

Universidad Santo Tomás

Ingeniería Ambiental

Uso de drones en la gestión de inundaciones y deslizamientos para Colombia

Michael Andrés Velásquez Suesca

Marcos Andrés Ramos Castañeda

Bogotá, mayo 2025

## Resumen.

En Colombia, los desastres naturales como las inundaciones y deslizamientos de tierra representan amenazas recurrentes con graves implicaciones sociales, económicas y ambientales. Este artículo de revisión analiza el uso de drones o sistemas aéreos no tripulados (UAS) como herramientas tecnológicas emergente en la gestión del riesgo de desastres en el país. A través de un análisis bibliométrico y temático de literatura científica reciente, se identifican los tipos de drones más utilizados, los sensores implementados, y las aplicaciones específicas en la recolección de datos geoespaciales. Se evidencian ventajas significativas como la capacidad de operación en tiempo real, el acceso a zonas de difícil alcance y la obtención de ortofotos y modelos digitales de elevación (DEM) de alta resolución. Asimismo, se discuten experiencias internacionales y nacionales relevantes, así como los retos normativos, técnicos e institucionales que enfrenta Colombia para una implementación efectiva en un sistema de gestión del riesgo de desastres.

## Abstract.

In Colombia, natural disasters such as floods and landslides are recurring threats with severe social, economic, and environmental consequences. This review article explores the use of drones or unmanned aerial systems (UAS) as an emerging technological tool for disaster risk management in the country. Through bibliometric and thematic analysis of recent scientific literature, the study identifies the most used types of drones, integrated sensors, and their specific applications in geospatial data collection. The findings highlight significant advantages such as real-time operation, access to hard-to-reach areas, and the generation of high-resolution orthophotos and digital elevation models (DEMs). Moreover, the article discusses relevant international and national experiences, as well as the regulatory, technical, and institutional challenges that Colombia must address to effectively and sustainably implement these technologies within its disaster risk management framework.

## Introducción.

En las últimas décadas, el incremento en la frecuencia e intensidad de los desastres naturales ha representado un reto frecuente para los países vulnerables a estos eventos, entre ellos Colombia (Ayala-García & Ospino-Ramos, 2023). Fenómenos como inundaciones y deslizamientos de tierra, impulsados por factores climáticos y geográficos, han causado pérdidas humanas, económicas y ambientales significativas (Velásquez Pardo & Montes Muñoz, 2014). Ante este panorama, la adopción de nuevas tecnologías para la prevención, monitoreo y gestión de emergencias se ha vuelto esencial (Saldarriaga Guzman, 2024). Una de las herramientas más prometedoras en este campo son los drones, o sistemas aéreos no tripulados (UAS), cuya versatilidad permite obtener información en tiempo real, acceder a zonas de difícil alcance y realizar labores críticas sin poner en riesgo vidas humanas (Beltran, 2023). Este artículo presenta una revisión del uso de drones en la gestión de desastres, con especial énfasis en inundaciones y deslizamientos. A través de un análisis bibliométrico y temático, se exploran los tipos de drones más utilizados, los sensores empleados para la recolección de datos, y las oportunidades que ofrece esta tecnología para mejorar la respuesta ante eventos naturales extremos.

