

Inteligencia Artificial en Análisis de Imágenes Termográficas Infrarrojas Captadas por Vehículos Aéreos no Tripulados Híbridos-Eléctricos -Fotovoltaicos

sistema de alerta temprana para monitoreo de incendios forestales y vigilancia en tiempo real

William Gabriel Campos Villarraga
Estudiante Ingeniería Mecatrónica, Universidad ECCI
Presidente RAS IEEE Universidad ECCI
Bogotá, Colombia

Resumen—En consecuencia de fenómenos globales tales como el calentamiento global, el periodo de duración de las estaciones climáticas, el aumento de la temperatura y la contaminación por basuras, se generan condiciones propicias para el inicio de incendios en áreas de bosques o zonas de importancia, afectando la fauna, flora y las ciudades adyacentes a éstos. Además de ofrecer posibilidades de vigilancia y recolección de información para mapeo geográfico.

Este diseño tiene como fin dar herramientas a la comunidad para la implementación de un sistema de alerta temprana y monitoreo de incendios forestales mediante tecnologías de análisis termográfico, Inteligencia artificial, IoT, Sistema de Posicionamiento Global GPS embebidos en Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV, por sus siglas en inglés).

Esta tecnología propuesta es la punta de lanza en los sistemas autónomos para el análisis de grandes extensiones de tierra con mínimo personal de operación, maximizando el potencial de los vehículos al usar tecnologías de alimentación Híbrido – Eléctrico – Fotovoltaico y sistemas de reconocimiento de imágenes basadas en Inteligencia Artificial como son Redes Neuronales Artificiales.

Palabras Clave—*Inteligencia Artificial; Imagen Termográfica; IoT; Redes Neuronales Artificiales; Incendios Forestales; GPS; Sistema Alerta Temprana, GSM, Híbrido-Eléctrico, Fotovoltaico, Comunicación Largo Alcance, Fotogrametría.*

Abstract— As result of global phenomena such global warming, the duration of the seasons, the temperature rise and contamination by waste, favorable conditions for starting fires in wooded areas or areas of importance are generated, affecting fauna, flora and cities adjacent to them. Besides offering possibilities for monitoring and gathering information for geographic mapping.

This design intended to give tools to the community for the implementation of an early warning system and monitoring forest fires through technologies like thermographic analysis,

artificial intelligence, IoT, Global Positioning System GPS embedded in Unmanned Aerial Vehicles (UAV).

This proposed technology is the spearhead in autonomous systems for the analysis of large tracts of land with minimal staff operation, maximizing the potential of vehicles using technologies Power Hybrid - Electric - Photovoltaic and Image Recognition Systems based in Artificial intelligence like Artificial Neural Networks.

Keywords— *Artificial Intelligence, Thermal Imaging, IoT, Artificial Neural Networking, Wildfire, GPS, Early Warning System, GSM, Hybrid-Eléctric, Photovoltaic, Long- Range Communication, Photogrammetry.*

I. INTRODUCCIÓN

En Bogotá - Colombia, al igual que en todo el territorio nacional en los últimos años, la cantidad de incendios reportados y área afectada por los mismos ha aumentado por causa del fenómeno del niño, el calentamiento global, contaminación por basuras y manos criminales. Esta tendencia se repite en varias partes del mundo ocasionando deterioro irreversible en la fauna y flora local, además de contribuir a la contaminación ambiental de las ciudades y el aumento de enfermedades respiratorias en la comunidad. Analizando la problemática, por medio de las tecnologías emergentes y la implementación de desarrollos en hardware y software, es posible desarrollar medidas preventivas y sistemas de alerta temprana para controlar los incendios en etapas iniciales y mitigar el daño económico, ambiental y social [1][2].

