reinforcement Learning for Object Detection on Drone Imagery*).

1.3. Justificación Científica del Enfoque del Proyecto

El enfoque del proyecto, que integra drones para la adquisición de datos de alta resolución y visión artificial basada en inteligencia artificial para la detección de deforestación, está sólidamente justificado desde un punto de vista científico y teórico.

La literatura académica demuestra consistentemente la eficacia del aprendizaje profundo en el análisis de imágenes para tareas de monitoreo ambiental. Modelos como U-Net y Deeplab v3+ han probado su capacidad para la segmentación semántica y la detección de cambios en la cobertura terrestre, que son procesos directamente análogos a la identificación de deforestación. La capacidad de estos modelos para procesar grandes volúmenes de datos visuales y extraer patrones complejos es fundamental para la identificación automatizada y precisa de la deforestación.

La elección de los drones como plataforma de teledetección es particularmente prometedora. A diferencia de los satélites, que pueden verse obstaculizados por la persistente nubosidad o tener una menor resolución espacial para un monitoreo detallado, los drones ofrecen flexibilidad para operar bajo diferentes condiciones atmosféricas y capturar imágenes de muy alta resolución en áreas específicas de interés. Esto aborda la necesidad de una evaluación rápida y detallada de la deforestación en regiones de difícil acceso (Fuente: Arxiv, Título: *Rapid Deforestation and Burned Area Detection...*). Además, la capacidad de los drones para la navegación autónoma (Fuente: Arxiv, Título: *Deep Convolutional Neural Network-Based Autonomous Drone Navigation*) y la gestión de datos a través de comunicación con un centro de control (Fuente: Arxiv, Título: *Redefining Aerial Innovation: Autonomous Tethered Drones as a Solution to Battery Life and Data Latency Challenges*) sienta las bases para un sistema de monitoreo operativo y escalable.

La combinación de estas tecnologías permite superar las limitaciones de los métodos tradicionales de monitoreo, que a menudo son costosos, lentos o carecen de la precisión necesaria. Por lo tanto, el camino propuesto por este proyecto es viable y altamente prometedor para ofrecer una solución innovadora y efectiva

en la lucha contra la deforestación.

2. Análisis del Estado del Arte

2.1. Técnicas y Enfoques Predominantes

El estado del arte en la detección de deforestación y el monitoreo ambiental mediante tecnologías avanzadas se caracteriza por varios enfoques predominantes, principalmente centrados en la teledetección y la inteligencia artificial:

Monitoreo de Deforestación a Gran Escala con Imágenes Satelitales y Aprendizaje Profundo: La principal corriente de investigación utiliza imágenes satelitales de alta resolución, como las de Planet NICFI, combinadas con modelos de aprendizaje profundo (ej., U-Net) para mapear la cobertura forestal y la deforestación en vastas regiones (Fuente: Arxiv, Título: Mapping Tropical Forest Cover and Deforestation...). Estos enfoques a menudo integran el aprendizaje multimodal, combinando datos ópticos y de radar (SAR) para mejorar la detección, especialmente en áreas con alta cobertura de nubes (Fuente: Arxiv, Título: Rapid Deforestation and Burned Area Detection...; Fuente: Arxiv, Título: Combining recurrent and residual learning for deforestation monitoring...). La selección óptima de bandas satelitales también es una técnica explorada para mejorar la representación de la deforestación (Fuente: Arxiv, Título: A Satellite Band Selection Framework for Amazon Forest Deforestation Detection Task*).

Segmentación Semántica para Análisis de Cobertura Terrestre y Especies: La segmentación semántica es una técnica central para la clasificación detallada del paisaje. Se utiliza para identificar cambios en la cobertura terrestre a partir de imágenes aéreas, empleando arquitecturas avanzadas como Deeplab v3+ (Fuente: Arxiv, Título: Land Cover Change Detection via Semantic Segmentation). También se aplica para la identificación de especies arbóreas a partir de series temporales de imágenes aéreas o datos LiDAR, lo que es esencial para la gestión forestal y la biodiversidad (Fuente: Arxiv, Título: Tree semantic segmentation from aerial image time series; Fuente: Arxiv, Título: Lidar-based Norwegian tree species detection using deep learning*).

Detección de Objetos Específicos en Imágenes UAV: Los drones son utilizados como plataformas para la detección de objetos de interés ambiental, como la identificación de especies animales en peligro (Fuente: Arxiv, Título: Detection of Endangered Deer Species Using UAV Imagery...) o características agrícolas como las panículas de sorgo (Fuente: Arxiv, Título: Semi-Supervised Object Detection for Sorghum Panicles in UAV Imagery*). Esto se logra mediante redes neuronales como YOLOv11 y RT-DETR, que se optimizan para desafíos como la variación de escala y la oclusión.