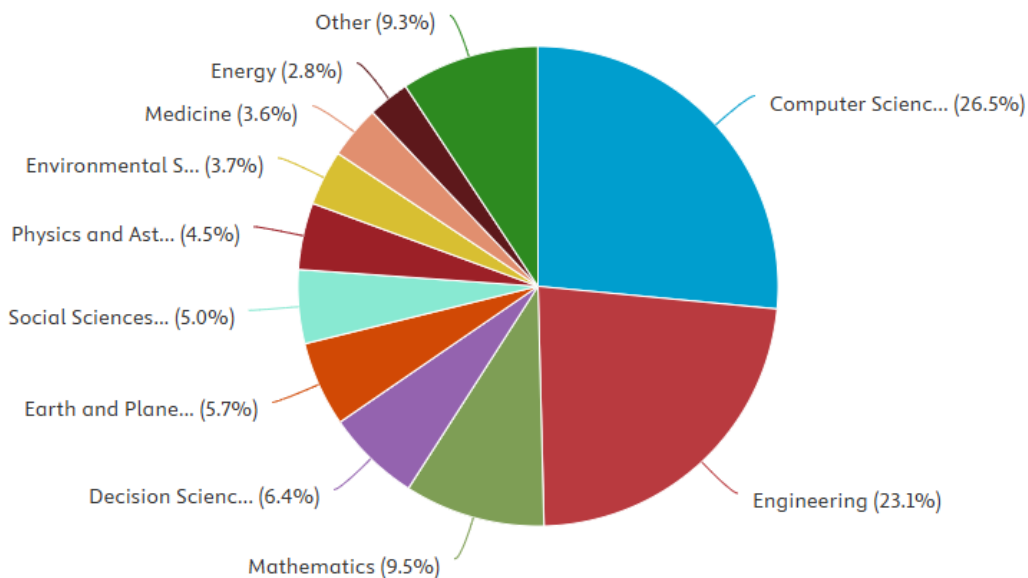
Además, se destacan casos nacionales e internacionales que evidencian el impacto positivo de estas tecnologías en la reducción de riesgos y atención de emergencias. El enfoque del artículo se orienta también a visibilizar los desafíos que enfrenta Colombia para una adopción de estas herramientas, incluyendo barreras normativas, limitaciones técnicas y necesidades de capacitación. Con ello, se busca ofrecer un panorama que sirva de base para una futura formulación de estrategias orientadas a integrar el uso de drones dentro de los sistemas de gestión del riesgo de desastres en el país.

## Método.

Se realizó un análisis bibliométrico en los sitios de Google Scholar y en Science Direct con ecuaciones de búsqueda en inglés para facilitar la cantidad de artículos. Se utilizó

la siguiente ecuación "natural disaster" "and" "drones". Para el motor de búsqueda de Science Direct se encontraron 1998 resultados siendo 1539 de los últimos 5 años, para el motor de búsqueda de Google Scholar se encontraron 470 artículos aproximadamente. Consecuentemente se centró la búsqueda en artículos que mencionen desastres naturales como las inundaciones y deslizamientos.

En la página de revisión bibliométrica Scopus se encontraron 409 documentos en total para la ecuación anteriormente mencionada, para los últimos 5 años siendo 280 artículos. Y por otra parte aproximadamente el 35,3% de los artículos son relacionados con la carrera de ingeniería ambiental.



Grafica 1. Documentos analizados en Scopus por área temática (*Scopus - Analyze Search Results*, n.d.). Fuente: autor.

**Criterio de selección.**

Para poder seleccionar artículos relevantes a la temática del proyecto entre todos los documentos encontrados con la ecuación, se tuvo en cuenta varios criterios para la depuración por:

- Artículos relevantes al artículo de revisión, que estén dentro de las áreas de ingeniería, ciencias ambientales y energía.
- Documentos mayormente en inglés que ofrezcan una perspectiva cosmopolita del estado del arte en los desastres naturales y los drones.
- Artículos o capítulos de libros que hayan realizado un estudio experimental que involucren la tecnología de drones.
- Artículos que aborden el tema de drones en el contexto colombiano y que sean de ayuda para entender la situación logística en el país.
- Que tengan palabras clave como: drones, UAS, desastre natural, sistemas de aeronaves pilotadas a distancia, búsqueda y rescate. (Mohd Daud et al., 2022)

## Resultados y discusión.

### Contexto.

Para entender el alcance de este artículo es importante definir ciertos términos para el mejor entendimiento del tema. Un desastre es una interrupción grave del funcionamiento de una comunidad o sociedad que causa pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, y que supera la capacidad de la comunidad afectada para hacerle frente usando sus propios recursos (UNDRR, 2022).