La alta diversidad biológica, la sostenibilidad de los recursos, agua y suelo, así como algunas actividades humanas se ven afectadas en Colombia de forma notoria por los incendios. Este fenómeno se presenta de manera recurrente en

gran parte del país, en especial durante los periodos secos prolongados, durante los cuales los ecosistemas tropicales húmedos y muy húmedos pierden parte de los contenidos de humedad superficial e interior, incrementando sus niveles de susceptibilidad y amenaza hacia la combustión de la biomasa vegetal que los compone. Los incendios forestales son la combustión de una gran cantidad de material vegetal combustible en presencia de una fuente de ignición (calor). Combustible, comburente y fuente de ignición es a lo que se le denomina triángulo de fuego [3]. La vegetación forestal al igual que el material vegetal muerto, que se encuentra sobre la superficie de los bosques e incluso la materia orgánica del suelo constituyen el combustible que se encuentra en grandes cantidades en los ecosistemas forestales. Los incendios forestales aumentan la contaminación del aire, contribuyen al aumento de efecto invernadero (causado por los gases de combustión), afectan la fauna, influye en las variaciones térmicas atmosféricas, reducen el área de bosque. Estos incendios logran temperaturas que pueden variar entre los 100°C en incendios de baja intensidad hasta los 700°C en incendios de alta intensidad [4][5].

La radiación infrarroja es un tipo de radiación electromagnética que emiten los incendios, las personas y en general cualquier elemento con temperatura mayor a - 273.15°C. Estos Elementos que generan calor (energía térmica) producen radiación en un rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta los 1000 micrómetros; el análisis de este tipo de radiación es ampliamente usado en la industria, investigación y militar en un sinnúmero de aplicaciones tales como cámaras termográficas y equipo de visión nocturna.

Una vez identificando elementos característicos únicos en los conatos e incendios, un vehículo aéreo no tripulado como elemento mínimamente invasivo puede ser adaptado para vigilancia, monitoreo y sistema de alerta temprano para aplicaciones tanto civiles como militares. Esta estrategia puede ser empleada para cubrir grandes superficies desde el aire llevando componentes de geolocalización, cámaras, procesamiento y comunicación para detección temprana de actividades y envío de datos en tiempo real al centro de control.

El sistema global cuenta con dos componentes, uno móvil (El vehículo aéreo no tripulado con elementos de captación, procesamiento y envío de datos) y uno estacionario (estación de recepción de datos y monitoreo). El primero vuela sobre las áreas requeridas recolectando, procesando y enviando la información inicial y el segundo realiza un post-procesado de la información, generación de informes, generación de mapas y acciones a tomar con la información recolectada. Ambos componentes tienen la posibilidad de automatizarse en gran medida y contar con mínimo personal para operación.

Como componente mínimamente invasivo que pueda afectar la fauna y flora, el UAV es una de las mejores opciones para realizar monitoreo de actividades o vigilancia por medio de fotografías aéreas. Éste debe ser fabricado en gran medida con materiales aeroespaciales por sus propiedades de bajo peso y alta resistencia además dichos materiales deben tener la capacidad de soportar a temperaturas altas por cortos periodos de tiempo. Debe ser de fácil reparación y mantenimiento, y con capacidad de carga suficiente para los elementos de captura de

imágenes termográficas, análisis de imagen, comunicación y baterías a bordo. resistente,

II. SISTEMA MECÁNICO

Los materiales empleados en aplicaciones aeroespaciales en el siglo XXI garantizan un peso ligero sin comprometer el desempeño mecánico de las partes, además deben tener una barrera térmica para ser resistentes a altas temperaturas puesto que el UAV sobrevolará sobre zonas de incendios. Teniendo esto en cuenta y comparando con materiales empleados en aplicaciones similares, son el poliestireno, materiales compuestos, fibras de vidrio y carbono, honeycomb, kevlar, entre otros los elegidos para la construcción de la aeronave.

La aeronave está diseñada para ser eficiente energéticamente, logrando gran autonomía de vuelo con la menor cantidad de combustible (gasolina) y la electrónica será optimizada para bajo consumo eléctrico, además el UAV será diseñado para fácil inspección en sus elementos electromecánicos, mínimo mantenimiento y bajos costos en operación y repuestos [6].

Su diseño es modular de fácil ensamble, se divide para facilitar su transporte y en caso de daño solamente se reemplaza el módulo que sea necesario. Este diseño modular no compromete la integridad de la aeronave ni genera puntos débiles en el chasis del UAV.

El fuselaje contendrá los computadores, tanto de vuelo como de misión, la cámara termográfica, los sensores, el motor de combustión interna, el motor eléctrico y la transmisión. Todo esto protegido del exterior por medio de la cubierta exterior.

