

Análisis bibliométrico del potencial de los UAV (Vehículos Aéreos no Tripulados) en la evaluación y mitigación de incendios forestales

Camilo Andrés Garzón¹

Abstract

This article reviews scientific literature on the potential of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the assessment and mitigation of forest fires. The study aims to collect data on scientific publications, time frequencies and theoretical and methodological research references. For this purpose, the academic databases Scopus and SpringerLink were used, carrying out a methodology with standardized phases of collection, analysis, visualization and synthesis. The conclusions of scientific advances in the prevention and control of forest fires show a diverse spectrum in the application of innovative tools. These include sensors backed by artificial intelligence, high-resolution imagery, and deep learning algorithms, which facilitate more agile and effective decisions in disaster management. In addition, in the event of these events, UAVs are used to fly over inaccessible areas, equipped with sensors that measure air quality and materials designed to contain the fire. Finally, the use of these aircraft makes it possible to assess damage in difficult terrain, thus contributing to the design of strategies for the regeneration of severely affected ecosystems over various periods. However, this area of research continues to present a vast horizon of opportunities to improve the methods used today due to the relentless technological progress that promises to amplify our capacity to respond to these disasters.

Keywords: bibliometric analysis; unmanned aerial vehicle (UAV); Forest fire; fire mitigation and evaluation.

Resumen

Este artículo hace una revisión de la literatura científica sobre el potencial que tiene de vehículos aéreos no tripulados (UAV) en la evaluación y mitigación de incendios forestales. El estudio tiene el objetivo de recopilar datos sobre las publicaciones científicas, las frecuencias temporales y los referentes teóricos y metodológicos de investigaciones. Para tal fin, se utilizaron las bases de datos académicas Scopus y SpringerLink efectuando una metodología con fases estandarizadas de recopilación, análisis, visualización y síntesis. Las conclusiones de los avances científicos en la prevención y control de incendios forestales, muestran un espectro diverso en la aplicación de herramientas innovadoras. Entre ellas, se destacan los sensores respaldados por inteligencia artificial, las imágenes de alta resolución y los algoritmos de aprendizaje profundo, que facilitan decisiones más ágiles y efectivas en la gestión de desastres. Además, en el caso de que se produzcan estos eventos, las UAV se utilizan para sobrevolar áreas inaccesibles, equipadas con sensores que miden la calidad del aire y materiales diseñados para contener el fuego. Por último, el uso de estas aeronaves permite evaluar los daños en terrenos difíciles, contribuyendo así al diseño de estrategias para la regeneración de ecosistemas gravemente afectados a lo largo de diversos períodos. No

¹ Universidad Santo Tomás

obstante, este ámbito de investigación sigue presentando un vasto horizonte de oportunidades para mejorar los métodos que se emplean hoy en día debido al incesante progreso tecnológico el cual promete amplificar nuestra capacidad de respuesta ante estos desastres.

Palabras clave: análisis bibliométrico, vehículo aéreo no tripulado (UAV), incendio forestal, mitigación y evaluación de incendios.

INTRODUCCIÓN

El fuego tiene un papel relevante en la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas terrestres, pero cuando se propaga sin control en selvas o bosques contribuye directamente a la contaminación atmosférica y pérdida de biodiversidad (WWF, 2004). Los incendios forestales representan uno de los agentes de perturbación medioambiental más influyentes que afectan la distribución, las propiedades y las funciones de los entornos naturales (Trotta et al., 2024), la ocurrencia de estos se encuentran influenciados por una conjugación de diversos factores, principalmente climáticos y sociales (Rodríguez et al., 2008), a nivel mundial los incendios forestales generan deterioro de la calidad de las aguas, mortalidad animal, interferencia en la sucesión vegetal, reducción de materia orgánica y micrororganismos, acidez del suelo, cambios en los ciclos biogeoquímicos, impactos en cultivos agrícolas como también afectaciones en la salud humana de las poblaciones circundantes al lugar de la ignición (Santelises & Guerrero, 2023).

Aproximadamente entre 340 y 370 millones de hectáreas de superficie del planeta se queman a causa de incendios forestales cada año. En torno al 20% de la superficie quemada total se encuentra en los bosques y el 80 %, en zonas de pastizales, sabanas y matorrales (FAO , 2022). Los daños y pérdidas totales provocados por los incendios forestales (de carácter económico, social, cultural y ambiental) duran días, semanas, e incluso años (Plana Bach et al., 2016), sin embargo, estos continuarán ocurriendo por lo que es necesario seguir avanzando en la búsqueda de nuevas alternativas de educación y prevención de incendios, el reconocimiento del rol benéfico del fuego bajo un uso responsable, la recolección, evaluación e intercambio de experiencias en información global sobre incendios, y un impulso al desarrollo y fortalecimiento de políticas nacionales (Castillo et al., 2003)

Las herramientas convencionales de detección de incendios que dependen de detectores de humo o calor sufren de baja precisión y largos tiempos de respuestas (Cintra et al., 2020), así que, una alternativa viable consiste en una verdadera acción colectiva para reducir la actual siniestralidad apoyándose en el uso de la tecnología y su aplicación tanto en el antes, durante o después de la ocurrencia de las conflagraciones (Hernández, 2023). Un enfoque sistemático y holístico de la gestión de incendios debe tener como objetivo entender el contexto, la situación y los actores implicados (Villers, 2006), esto se puede realizar a partir de la recopilación de datos y el desarrollo de algoritmos capaces de procesarlos y ofrecer soluciones, por medio del análisis datos climáticos, niveles de

humedad y otros factores relevantes que permitan predecir las posibilidades de ocurrencia de incendios forestales y tomar acciones para prevenirlos (Saggia, 2023).