Asimismo, para Colombia la gestión del riesgo de desastres es un proceso de carácter social orientado a la formulación, ejecución y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas y acciones permanentes para el conocimiento, reducción y manejo de los riesgos, con el propósito expreso de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible (Congreso de Colombia, 2012).

Según el Reglamento Aeronáutico de Colombia (RAC) 100, un dron o Aeronave pilotada a distancia (RPA) es una aeronave que no lleva a bordo un piloto humano y que está controlada desde una estación de pilotaje remoto o mediante un sistema de navegación autónomo (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2024).

## Desastres naturales en Colombia.

Colombia ha demostrado avances significativos en la gestión del riesgo de desastres (GRD), especialmente a través del fortalecimiento institucional y la articulación de políticas públicas orientadas a la resiliencia. De acuerdo con la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), el país ha adoptado un enfoque de gobernanza multinivel que facilita la coordinación entre entidades nacionales, regionales y locales, así como la inclusión activa de comunidades en la toma de decisiones relacionadas con la prevención y mitigación de riesgos (*Cultivating Resilience through Strong Governance in Colombia* | UNDRR, 2024; Undrr, 2025)

La historia reciente de Colombia se ha caracterizado por una parte los desastres naturales que han ocurrido en el país, siendo las inundaciones y los deslizamientos los desastres naturales más significativos para Colombia en el último siglo (Ayala-García & Ospino-Ramos, 2023)

En la figura 1 se presenta la importancia del valor expuesto en Colombia, es decir, el valor de los bienes o personas que están en riesgo de sufrir por un evento de desastre.