Las alas, tal como en aviones de mayor tamaño, tienen espacio para almacenar los tanques de gasolina y baterías. De igual forma contendrán las antenas de comunicación GPS, GSM y de largo alcance. En su parte exterior, la sección superior tendrá adheridos los paneles solares fotovoltaicos flexibles.

III. SISTEMA DE COMUNICACIÓN

La comunicación se realizará entre dos componentes: el UAV y el Centro de Control, éste último será un computador con software diseñado para configurar la aeronave y prepararla para el funcionamiento en modo automático. La información de vuelo del UAV será precargada durante la fase de planeación de vuelo; durante el vuelo, la aeronave enviará su ubicación GPS en intervalos pre programados para seguimiento y posible recuperación en caso de falla (Figura. 1.), En modo manual, la aeronave enviará los datos al módulo de control de video, ubicación GPS e información de vuelo.

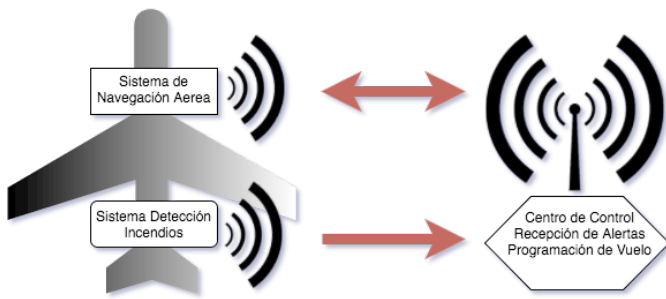


Figura. 1. Comunicación entre los sistemas en el UAV y en el centro de control.

A. Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV)

Cuenta con dos componentes independientes que se comunican con el Centro de Control en tierra.

- 1) *Sistema de Navegación Aérea:* Esta encargado de la telemetría, cambios en el plan de vuelo, coordenadas GPS de la aeronave y actualización de información durante la misión. Antena de largo alcance que envía la información al centro de control en tierra.
- 2) *Sistema Detección de Incendios:* Una vez el sistema de Inteligencia Artificial detecte una imagen termográfica con alta temperatura, el sistema de comunicación envía la alerta que incluye la imagen con alta temperatura y las coordenadas GPS de la imagen por dos sistemas simultáneamente en tiempo real: Envío por GSM (Internet a un servidor Nube) y simultáneamente por el sistema de comunicación directo con el Centro de Control en tierra, siendo un sistema de comunicación redundante por canales independientes que asegura que la información llegue al usuario.

B. Centro de Control

Es la base de comando de la aeronave en tierra, envía información al UAV para programación de vuelo, cambio de trayectoria y modificación de misión; recibe las alertas en tiempo real enviadas por el sistema de detección de incendios de la aeronave para ser analizado por personal en tierra, donde se el personal toma la decisión en las acciones a ejecutar una vez la alerta sea confirmada. Se compone de el computador con el software de creación de vuelo, antenas de largo alcance y componentes que garantizan comunicación eficaz con la aeronave durante su periodo de vuelo.

IV. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Actualmente existe un incremento en investigación, desarrollo y tecnología en aplicaciones con motores eléctricos y de combustión interna (CI) combinados, éstos son denominados sistemas Híbrido-Eléctricos que son empleados ampliamente en barcos, minería, transporte ferroviario y automóviles. Éstos sistemas Híbridos-Eléctricos en un UAV combina la amplia autonomía de vuelo de los motores CI y la

eficiencia de los motores eléctricos. Disminuyendo emisiones y dando mayor tiempo de vuelo que cualquier sistema solamente alimentado eléctricamente [7].

El sistema elegido para dicha aplicación es el sistema Híbrido-Eléctrico Paralelo modificado (Figura. 2.) el cual que es de bajo peso, de relativamente simple funcionamiento y alta eficiencia; pensando en mejorar aún mas el desempeño de la aeronave eléctricamente se incorpora a la configuración un arreglo de paneles solares fotovoltaicos instalados en las alas que aportarán energía adicional para aumentar la autonomía en misiones diurnas[8].