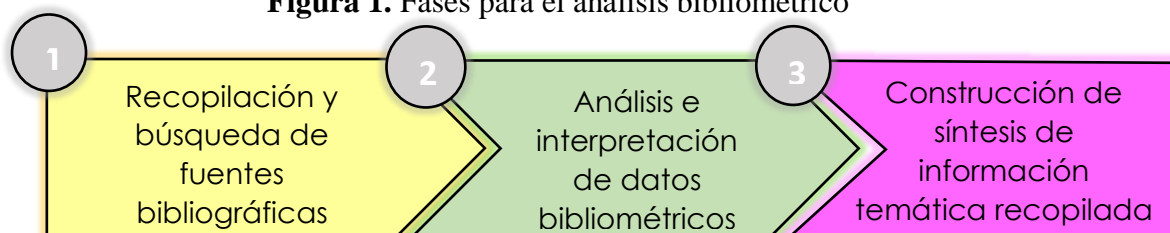
El avance de tecnologías emergentes ofrece nuevas posibilidades para desarrollar modelos analíticos avanzados para mejorar la eficacia de las medidas preventivas y la respuesta ante incendios forestales, por ello, una de las mejores opciones tecnológicas para implementarlas en las localizaciones geográficas propensas a presentar dicho fenómeno estos son los UAV (Unmanned Aerial System) conocidos también como drones, los cuales permiten probar métodos de análisis de datos mediante parámetros de monitoreo ambiental de diversas variables del entorno (Martínez, 2023), por otro lado, también detecta distintas variaciones en el área de estudio por medio del aumento de cobertura visual precisa permitiendo a su vez monitorear zonas de difícil acceso ofreciendo una guía para el trazo de rutas precisas que contribuyan a la optimización de tiempos y recursos en la obtención de información (Fuentes et al., 2024).

Por esta razón, debido a sus diversas aplicaciones en campo es fundamental conocer e interpretar el aporte de diversas experiencias que permitan generar un marco de análisis bibliométrico donde se valore la actividad y el impacto tanto de la investigación como de las fuentes bibliográficas empleadas, con el fin de identificar el estado real del número y distribución de publicaciones, productividad, dispersión de las publicaciones, colaboración en las publicaciones, vida media de la citación o envejecimiento, conexiones entre autores, entre otros (Escorcia, 2008). Con la ayuda de esta revisión exhaustiva y minuciosa mediante indicadores que medirán los mayores avances científicos a partir de la comparación en aportes de autores, territorios y conceptos claves que se han realizado para obtener soluciones más eficientes para la gestión de incendios forestales con ayudas tecnológicas, sintetizando las ideas y argumentos principales de esta temática investigativa.

METODOLOGÍA

La construcción del análisis bibliométrico se efectuó mediante el recuento de las publicaciones existentes con el fin de estudiar las características del uso y creación de documentos relacionados con la utilización de UAV en incendios forestales, mediante la aplicación de métodos estadísticos utilizados como marco de referencia para el análisis de la información recolectada, el proceso investigativo se dividió en tres fases secuenciales (figura 1) centradas en la recopilación interpretación y síntesis de los datos que contribuyeron al alcance del objetivo inicial del presente artículo (Solano et al., 2009).

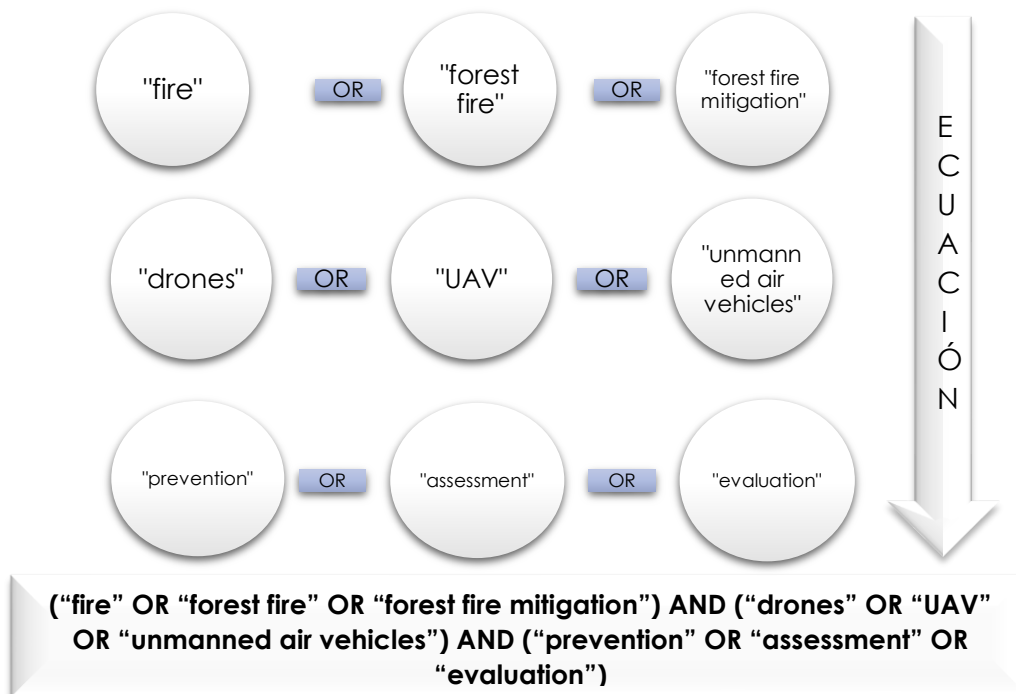
Figura 1. Fases para el análisis bibliométrico



Fuente: elaboración propia

La primera fase consistió en determinar cuáles bases de datos eran las más pertinentes a la de obtener de la mayor cantidad de datos posibles para su posterior análisis y comparación de la información encontrada. Con la indagación minuciosa efectuada entre varios motores de búsqueda académicos los escogidos para realizar el estudio fueron Scopus que es considerada como la mayor base de datos de citas y resúmenes de literatura arbitrada y de fuentes de alta calidad disponible para Latinoamérica y Springer Link que permite acceder a recursos y contenidos que integran la colección en línea de libros, revistas, obras de referencia, protocolos y bases de datos de ciencia, tecnología y medicina (Cañedo et al., 2010), adicionalmente poseen herramientas estadísticas que facilitan el seguimiento y visualización de las diversas investigaciones académicas a analizar. Para poder encontrar la información necesaria para la construcción del artículo se empleó una ecuación de búsqueda (figura 2) a partir de palabras clave como “fuego”, “incendio forestal”, “UAV” y “drones” en sus formas singular y plural, presentes en el título, el resumen o las palabras clave de las publicaciones.