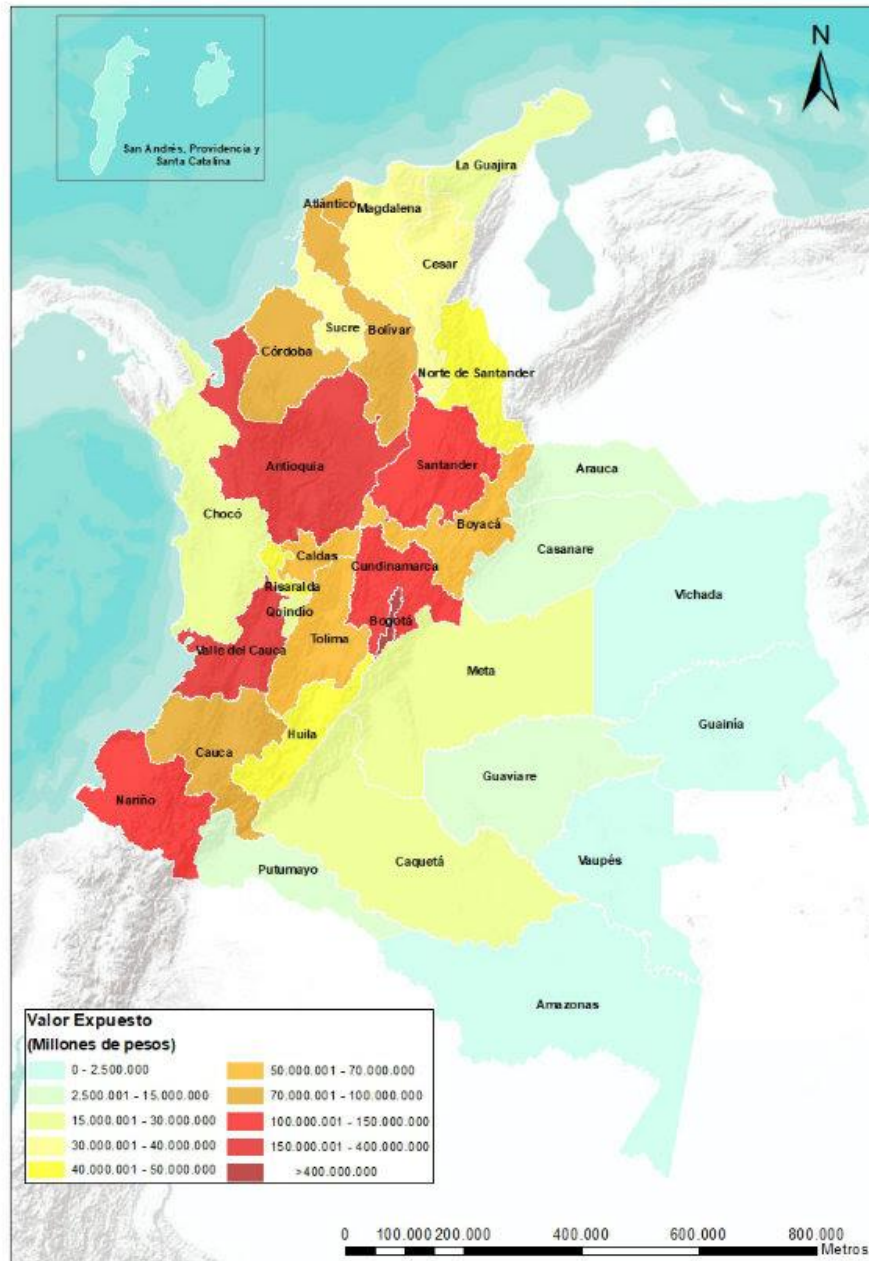


Figura 1. Distribución geográfica y porcentual del valor expuesto de Colombia. Fuente: (UNGRD, 2020)

Según la unidad de gestión de riesgo para Colombia, los riesgos hidrometeorológicos son más importantes ya que estos están relacionados con los deslizamientos y además debido a características tropicales y topográficas de Colombia hay mayores probabilidades de ocurrencia, y la afectación a la vida de la población es significativa

en términos vitales y monetarios. (Evaluación de La Gobernanza Del Riesgo En Colombia, 2019)

Tipos de drones usados para la fotogrametría.

La fotogrametría es la ciencia que permite obtener información métrica y geométrica precisa de objetos o superficies a partir de imágenes fotográficas, usualmente captadas desde plataformas aéreas, como son los drones (Kraus, 2007). También la fotogrametría permite generar productos como ortofotos, modelos digitales de superficie y mapas tridimensionales de alta resolución a partir de imágenes tomadas desde las plataformas aéreas (Loosli Emily, 2024).

Los drones son fundamentales para la adquisición de datos, y según Ma y Xie (2019), pueden clasificarse en tres categorías dependiendo de su configuración física y características operacionales: drones más ligeros que el aire, más pesados que el aire, y vehículos nano-aéreos (NAVs)

Los drones más ligeros que el aire, como globos y dirigibles, ofrecen ventajas como bajo costo y buena maniobrabilidad, siendo ideales para misiones de baja altitud y áreas reducidas.