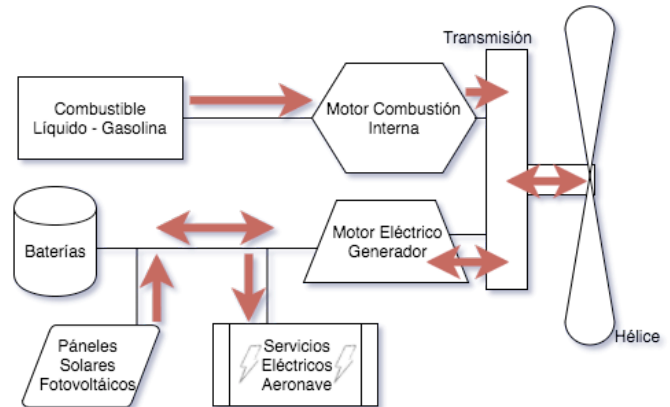


Figura. 2. Flujo Energía en Híbrido-Paralelo del UAV modificado para trabajar con paneles solares fotovoltaicos.

Con ventajas como fácil obtención de combustible, mayor capacidad de carga útil y autonomía significativamente mayor que un sistema solo eléctrico, El UAV funcionará con tres recursos energéticos simultáneamente: Baterías Li-ion, Paneles solares fotovoltaicos y gasolina por medio de un motor CI, cada uno de estos elementos serán integrados para el sistema de locomoción de la aeronave. El motor de impulsión, servos y electrónica en la aeronave son de funcionamiento eléctrico [9]. Comparando con sistemas alimentados solamente con baterías el sistema Híbrido-Eléctrico con paneles solares fotovoltaicos logra una gran autonomía de vuelo (estimaciones de 4 a 5 Horas de autonomía) y la capacidad de una carga útil mayor[10][11].

V. SENSORES

La aeronave en el compartimiento de carga cuenta con el conjunto de electrónica que analizará las condiciones de vuelo y de misión sensores para dos tipos de actividades: Sensores de vuelo y sensores de misión. Ambos cuentan con computadores y controladores independientes para cada una de las actividades durante el periodo de vuelo.

A. Sensores de Vuelo

Son aquellos que suministran información al computador de vuelo para saber la ubicación de la aeronave en tiempo real y desarrollar el plan de vuelo precargado[12].

1) *Sistema de Posicionamiento Global (GPS):* Envía a la computadora la ubicación en coordenadas tales como

Longitud, Latitud y Altura, esta información es usada para corregir la trayectoria en vuelo y para en envío de la posición del la aeronave en caso de pérdida o falla para rescate de la misma.

2) *Sensor de Tierra:* Se compone de un sistema óptico y lente de alta velocidad que puede estimar la distancia al suelo con gran precisión. Este sensor ayuda a al aeronave a aterrizar suavemente en gran variedad de terrenos y con mayor precisión que solo usando el GPS.

3) *Sistema Pitot-Estático:* Son los sensores e instrumentos sensibles a la presión para determinar la velocidad de la aeronave con relación al aire, la altitud y la variación de altitud, sistema indispensable para la telemetría de vuelo.

B. Sensores de Misión

Los sensores de misión son los que directamente actúan suministrando la información al sistema automático de reconocimiento de incendios (Computador de reconocimiento de imágenes infrarrojas termográficas e Inteligencia Artificial), participan en la captura de imágenes y envío de alertas al centro de control en tiempo real [13].

1) *Cámara Termográfica Infrarroja:* Es el sensor principal para la captura de imágenes en vuelo. Funciona por medio de un sensor radiación en un rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta los 1000 micrómetros por medio de un bolómetro que capta la radiación electromagnética en este caso la infrarroja. Las imágenes termográficas captadas por la cámara son enviadas al computador de misión para su análisis.

2) *Sistema de Posicionamiento Global (GPS):* Envía a la computadora la ubicación en coordenadas tales como Longitud, Latitud y Altura para enlazarlas a cada imagen termográfica tomada por la cámara a bordo. Esta información es fundamental para conocer el las coordenadas de geolocalización de una imagen de conato/incendio en el envío de alertas automático para que el personal el tierra tome las macciones según el caso.