Figura 2. Ecuación de búsqueda con palabras clave



Fuente: elaboración propia

Se emplearon operadores booleanos que son fundamentales para conectar las palabras de búsqueda con el fin de estrechar o ampliar los resultados entorno a términos vinculados que tienen el propósito de afianzar el fundamento lógico que presenta la búsqueda relacionada con la implementación de drones como también de incendios forestales garantizando así la recolección de la mayor cantidad de artículos que estén relacionados con la utilización de aeronaves no tripuladas (UAV) en incendios forestales, dicha

indagación se centró en un determinado lapso de tiempo que va desde el año 2010 hasta la actualidad.

En cuanto la segunda fase, esta consistió en realizar un análisis descriptivo de los datos recopilados a partir de las gráficas generadas por las bases de datos mediante distintas categorías que permiten ayudar a comprender, estudiar y analizar la estructura conceptual y comportamientos de las publicaciones que tienen que ver con las ya mencionadas palabras clave. Estas categorías consisten en analizar el número de documentos por año, documentos por autor, tipos de documentos y áreas del conocimiento relacionadas, cabe mencionar que los indicadores están relacionados entre sí lo que permite interpretar los descubrimientos de una manera holística (Massimo & Corrado, 2017).

Para evaluar la relevancia de las publicaciones, se descargaron en formato de lista en Excel y se filtraron para seleccionar aquellas provenientes de revistas con enfoque geográfico y aquellas escritas por autores afiliados a instituciones geográficas para posteriormente examinar los títulos de las publicaciones resultantes determinando su pertinencia al tema de incendios forestales. Con esta información recopilada se efectuó la interpretación de los hallazgos mediante un enfoque descriptivo con el ánimo de establecer comportamientos temporales de las investigaciones asociadas al tema central de este estudio, así como en identificar las tendencias en las categorías convencionales relacionadas con los países, las áreas del conocimiento y de cierto modo sentar las bases teóricas que fijan las recomendaciones de futuras investigaciones en el campo de interés y que siguiendo un razonamiento deductivo aproximen al investigador a una comprensión particular sobre su campo de estudio.

Por último, la tercera fase consistió en realizar una síntesis de las investigaciones relacionadas con el uso de los UVA en la mitigación, prevención y extinción de incendios forestales y los avances que han realizados diversos autores frente al empleo de herramientas tecnológicas que logran predecir, determinar y prevenir incendios forestales en diversos territorios mediante información estadística y probabilística recolectada clave que no solo aporta información académica sino que esto puede contribuir a la construcción de una red mucho mayor de conocimiento que permita dar soluciones efectivas y plausibles a este fenómeno que afecta gran parte de ecosistemas claves para el sostenimiento de muchas especies a nivel global.

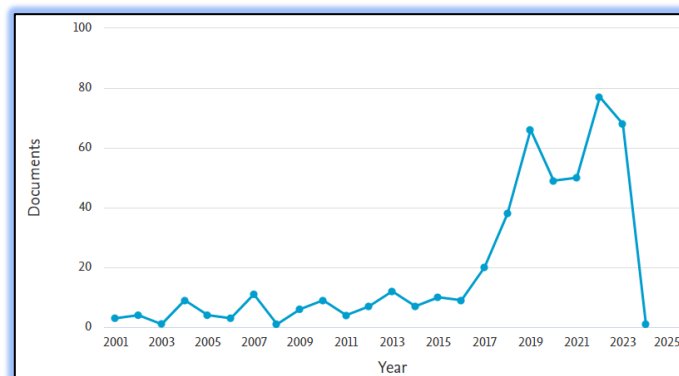
Resultados

En total se identificaron 469 documentos publicados obtenidos a partir de la base de datos Scopus. Por otro lado, la plataforma SpringerLink, muestra un total de 181 documentos pertinentes a la temática de incendios forestales. Scopus, detalla las categorías de documentos por año, autor, año y fuente, país o territorio, afiliación, tipo de documento y área temática. En cuanto la segunda base de datos, aborda las categorías de tipo de contenido, idiomas, disciplinas y subdisciplinas asociadas a los documentos identificados. Ambos conjuntos de resultados abarcan un período desde el año 2000 hasta la actualidad, utilizando la misma ecuación de búsqueda.

Documentos por año

La cantidad de documentos por año ofrece datos cuantitativos acerca de la producción científica a lo largo del tiempo, lo que resulta esencial para comprender la evolución y la actividad de un campo de investigación específico (Colmenares & Piñero, 2008). Se puede observar un aumento significativo en el número de textos relacionados con el tema de interés de este estudio a partir del año 2016 con un decrecimiento entre los años 2020 y 2021, teniendo posteriormente el mayor número de documentos cercanos a los 80 en el periodo del 2022-2023. En el periodo del 2016 a 2023 se contabilizan 378 publicaciones, registrándose en el 2023 el mayor número de publicaciones, alcanzando un total de 79 (Figura 1).

Figura 1. Documentos por año

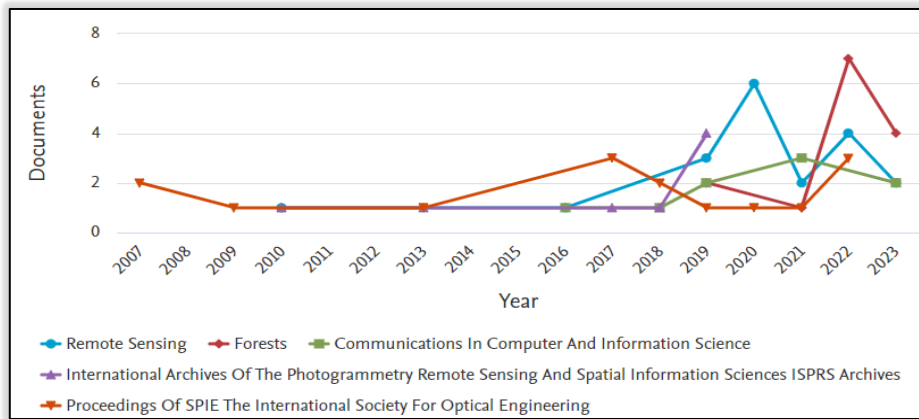


Fuente: Scopus, 2023

Documentos por año y fuente

Scopus permite examinar las tendencias en los resultados obtenidos en la búsqueda bibliográfica a través del cálculo de los indicadores de productividad, posibilitando su visualización directa a través de la creación automática de gráficas (Suárez & Pérez, 2018). El mayor número de registros están conexos a la fuente de Sensores remotos (Remote sensing), con 19 documentos que en su mayoría fueron publicados después del año 2016, la siguiente fuente con mejores registros es Actas de la Sociedad Internacional de Ingeniería Óptica, con 15 documentos y a su vez es la fuente con mayor antigüedad de publicaciones en el tema que datan del año 2000 e incluso años anteriores. La fuente que registra un mayor crecimiento durante los últimos años es Forests con 14 publicaciones, siendo el año 2022 el que registra mayor número de estas (Figura 2).