Tecnologías de Drones y Gestión de Datos: La investigación también aborda las capacidades y limitaciones de los drones. Se exploran drones atados para superar las restricciones de duración de la batería y la latencia de datos (Fuente: Arxiv, Título: Redefining Aerial Innovation...). Se desarrollan métodos de navegación autónoma basados en CNNs para rutas predeterminadas (Fuente: Arxiv, Título: Deep

Convolutional Neural Network-Based Autonomous Drone Navigation). Además, se investiga el papel de los drones en sistemas IoT marinos y redes no terrestres, incluyendo el edge computing para el procesamiento de datos a bordo (Fuente: Arxiv, Título: Marine IoT Systems with Space-Air-Sea Integrated Networks...; Fuente: Arxiv, Título: On the Energy Consumption of UAV Edge Computing in Non-Terrestrial Networks*).

Geospatial AI para Monitoreo y Verificación: Se están desarrollando marcos integrados de IA geoespacial para diversas aplicaciones, desde la planificación de infraestructura hasta la estimación de riesgos (Fuente: Arxiv, Título: Equity-Aware Geospatial AI for Forecasting Demand-Driven Hospital Locations in Germany; Fuente: Arxiv, Título: Desk-Aid: Humanitarian Aid Desk Assessment with Geospatial AI for Predicting Landmine Areas). Estos sistemas son relevantes para los procesos de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) de proyectos de conservación forestal (Fuente: Arxiv, Título: TrueBranch: Metric Learning-based Verification of Forest Conservation Projects*).

2.2. Limitaciones Identificadas y Brechas en la Investigación

A pesar de los avances significativos, la investigación actual y las tecnologías existentes presentan varias limitaciones y brechas que el proyecto busca abordar:

Desafíos Ambientales y de Accesibilidad: La vasta extensión de áreas forestales y su limitada accesibilidad dificultan la estimación de la deforestación y la detección de incendios (Fuente: Arxiv, Título: Rapid Deforestation and Burned Area Detection...). La persistente cubierta de nubes es un obstáculo significativo para la recopilación de datos ópticos satelitales durante gran parte del año (Fuente: Arxiv, Título: Combining recurrent and residual learning...*).

Limitaciones de los Drones Convencionales: Los drones tradicionales operados con batería enfrentan restricciones en la duración de la batería y problemas de latencia de datos, lo que limita su autonomía y la eficiencia en la transferencia de información (Fuente: Arxiv, Título: Redefining Aerial Innovation...). El procesamiento de datos a bordo en los UAVs también puede imponer importantes restricciones energéticas (Fuente: Arxiv, Título: On the Energy Consumption of UAV Edge Computing...*).

Costos y Precisión de los Métodos MRV Actuales: Los procesos actuales de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) para proyectos de conservación forestal son o bien demasiado costosos (inspección en tierra) o inexactos (satélites), lo que compromete la confianza en los pagos por servicios ecosistémicos (Fuente: Arxiv, Título: TrueBranch: Metric Learning-based Verification of Forest Conservation Projects*).

Demandas de Datos para el Aprendizaje Profundo: Muchos métodos de detección de objetos basados en aprendizaje profundo requieren una gran cantidad de datos de entrenamiento, lo que implica un etiquetado manual que es costoso en tiempo y no siempre factible para aplicaciones reales (Fuente: Arxiv, Título: Semi-Supervised Object Detection for Sorghum Panicles in UAV Imagery*).

Desafíos en el Procesamiento de Imágenes Aéreas: La detección de objetos en imágenes aéreas presenta un desafío significativo debido a las grandes variaciones de escala entre los objetos (Fuente: Arxiv, Título: Scale Optimization Using Evolutionary Reinforcement Learning...). Además, para la reconstrucción 3D robusta de escenas salvajes, los "distractores dinámicos" y las limitaciones de la vista desafían la suposición de escena estática en los métodos de campo de radiancia (Fuente: Arxiv, Título: DroneSplat: 3D Gaussian Splatting for Robust 3D Reconstruction...*).

2.3. Posicionamiento e Innovación Clave del Proyecto

El proyecto "Detección de deforestación mediante inteligencia artificial" se posiciona estratégicamente en la vanguardia del monitoreo ambiental, abordando directamente varias de las limitaciones críticas del estado del arte. Su propuesta de valor innovadora reside en la integración sinérgica de la flexibilidad operativa de los drones con la capacidad analítica avanzada de la visión artificial basada en aprendizaje profundo.