VI. REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE

Es necesario el desarrollo de dos programas obligatorios y uno opcional para el control del UAV: A. El sistema automático de reconocimiento de imágenes termográficas infrarrojas por medio de Inteligencia Artificial y envío de alertas (Aeronave) y B. El programa de creación de vuelo, control de telemetría selección de misión, recepción de alertas, etc. (Centro de Control) y como opcional C. El Software de procesamiento de datos para mapeo geográfico, generación de mapas con las imágenes captadas con el UAV (Centro de Control).

A. Software de Reconocimiento de Imágenes:

funciona automáticamente una vez se inicia la misión; (Figura. 3) tiene funciones de calibración de la cámara y corrección de emisividad. El programa procesa la imágenes termográficas captadas por la cámara por medio de análisis térmico, vincula cada imagen con su posición GPS.

El uso de Inteligencia Artificial (IA) para el reconocimiento de imágenes es una de las tecnologías mas avanzadas en este campo actualmente, Usando como principio básico de funcionamiento las redes neuronales artificiales (RNA), procesa todas las imágenes captadas en vuelo usando un algoritmo codificado y previamente entrenado, así cuando el programa procesa una imagen que contiene pixeles con una temperatura preprogramada, por ejemplo una imagen con pixeles a una temperatura de 150°C o superior indica incendio; automáticamente la Inteligencia Artificial envía una alerta, con la imagen termográfica y las coordenadas GPS de la imagen via Internet a la nube por medio de GSM (Internet de las Cosas, IoT por sus siglas en Inglés) y simultáneamente al centro de control por medio del sistema de comunicación de la aeronave (sistema de comunicación redundante por canales independientes). Una vez la información se encuentre en el servidor de la nube, pueden establecerse condiciones para el uso y opciones para compartir dicha información.

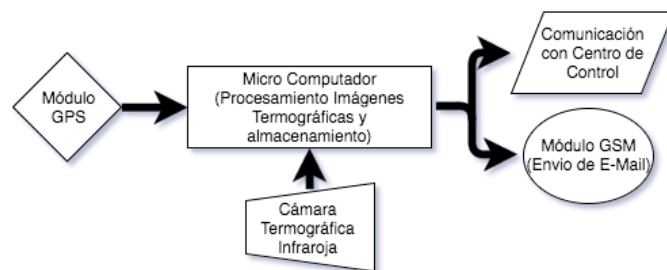


Figura 3. Entradas y salidas de datos del sistema de detección de incendios a bordo del UAV. IoT con Información enviada a un servidor en la nube.

B. Software de Planeación de Vuelo:

Es el programa instalado en el computador centro de control en tierra donde se genera el plan de vuelo, se tiene información de telemetría, se reciben las alertas de incendios (en tiempo real), las coordenadas de ubicación de la aeronave y se hacen las modificaciones a la misión.

Esta aplicación realizará los cálculos necesarios para la programación de vuelo automática, usando información geográfica y mapas satelitales, además podrá simular totalmente la misión en tierra antes de poner en vuelo la aeronave.

De igual forma calibra las características del terreno, datos de telemetría, intervalos de comunicación y demás información relevante que requiera la aeronave tanto en el plan de vuelo como en la misión.

C. Software de Procesamiento de Datos para Mapeo Geográfico (Opcional):

A partir de los vuelos con los UAV y con las imágenes termográficas infrarrojas capturadas, se pueden efectuar levantamientos topográficos de alta exactitud mediante modelo digital del terreno. El software por medio de una técnica denominada fotogrametría, extrae la geometría para calcular la posición de la cámara para la generación de mapas precisos y modelos 3D. Esta información postprocesada tienen aplicaciones en gestión de recursos naturales, agua, agricultura,

meteorología, minería, respuesta a emergencias o desastres información forestal, topografía y catastro. Siendo un sistema fiable, eficiente, bajo coste y adecuadamente documentado es una herramienta fundamental para estudios, proyecciones y análisis en varios campos de interés gubernamental. Entidades distritales tales como La Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital (IDECA) son las organizaciones con mayor potencial de aprovechamiento en los mapas generados por este último software.