Figura 2. Documentos por año y fuente

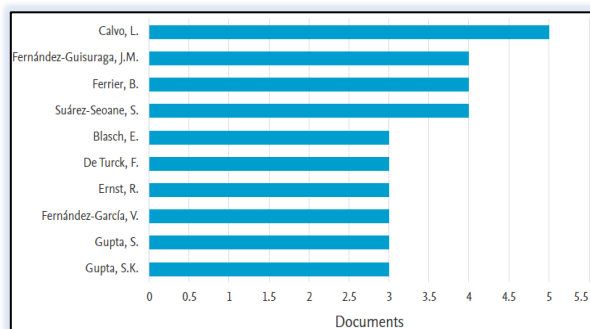


Fuente: Scopus, 2023

Documentos por autor

Esta categoría permite identificar a los investigadores con mayor producción intelectual, evaluar las investigaciones conjuntas, determinar la experiencia y revisar la influencia académica de cada autor en el campo de estudio (González et al., 2023). En primer lugar, se encuentra la investigadora Calvo, Leonor G. de la Universidad de León (España) con un total de 5 publicaciones relacionadas con la evaluación del estado del suelo mediante imágenes espaciales después de incendios (Calvo et al., 2023). Luego le siguen los textos escritos por Fernández José, del CITAB (Portugal) asociadas a estimar la huella de los grandes incendios forestales con teledetección e imágenes obtenidas con UAV (Fernández-Guisuraga et al., 2023). Por último, dentro de los otros temas generales que abordan los restantes autores se encuentran: la evaluación del sistema de aeronaves no tripuladas (UAS) para helicópteros a bordo de barcos de la Marina de los EE. UU, operaciones de exploración de incendios, uso de UAV para el seguimiento de daños forestales (figura 3).

Figura 3. Documentos por autor



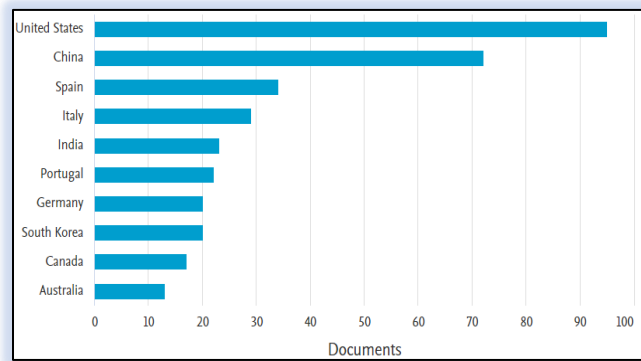
Fuente: Scopus, 2023

Documentos por países o territorio

Esta categoría brinda un panorama sobre los territorios más participativos en términos de contribución investigativa (Ricoy, 2006). Estados Unidos es el país que lidera con el mayor número de divulgaciones científicas, con un total de 95 publicaciones. Le siguen China con 72, España con 34, Italia con 29, India con 23, Portugal con 22, Alemania y

Corea del sur con el mismo número de publicaciones registran 20, Canadá 17 y el último país es Australia que reporta 13 (Figura 4).

Figura 4. Documentos por países o territorio

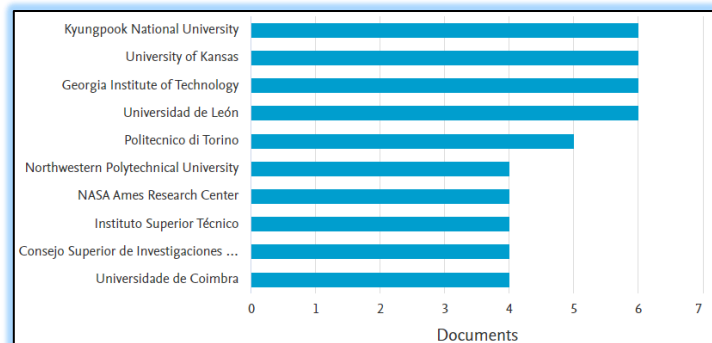


Fuente: Scopus, 2023

Documentos por afiliación institucional

Este indicador identifica y agrupa las instituciones en las publicaciones, asignando un único identificador (ID de Afiliación), facilitando la diferenciación entre instituciones de nombres similares (Biblioteca Computense, 2024). En cuanto a las filiaciones institucionales de los autores se puede observar que la Universidad Nacional de Kyungpook de Corea del Sur, la Universidad de Kansas y el Instituto Tecnológico de Georgia en los Estados Unidos y la Universidad de León en España lideran en número y frecuencia las publicaciones (Figura 5).

Figura 5. Documentos por afiliación institucional

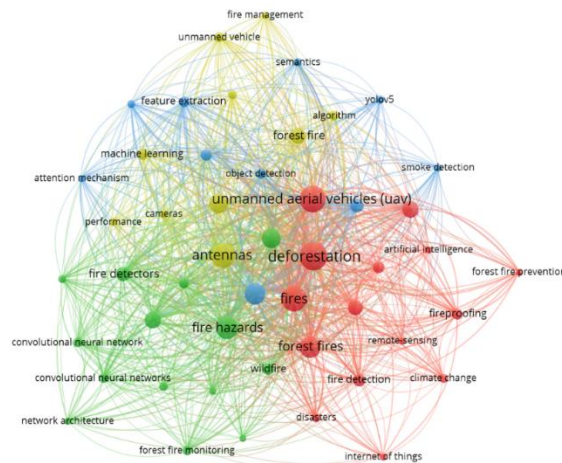


Fuente: Scopus, 2023

Cocurrencias de palabras clave

Este análisis abarcó publicaciones de los años 2023 y 2024, con el objetivo de capturar la evolución y las tendencias actuales en el campo de investigación. Se logró identificar términos fundamentales que reflejan los enfoques emergentes y las áreas de interés de la comunidad científica. Entre estas palabras clave están "deforestation", "unmanned aerial vehicles (UAV)", "fires", "forest fires", "fire detection", "fire hazards", entre otras. En conclusión, las tendencias y áreas de interés en la investigación sobre incendios forestales, se destaca el papel crucial de tecnologías innovadoras y enfoques interdisciplinarios en la búsqueda de soluciones sostenibles y eficaces (figura 6).