El proyecto aborda las siguientes limitaciones clave:

Superación de la Cubierta de Nubes y la Accesibilidad Limitada: Al emplear drones, el proyecto puede operar bajo condiciones de nubosidad donde los satélites ópticos son ineficaces, proporcionando datos cruciales en tiempo real o casi real. Además, los drones permiten acceder y monitorear áreas remotas o de difícil acceso que son desafiantes para las inspecciones terrestres o el monitoreo satelital de alta frecuencia. Esta capacidad de monitoreo on-demand de zonas específicas mejora la identificación rápida de deforestación (Fuente: Arxiv, Título: Rapid Deforestation and Burned Area Detection...; Fuente: Arxiv, Título: Combining recurrent and residual learning...*).

Mejora de la Resolución y el Detalle del Monitoreo: Los drones pueden capturar imágenes de ultra-alta resolución, lo que permite una identificación mucho más detallada de los patrones de deforestación que la que a menudo es posible con la mayoría de las imágenes satelitales disponibles comercialmente. Esto es crucial para la "identificación de patrones" que va más allá de la mera detección, permitiendo discernir tipos de deforestación o la presencia de indicadores sutiles. Esta precisión contribuye a subsanar la brecha de "inexactitud" de los métodos satelitales en los procesos de MRV (Fuente: Arxiv, Título: TrueBranch...*).

Optimización de la Transferencia de Información y la Eficiencia Operacional: La capacidad intrínseca de los drones del proyecto para "transferir información a un centro de control" aborda directamente los desafíos de latencia de datos y la gestión eficiente de la información, que son limitaciones de los drones tradicionales (Fuente: Arxiv, Título: Redefining Aerial Innovation...*). Esto implica el desarrollo o la integración de protocolos de comunicación robustos que faciliten un flujo de datos continuo y seguro, esencial para la toma de decisiones rápidas en la gestión forestal.

Reducción de Costos y Mejora de la Precisión en MRV: Al automatizar la detección de deforestación con drones y IA, el proyecto ofrece una alternativa más rentable y objetiva a las costosas inspecciones terrestres y a los métodos satelitales de menor precisión, mejorando la transparencia y la confianza en los sistemas de MRV para la conservación forestal (Fuente: Arxiv, Título: TrueBranch...*).

La principal propuesta de valor innovadora del proyecto radica en la creación de un **sistema de monitoreo de deforestación ágil, de alta resolución y casi en tiempo real**, que aprovecha la movilidad y flexibilidad de los drones como plataforma de sensores y la capacidad analítica superior del aprendizaje profundo para la visión artificial. Este sistema no solo detectará la deforestación, sino que también identificará sus *patrones* subyacentes con un nivel de detalle que complementa y supera las capacidades de los métodos actuales, proporcionando datos accionables para la conservación y mitigación del cambio climático.

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>

- [Arxiv] DroneSplat: 3D Gaussian Splatting for Robust 3D Reconstruction from In-the-Wild Drone Imagery

URL: <https://arxiv.org/pdf/2503.16964v1>

- [Arxiv] TrueBranch: Metric Learning-based Verification of Forest Conservation Projects

URL: <https://arxiv.org/pdf/2004.09725v1>

- [Arxiv] Scale Optimization Using Evolutionary Reinforcement Learning for Object Detection on Drone Imagery

URL: <https://arxiv.org/pdf/2312.15219v1>

- [Arxiv] Marine IoT Systems with Space-Air-Sea Integrated Networks: Hybrid LEO and UAV Edge Computing

URL: <https://arxiv.org/pdf/2301.03815v1>

- [Arxiv] On the Energy Consumption of UAV Edge Computing in Non-Terrestrial Networks

URL: <https://arxiv.org/pdf/2312.12940v1>

- [Arxiv] Stochastic Nonlinear Ensemble Modeling and Control for Robot Team Environmental Monitoring

URL: <https://arxiv.org/pdf/2212.11447v1>

Fuentes Web Relevantes

- Eldato MinCiencias lanzó convocatoria en Inteligencia Artificial y Ciencias y Tecnologías Cuánticas 2025 – Eldato

URL: <https://eldato.co/2025/04/30/minciencias-lanzo-convocatoria-en-inteligencia-artificial-y-ciencias-y-tecnologias-cuanticas-2025/>

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

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

- Home / REDD+ - UNFCCC

URL: <https://redd.unfccc.int/>

- Eldato MinCiencias lanzó convocatoria en Inteligencia Artificial y Ciencias y Tecnologías Cuánticas 2025 – Eldato

URL: <https://eldato.co/2025/04/30/minciencias-lanzo-convocatoria-en-inteligencia-artificial-y-ciencias-y-tecnologias-cuanticas-2025/>

- Minciencias Convocatoria Colombia Inteligente: Desarrollo e implementación de soluciones mediante inteligencia artificial y ciencias del espacio para los territorios | Convocatoria 950 | Minciencias

URL: <https://minciencias.gov.co/convocatoria-colombia-inteligente>

- News & Insights - Foresight Group

URL: <https://www.foresight.group/news>