VII. VALOR AGREGADO

Teniendo en cuenta que el diseño, investigación, desarrollo e implementación se realizaría con talento nacional, se promovería el conocimiento en tecnologías emergentes, UAV, energía solar fotovoltaica, tecnologías de híbridas-eléctricas, reconocimiento y procesamiento de imágenes, mapeo geográfico por software y creación de hardware y software para aplicaciones específicas, entre otras ventajas que tiene incentivar en desarrollo y producción de prototipos aéreos no tripulados en Colombia y generar tecnología en la región para dichas aplicaciones (Figura. 4).

La reducción del tiempo de reacción de los UAV frente a las formas tradicionales de inspección de incendios es importante al para minimizar la expansión y controlar los conatos, el uso de esta tecnología también minimiza las pérdidas humanas y disminuye los costos de operación. Al ser varios equipos que se encuentran en vuelo simultáneamente, las áreas de inspección son significativamente mayores que las que se pudieran analizar con vehículos convencionales.

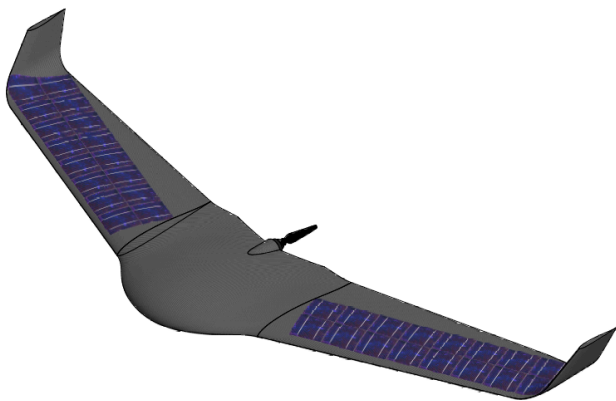


Figura 4. Vista Isométrica realista del diseño propuesto, sistema modular desarmable para transporte, todos los componentes distribuidos internamente para protegerlos de las altas temperaturas externas.

Como una aplicación alternativa usando la misma configuración propuesta del avión para realizar la detección de fuego, es posible con ligeras modificaciones cambiar el uso de la aeronave para aplicaciones civiles, policivas y militares tanto urbanas como rurales tales como seguridad ciudadana (observación y vigilancia cercana), vigilancia de movimientos y eventos ciudadanos (seguimiento de sospechosos,

manifestaciones públicas, vigilancia de zonas problemáticas), Vigilancia y control de actividades ilícitas en el ámbito de narcotráfico, obtención de datos por medio de fotografía aérea, información para trazabilidad, análisis y proyecciones en inundaciones y desplazamiento de tierra (atención de desastres).

VIII. NORMATIVIDAD

En Bogotá, La información suministrada por el UAV puede ser procesada y analizada por personal en tierra, quienes pueden activar el Sistema Distrital de Prevención y Atención de Emergencias (SDPAE) de acuerdo a los requerimientos, la Unidad Administrativa Especial Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá como responsable es el encargado de cumplir los alcances establecidos en los Decretos 332 de 2004 y 146 de 2005.

Puesto que las alertas serán enviadas automáticamente por la aeronave una vez detecte fuego y esta alerta será enviada tanto al centro de control como a un servidor en la nube de Internet, esta última puede asociarse para que retroalimente el Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias como parte del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres establecido en el decreto 2434 de 2015 de MinTIC.

La Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital (IDECA) en su colección de mapas muestra que las zonas susceptibles a incendios forestales no solo se concentran en los cerros orientales, sino que localidades como Usme, Ciudad Bolívar, Suba y zonas rurales de Sumapaz son zonas que se encuentran dentro de la jurisdicción de Bogotá que deben tenerse en cuenta para vigilancia en incendios.

Con respecto a los vuelos realizados por el UAV, estos deben someterse a las directrices estipuladas en la Circular Reglamentaria No. 002 Aeronáutica Civil de Colombia, Requisitos Generales de Aeronavegabilidad y Operaciones para RPA de la AEROCIVIL, donde se estipulan las condiciones para la operatividad de estos sistemas.