Figura 6. Mapa de red de coocurrencias de palabras claves



Fuente: VOSviewer, 2023

Los resultados obtenidos a partir de esta base de datos SpringerLink muestran las categorías de tipo de contenido, idiomas, disciplinas y subdisciplinas (Tabla 1). Se registraron un total de 181 publicaciones, restringiendo la búsqueda únicamente a los textos de tipo artículo.

Tabla 1. Categorías y número de publicaciones en la base de datos SpringerLink

Categoría	Tipo de contenido		Idiomas		Disciplinas		Subdisciplinas	
Número de publicaciones	artículos	181	Inglés	179	Ingeniería	51	Ingeniería civil	26
					Ciencias de la tierra	34	Gestión ambiental	25
					Medio ambiente	23	Inteligencia Artificial	21
	otros	0	Alemán	4	Ciencias de la computación	21	Peligros naturales	19
					Negocios y gestión	8	Geofísica y geodesia	17
					Ciencias de la vida	7	Ecología	16

Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados

La revisión de literatura, arrojó que las publicaciones relacionadas con la prevención de incendios forestales mediante la técnica de UAV, surgen como respuesta para la mejora de herramientas para el monitoreo de la regeneración forestal representando un avance importante para la conservación de ecosistemas con un enfoque simplificado y de bajo coste económico (Brotóns & Asier, 2019). Además, los investigadores se han preocupado por emplear varias técnicas que convierten el manejo de incendios en una herramienta integral utilizando los avances tecnológicos emergentes.

Los sensores LiDAR, pueden obtener datos cruciales para el monitoreo de incendios en tiempo real integrando inteligencia artificial y algoritmos de aprendizaje profundo

optimizando tareas de monitoreo, predecir el comportamiento del fuego y contribuir a la toma de decisiones rápidas y efectivas (Shouthiri, 2021). No obstante, existen otras herramientas complementarias como lo es la base de datos de incendios forestales denominada UAVsFFDB, caracterizada por su composición de colección de imágenes en bruto RGB de alta resolución, capturadas con una cámara RaspiCamV2 y datos aumentados, esto no solo mejora la diversidad del conjunto de datos, sino que también garantiza una mayor exhaustividad a los modelos para la detección de incendios (Najmul et al., 2024).

Lo anterior indica que la creación de una base de datos es fundamental para el desarrollo de técnicas encaminadas a la detección temprana de incendios y la evaluación de daños, integrando redes convolucionales de grafos (GCN) basada en superpíxeles (SCGCN), no solo aporta a la mejora de las técnicas de detección y segmentación de incendios, sino que también representa un avance significativo en el uso de GCN para aplicaciones prácticas en la gestión de desastres (Chen et al., 2023). Por otra parte, se resalta la importancia en la aplicación de otras alternativas que combina sensores IoT para crear un sistema robusto y eficiente que promete mejorar la vigilancia y prevención de incendios forestales de un área determinada en tiempo real (Puttapirat et al., 2024)

En cualquier caso, la utilización de drones no es solo una alternativa innovadora y reciente, sino que mejora procesos como lo son los incendios prescritos utilizados para prevenir incendios forestales de mayor envergadura (Fernández & Fernandes, 2024), mediante la ayuda de UAV equipado con una cámara multiespectral Parrot SEQUOIA la cual obtiene imágenes fundamentales para evaluar el impacto en la vegetación y el suelo por medio de algoritmos de redes neuronales probabilísticas (PNN) que contribuyen con la clasificación, eficacia y precisión de niveles de gravedad de las quemaduras (Calvo et al., 2020). El uso de la ignición aérea por UAV ha demostrado ser una alternativa de seguridad que se fue perfeccionando a lo largo de los años con el avance de la tecnología de comunicación y geoposicionamiento (Craycroft & Schweitzer, 2024).

Sin embargo, los autores han investigado otras estrategias para combatir las conflagraciones una vez ocurran, como lo es el caso de la teledetección donde ha surgido como una de las estrategias más efectivas para combatir incendios forestales usando UAV (Rosero, 2019). Esta técnica permite analizar imágenes y reconocer patrones indicativos

de fuego o humo, la implementación de este método no solo contribuye a una gestión más efectiva de los incendios, sino que también promueve un enfoque más seguro y proactivo en la protección del medio ambiente (Patel et al., 2023). La integración de tecnologías avanzadas de teledetección y la recolección de datos de múltiples fuentes están revolucionando la forma en que se abordan los incendios forestales, pues no solo mejora la capacidad de respuesta ante emergencias, sino que también proporciona herramientas efectivas para la investigación y prevención, ayudando a mitigar los efectos devastadores de los incendios (Yungang & Ruodan, 2024).

Cabe aclarar que aún existen grandes desafíos que enfrentar entorno a la gestión centralizada de manejo de incendios y las estrategias tradicionales de optimización, como el tiempo de respuesta, la vulnerabilidad a fallos y los costos asociados (Calvo et al., 2024), sin embargo, existen esfuerzos evidenciados en investigaciones que integran varias herramientas esenciales para la mejora en la respuesta de estos desastres naturales, como lo es el sistema de Internet de nodos encaminado UIoT, para la detección, monitoreo y control a través de un ejercicio de mapeo de terreno, capaz de identificar con filtros de partículas el foco del incendio en el encuadre, donde la información es procesa en un servidor back end en la nube, que se encarga del monitoreo, análisis y generación de informes (Montaser et al., 2024).

En otro sentido, los UAV poseen grandes ventajas relacionadas con patrullajes autónomos que envían datos en tiempo real, como lecturas de sensores e imágenes térmicas, a una estación base cercana al detectar un incendio, donde existe la presencia de sensores de calidad del aire (AQS), los cuales supervisan incendios en sus fases iniciales para evitar que se propaguen (Rjoub et al., 2022). En este contexto, también ofrece beneficios relacionados con el transporte de materiales para extinción debido a su facilidad para acceder a áreas remotas que facilita la descentralización, garantizando la inmutabilidad de los datos y el registro de misiones en un sistema de información blockchain (Feng et al., 2022).

Los investigadores también buscan entender ciertos factores, como el tipo y cantidad de combustible vegetal, influyen en la severidad de los incendios y su comportamiento extremo; resulta esencial para la gestión del territorio y el aumento de la resiliencia de los ecosistemas comprender estos patrones y dinámicas, para desarrollar acciones efectivas

de manejo de conflagraciones (Calvo et al., 2024). La creciente amenaza de incendios forestales de alta severidad en los ecosistemas exige la implementación de planes eficaces para evaluar y gestionar el riesgo de estos eventos, es por ello, que se están que se realiza la recolección de datos hiperespectrales de PRISMA obtenidos mediante satélite, junto con los Inventarios Forestales Nacionales (IFN) para mejorar las evaluaciones sobre la severidad de incendios y optimizar la planificación y gestión de servicios forestales (Fernández et al., 2024).

Para abordar los desafíos futuros, se han realizado investigaciones orientadas a enfoques que permiten a los UAV recolectar la información necesaria de manera oportuna dentro de un área de desastre (Pacheco, 2022). La estrategia consiste en dividir la zona afectada en varias subáreas de igual tamaño, allí se evalúa según su nivel de riesgo, apoyándose en un mapa de riesgo de incendio que ayuda a optimizar las rutas de patrullaje de los UAV con mayor precisión, los resultados se sustentan en una serie de simulaciones realizadas utilizando conjuntos de datos reales, que demuestran la eficacia del método propuesto ante la respuesta a los incendios (Demir et al., 2024).

Es este orden de ideas, el abordaje investigativo desde otras disciplinas es esencial para entender la secuencia de eventos que tuvieron lugar en un sitio determinado y esto se logra por medio de la estadística que permite diseñar un sistema de predicción probabilística, con el objetivo de proporcionar información sobre el riesgo y la probabilidad de ocurrencia de un incendio forestal en un área geográfica determinada por medio de la implementación y uso de sensores que miden factores ambientales clave como lo son la humedad, temperatura y oxígeno (Mekala et al., 2023). La lucha contra los incendios forestales se puede realizar mediante modelos matemáticos siguiendo la distribución de Poisson que genera números aleatorios que cumplan con dicha distribución para la simulación usando un algoritmo que equilibra el rendimiento y la precisión de una posible catástrofe (Niu, 2021).

Tolo lo anterior se realiza con el objetivo de analizar la relación entre el régimen de incendios y la recuperación del verdor de los ecosistemas se caracterizan diversas particularidades como lo son atributos espaciales en los que se encuentran tamaño de la ignición, que puede influir en la capacidad de recuperación del ecosistema, atributos temporales donde se examinan el número de incendios, la recurrencia de los mismos y el

intervalo de retorno y atributos de magnitud que calculan la severidad de la quema del último incendio es un aspecto crítico medido por el índice espectral dNBR (diferencia de la tasa de quema normalizada), que proporciona una evaluación detallada del impacto del incendio (Calvo et al., 2018).

Lo anterior se logra mediante otros instrumentos que impulsan el aprendizaje profundo para evaluar daños y apoyar los esfuerzos de reforestación, mediante la incorporación de cámaras térmicas en drones, lo que mejora considerablemente la sensibilidad en la detección de incendios (Yandouz et al., 2024). La cámara multispectral Parrot SEQUOIA, para la obtención de ortomosaicos multispectrales tiene el propósito de monitorear áreas quemadas grandes y heterogéneas permitiendo una evaluación más efectiva de la regeneración del ecosistema post incendio (Fernández et al., 2018). Por último, se ha desarrollado otro enfoque que se compone por la red neuronal convolucional modificada YOLO junto con un enfoque de distancia Euclidiana-Mahalanobis que da como resultado imágenes más claras y utilizables para la detección, eliminando información no relevante, como áreas cubiertas de nubes (Abramov et al., 2024).

La evidencia científica, afirma que no solo se puede obtener información por imágenes por parte de los drones, sino que se están implementando herramientas para la detección de incendios y extinción el fuego de forma directa puesto que los drones presentan una versatilidad tal que pueden ser equipados con agentes extintores (agua, espuma y/o retardantes), lo que facilita que se adapten a cualquier tipo de incendios (Aydin, 2019). Aplicando el enfoque sistemático de enjambres de UAV, estructurada en varias etapas clave propuesto utiliza técnicas avanzadas como la optimización de enjambre de partículas (PSO) y el algoritmo de colonia de abejas artificial (ABC) para generar rutas optimizadas, permitiendo que los UAV naveguen eficazmente por entornos forestales 3D, mejorando su capacidad para responder a múltiples incendios en terrenos complicados. (Xiaohong & Chen, 2024).

La extracción de información y fusión de características, en escenarios difíciles, se puede teledetectar con la ayuda de un modelo llamado LUFFDYOLO el cual utiliza técnicas avanzadas como el uso de GhostNetV2 que mejora la convolución convencional en YOLOv8n, reduciendo el número de parámetros y optimizando la eficiencia, empleando a su vez las estructuras C2f mejorada (ESDC2f), diseñada específicamente para detectar

incendios forestales pequeños, lo que es crucial en entornos con fondos complejos y C2f jerárquica (HFIC2f) la cual Permite una mejor respuesta (Han et al., 2024)

En consecuencia, la investigación científica orientada al manejo de los incendios forestales mediante el uso de UAV (Unmanned Aerial Vehicle) ha crecido en los últimos años debido a la versatilidad y oportunidades en la creación de contenidos orientados a estrategias que permitan ser desarrolladas en las distintas etapas de prevención, mitigación, extinción y evaluación después de la ocurrencia en diversas áreas a nivel mundial. Sin embargo, no es una temática estática sino que a partir de los enfoques anteriormente descritos se deben ir ajustando al ritmo del avance tecnológico pero también de los desafíos ambientales a los que la sociedad debe estar preparada para que las afectaciones económicas, ecológicas y culturales sean cada vez menores teniendo en cuenta que dichos eventos ocurrirán con más frecuencia y severidad.