IX. CONCLUSIONES

El diseño presentado supera los requerimientos de alertas de incendios, al ser autónomo en vuelo y requerir mínima intervención humana. La configuración propuesta promueve el conocimiento en varias ramas del conocimiento tales como tecnologías emergentes, UAV, energía solar fotovoltaica, tecnologías de híbridas-eléctricas, reconocimiento y procesamiento de imágenes, inteligencia artificial, mapeo geográfico por software y creación de hardware y software para aplicaciones específicas, entre otras ventajas que tiene incentivar en desarrollo y producción de prototipos aéreos no tripulados en Colombia y generar tecnología en la región para dichas aplicaciones.

Las ventajas se uso de aviones no tripulados en contraste con drones son superiores en cuanto a autonomía de vuelo, distancia radio de acción, capacidad de carga útil y disponibilidad en tecnología en combustible. El UAV en vuelo envía información de incendios en tiempo real por medio de

comunicación directa con el centro de control y servidores en la nube. Con vuelos regulares se puede obtener información completa que puede ser empleada para estudios rurales, urbanos, de desastres como desplazamientos de tierra e inundaciones entre múltiples usos adicionales tanto para el uso de los UAV como de la información obtenida de ellos.

Al para minimizar la expansión de incendios y controlar los conatos, el uso de esta tecnología también minimiza las pérdidas humanas y disminuye los costos de operación. Al ser varios equipos que se encuentran en vuelo simultáneamente, las áreas de inspección son significativamente mayores que las que se pudieran analizar con vehículos convencionales.

La aeronave al tener una altura y velocidad de vuelo mayor a la de la mayoría de las aves nativas de los bosques, minimiza la posibilidad de afectar negativamente los ecosistemas y es mínimamente invasivo para flora y fauna local.

REFERENCIAS

- [1] *Plan de manejo de la reserva forestal protectora Bosque Oriental de Bogotá*. (Abril de 2006). Bogotá: Corporación autónoma regional de Cundinamarca.
- [2] Ramirez, H., Mesa, C., García, C., & Valero, R. (abril de 2015). *¡Así se viven los Cerros! Experiencias de habitabilidad*. Bogotá: Secretaría Distrital de Planeación.
- [3] Carballas Fernández, T. (n.d.). Los incendios forestales. *Instituto De Investigaciones Agrobiológicas De Galicia*. Carballas Fernández, T. (n.d.). Los incendios forestales. *Instituto De Investigaciones Agrobiológicas De Galicia*.
- [4] *Plan de manejo de la reserva forestal protectora Bosque Oriental de Bogotá*. (Abril de 2006). Bogotá: Corporación autónoma regional de Cundinamarca.
- [5] Escuela Nacional de Protección Civil - Mexico. (2015). *Nociones Básicas de Prevención de Conato de Fuego* [Brochure]. Mexico, Mexico: Author.
- [6] Larsson, V., & Johannesson, L. (2014, June). Commuter Route Optimized Energy Management of Hybrid Electric Vehicle. *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, 15, 3rd ser., 1145-1154.
- [7] Calvo, C., Herranz, F., & Calvo, P. (2014). *Perfiles IDS - De los UAV a los RPAS*. Madrid: Information & Design Solutions S.L.
- [8] Noll, T., Brown, J., Perez-Davis, M., Ishmael, S., & Gaier, M. (2004, January). Investigation of the Helios Prototype Aircraft. *Mishap Report - NASA*.
- [9] Schomann, J. (2014, July 11). Hybrid-Electric Propulsion Systems for Small Unmanned Aircraft. *TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN*, 1-188.
- [10] Lieh, J., Behbahani, A., Spahr, E., & Hoying, J. (2011, August 03). Design of Hybrid Propulsion Systems for Unmanned Aerial Vehicles. *47th AIAA Joint Propulsion Conference & Exhibit*.
- [11] Capata, R., Marino, L., & Sciubba, E. (2014). A hybrid propulsion system for high-endurance UAV: Configuration selection, aerodynamic study and gas turbine bench tests. *NRC Research Press*, 2.
- [12] Adiprawita, W., & Suwandi, A. (2007, October 24). Unmanned Aerial Vehicle Instrumentation for Rapid Aerial Photo System. *ICIUS 2007*.
- [13] Gomes, P., Santana, P., & Barata, J. (2014, June 18). A Vision-based Approach to Fire Detection. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. doi:10.5772/58821