CONCLUSIONES

- La revisión bibliográfica señala las áreas de las ingenierías, ciencias de la computación, matemáticas, ciencias biológicas, ambientales y agrícolas como las más interesadas en aportar al tema de la utilización de UAV en la prevención y evaluación de los incendios. En esta misma línea, se infiere que las investigaciones son interdisciplinarias y que, por tanto, la producción intelectual en torno al tema será más integral y útil.
- El aumento en el número de publicaciones sugiere un creciente interés de investigación en torno al uso de drones en eventos catastróficos como los son los incendios forestales.
- La tecnología de drones está siendo usada como una herramienta de prevención y evaluación de incendios, pero se requiere más información en torno a la utilización óptima de estos recursos in situ en el tiempo en que transcurre el evento, así mismo los estudios recomiendan evaluar la respuesta por parte de los organismos que atienden la emergencia usando las UAV.
- Los UAV además de ser útiles en detección de zonas críticas, contribuyen a su vez a dirigir los esfuerzos de los bomberos en la localización y control de puntos calientes, pueden servir en la detección, la contención y la extinción de este, agilizar tiempos de respuesta, suministrar imágenes que muestran propagación y la velocidad del fuego.

- Los drones son un instrumento potencial que puede ayudar a evaluar, cuantificar y analizar el riesgo de incendio ligado a la estructura de la vegetación, brindando herramientas para el razonamiento lógico en la toma de decisiones para preservar ecosistemas como los bosques, mediante técnicas de fotogrametría.

Bibliografía

- Abramov , N., Emelyanova, Y., Fralenko, V., Khachumov, V., Khachumov, M., Shustova, M., & Talalaev, A. (2024). Métodos inteligentes para la detección de incendios forestales mediante vehículos no tripulados Vehículos aéreos. *MDPI*, 1-21.
- Anupama , N., Selvaraj, P., Mohan , S., Ragavanantham, S., & Tag Eldin , E. (2023). Identificación de incendios forestales en imágenes de UAV con X-MobileNet. *MDPI*, 1-19.
- Aydin, B. (2019). Aceptación pública de los drones: conocimientos, actitudes y prácticas. *Elsevier*.
- Beltrán, D., Suárez, S., Fernández, M., & Calvo, L. (2024). Los atributos del régimen de incendios determinan las características de la vegetación preincendio que controlan el comportamiento extremo del fuego en diferentes biorregiones de España. *Assotiation fire ecology*, 1-22.
- Biblioteca Computense. (2024, Septiembre 10). *Biblioguía UCM*. Retrieved from Biblioguía UCM: <https://biblioguias.ucm.es/scopus/resultados-instituciones>
- Brotóns, L., & Asier , R. (2019). Índices de verdor a partir de imágenes de UAV de bajo costo. Herramientas para el seguimiento de la recuperación forestal post incendio. *MDPI*, 1-16.
- Calvo , L., Fernández , V., Quintano, C., Taobada, Á., Fernández, A., & Marcos, E. (2018). Teledetección aplicada al estudio del régimen de incendios, Atributos y su influencia en el verdor post incendio. *MDPI* , 1-19.
- Calvo, L., Fernández, M., Enterkine, J., Price, W., Dinkins, J., Jensen, S., . . . Arispe, S. (2024). Estimación de fracciones de biomasa de vegetación y hojarasca en pastizales utilizando conjuntos de datos de estructura a partir del movimiento y LiDAR de vehículos aéreos no tripulados. *Ecología agraria*, 1-19.
- Calvo, L., Hernández, V., Valbuena, L., & Taboada, Á. (2017). Procedencia y masa de semillas determinan tolerancia de semillas a altas temperaturas asociadas a incendios forestales en *Pinus pinaster*. *Annals of Forest Science*, 381-391.
- Calvo, L., Pérez, L., Quintano, C., Marcos, E., Suárez, S., & Fernández, A. (2020). Evaluación de incendios prescritos desde aviones no tripulados Imágenes y máquinas de vehículos aéreos no tripulados (UAV). *MDPI*, 1-11.

- Castillo, M., Pedernera, P., & Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. Santiago de Chile, Chile.
- Cintra, L., Nerob, A., Tembac, P., & Timbó, A. (2020). El uso de técnicas de teledetección por Modis Imágenes (MCD45A1) utilizadas para identificar y evaluar áreas quemadas en la región Metropolitana de Belo Horizonte MG, Brasil. *Sostenibilidad en debate* , 143-157.
- Colmenares, A., & Piñero , L. (2008). LA INVESTIGACIÓN ACCIÓN: Una herramienta metodológica heurística para la comprensión y transformación. *Redalyc*, 96-114.
- Craycroft, J., & Schweitzer, C. (2014). Estudio de caso de ignición mediante UAS de fuego prescrito en un bosque mixto en el Bosque Nacional William B. Bankhead, Alabama. *Association fire ecology* , 1-8.
- Demir, K., Tumen, V., Kosunalp, S., & Iliev, T. (2024). Un algoritmo de aprendizaje de refuerzo profundo para trayectorias Planificación de un enjambre de vehículos aéreos no tripulados para realizar tareas de reconocimiento de incendios forestales. *MDPI*, 1-18.
- Escorcía, T. (2008). El análisis bibliométrico como herramienta para el seguimiento de publicaciones científicas, tesis y trabajos de grado. Bogotá D.C., Bogotá D.C., Colombia.
- FAO . (2022). Los fuegos forestales y la plataforma mundial sobre el fuego. *COFO*, 1-6.
- Feng, H., Bai, Y., Arashpur, M., & Mahmudnia, D. (2022). Integración de drones y blockchain para gestionar incendios forestales en Regiones remotas. *MDPI*, 1-14.
- Fernández , M., & Fernandes, P. (2024). La quema prescrita mitiga la gravedad de los incendios forestales posteriores en los matorrales mediterráneos. *Assotiation fire ecology*, 1-17.
- Fernández, M., Fernández, A., & Quintano, C. (2024). Mapeo regional de riesgo de incendios de próxima generación: integración de imágenes hiperespectrales y Datos del Inventario Forestal Nacional para identificar puntos críticos de interfaces entre áreas silvestres y urbanas. *Elsevier*, 1-19.
- Fernández, M., Sanz, E., Suárez, S., & Calvo , L. (2018). Uso de vehículos aéreos no tripulados en situaciones posteriores a incendios. *MDPI*, 1-17.
- Fuentes, D., Rodríguez, M., & Anzola, J. (2024). Desarrollo de un Modelo de Estimación para la Prevención de Incendios Forestales. *UNINORTE*, 1-13.

- González, J., Verdú, E., Blanco, P., Herrera, A., & Serna, C. (2023). *Integración de herramientas para la evaluación de indicadores de publicaciones científicas*. Bogotá D.C.: Revista científica.
- Han, Y., Bingchen, D., Yang, G., & Zhen, Z. (2024). LUFFDYOLO: Un modelo ligero para teledetección con UAV Detección de incendios forestales basada en el mecanismo de atención y fusión de funciones de varios niveles. *MDPI*, 1-21.
- Hernández, L. (2023). *Prevención de incendios: La restauración como herramienta*. Madrid, España.
- Li, Y., Sharma, R., Ling, J., Ye, J., Lu, J., Zhang, J., . . . Zou, P. (2023). Avanzando en la evaluación del riesgo de incendios forestales: una metodología integrada Marco para visualizar riesgos de incendios forestales específicos de áreas utilizando Imágenes de UAV, técnicas de detección de objetos y mapeo de color. *MDIP*, 1-19.
- Martínez, J. A. (2023). *Uso de drones para el control y extinción de incendios forestales*. Cartagena , Bolívar, Colombia.
- Massimo, A., & Corrado, C. (2017). bibliometrix : una herramienta R para el análisis integral de mapas científicos. *Elsevier*.
- Mekala, M., Rizwan, P., & Khan, M. (2023). Computational intelligent sensor-rank consolidation approach for Industrial Internet of Things (IIoT). *IEEE INTERNET OF THING*, 2121-2130.
- Montaser , R., Basmaji, T., Gad, A., Hamdan, H., Tefvik Akgun, B., Mohammed , A., . . . Ghazal, M. (2024). Hacia la detección y prevención temprana de incendios forestales mediante drones con tecnología de inteligencia artificial y el IoT. *Elsevier*, 1-22.
- Najmul , M., Davood, A., Masumc, S., & Rabie, K. (2024). UAVsFFDB: un conjunto de datos de alta resolución para mejorar la detección y el monitoreo de incendios forestales mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV). *Elsevier*, 1-16.
- Niu, Z. (2021). Las soluciones sistemáticas sobre el “incendio” de Victoria. Cantidad y ubicación de los drones de emergencia. *Purpose LED publising*, 1-8.
- Ou, L., Chen, W., Liu, T., & Gao, D. (2023). Red convolucional de gráficos basada en superpíxeles para UAV Forest. Segmentación de imágenes de fuego. *MDPI*, 1-16.
- Patel, J., Bhusnoor, M., Patel, D., Mehta, A., Sainkar, S., & Mehendale, N. (2023). Vehículos aéreos no tripulados para extinción de incendios forestales Sistemas de detección: una revisión exhaustiva. *SRRN*, 1-9.

- Plana Bach, E., Bernet, M., & Serra Davos, M. (2016). Los incendios forestales. Cataluña, España .
- Puttapirat, P., Woradit, K., Hesse, H., & Bhatia, D. (2024). Proyecto FireFly: Desarrollo de UAV para aplicaciones distribuidas Detección de incendios forestales. *ICUAS*, 594-601.
- Ricoy, C. (2006). Contribución sobre los paradigmas de investigación. *Revista do Centro de Educação*, 11-22.
- Rjoub, D., Alsharoa, A., & Masadeh, A. (2022). Detección temprana de incendios forestales asistida por sistemas aéreos no tripulados con sensores de calidad del aire. *MDPI*, 1-22.
- Rodríguez , D., Ramírez , H., Tchikoue, H., & Santillán , J. (2008). Factores que inciden en la siniestralidad de los incendios forestales . *Ciencia Forestal en México*, 33-58.
- Rosero, R. H. (2019). Reconocimiento de humanos en imágenes de búsqueda y rescate con UAV usando una interfaz de realidad mixta. Liria, Portugal.
- Saggia, V. d. (2023, Julio). Plan de Innovación en Detección Temprana de Incendios Forestales en la Isla Yacyretá . Barcelona, España.
- Santelises , I., & Guerrero, Á. (2023). Incendios forestales y su impacto en el mundo. Santo Domingo, República Dominicana.
- Shouthiri, P., Sanati, F., & Hassan, J. (2021). Vehículos aéreos autónomos no tripulados en incendios forestales. Gestión: retos y oportunidades. *MDPI*, 1-34.
- Solano, E., Castellanos, S., López, M., & Hernández, J. (2009). La bibliometría: una herramienta eficaz para evaluar la actividad científica postgraduada. Cienfuegos, Cuba.
- Suárez, Y., & Pérez , O. (2018). *La evaluación de la actividad científica: Indicadores bibliométricos*. Barcelona: Dialnet.
- Trotta, G., Cadez, L., Boscutt, F., Vuerich, M., & Asquini, E. (2024). Interpretación de los cambios en la estructura forestal, la composición de la comunidad vegetal, la diversidad y la identidad funcional mediante el uso de la gravedad de los incendios forestales derivada de la teledetección. *Asottiaton fire ecology*, 1-17.
- Villers, M. d. (2006). Incendios forestales . *Ciencias*, 60-66.
- WWF. (2004). El fuego los ecosistemas y la gente . *The nature conservancy*, 1-9.
- Yandouz, M., Berrahal, M., Grarl, M., Boukabous, M., Moussaoui, O., Azizi, M., Kerkour , A. (2024). Segmentación Semántica y termografía para detección y

seguimiento de incendios forestales mediante drones. *Boletín de Ingeniería Eléctrica e Informática*, 2784~2796.

- Yungang , C., & Ruodan, L. (2024). Progresos y perspectivas del monitoreo de incendios forestales mediante teledetección mediante múltiples fuentes. *Teledetección* , 1-17.
- Xiaohong, Y., & Chen, R. (2024). Estrategia de aplicación de enjambres de vehículos aéreos no tripulados en Detección de incendios forestales basada en la fusión de enjambres de partículas Algoritmo de optimización y colonias artificiales de abejas. *MPDI*, 1-15.