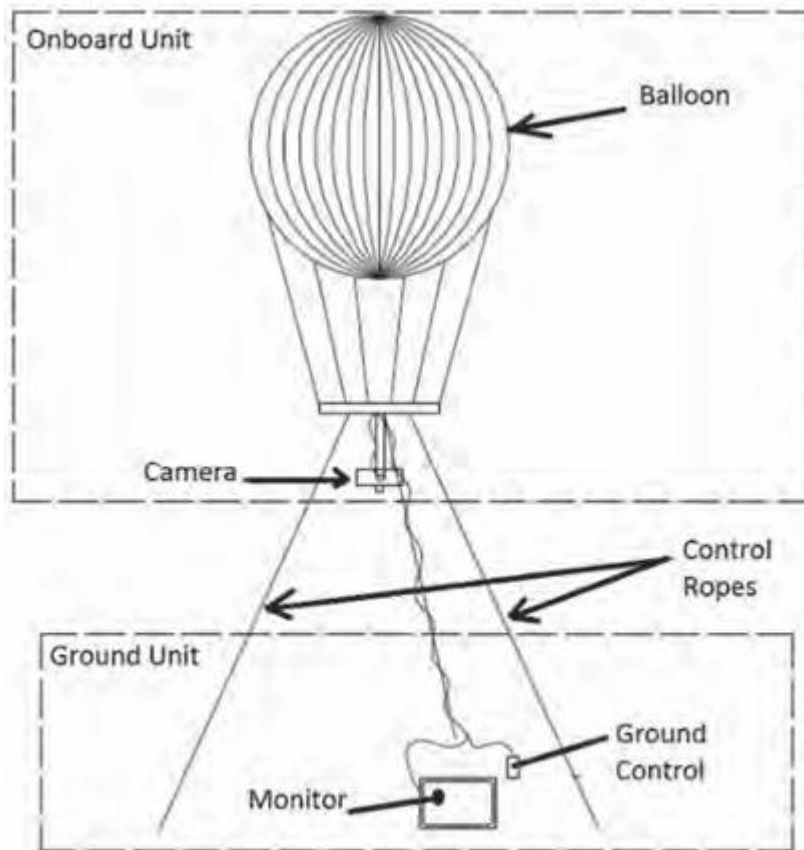


Figura 2. Arquitectura de un sistema de globo típico.

Fuente: (Ma & Xie, 2019)

Los drones más pesados que el aire, entre los cuales se encuentran los drones de ala fija y los drones de rotores, representan las plataformas más versátiles y utilizadas. Los drones de ala fija destacan por la alta capacidad de cubrir áreas y la larga autonomía. Por otra parte, los multirrotores resalta la capacidad de vuelo estacionario y maniobrabilidad lo que beneficia la fotogrametría en espacios urbanos y estructuras verticales.



WingtraOne Gen II

Ebee X

Figura 3. Drones de ala fija utilizados en la fotogrametría.

Fuente: (Loosli Emily, 2024)



Figura 4. Dron DJI Matrice 300 RTK y DJI Phantom 4 multirrotor usados en fotogrametría.

Fuentes: (DJI DRON, n.d.; Phantom - Semi Professional Camera Drones - DJI, n.d.).

Los vehículos nano aéreos representan la categoría más reciente el cual con dimensiones mínimas y peso inferior a los 25 gramos, pueden llegar a espacios confinados o interiores, donde drones convencionales no pueden llegar. (Ma & Xie, 2019)



Figura 5. Vehículo nano aéreo.

Fuente: (*NDAA-Compliant Drones & GCS for Mission-Critical Operations*, n.d.)

Uso de sensores para la toma de datos.

Los datos geoespaciales son fundamentales en la gestión de desastres naturales porque permiten identificar zonas de riesgo, planificar respuestas efectivas, coordinar recursos durante emergencias y facilitar la recuperación post desastre. A través de tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se puede monitorear en tiempo real la evolución de amenazas, evaluar daños, localizar personas afectadas y priorizar la restauración de infraestructura críticas. Su uso estratégico mejora la toma de decisiones en todas las fases del ciclo de gestión de desastres, fortaleciendo así la resiliencia de las comunidades ante eventos futuros (Tinoco, 2022).

Los sensores instalados en drones son fundamentales para la adquisición y procesamiento de información geoespacial en contextos de desastre natural. Dependiendo de la plataforma utilizada (multirotor o ala fija), las características del terreno y los objetivos de la misión, se pueden integrar diferentes tipos de sensores ópticos, fotogramétricos y LiDAR. Los sensores más comúnmente empleados son cámaras digitales de pequeño y mediano formato, tanto RGB como multiespectrales, que permiten obtener imágenes de alta resolución para generar productos como modelos digitales de superficie (DSM). En situaciones específicas donde se requiera mayor precisión topográfica o donde se presente vegetación densa, los sensores LiDAR (Light Detection and Ranging) ofrecen una alternativa robusta para la generación de nubes de puntos y datos altimétricos detallados (Hashemi-Beni et al., 2018).

## Ortofoto y DEMs en los desastres naturales.

El procesamiento de datos o imágenes, tomadas por drones en desastres naturales es importante para calcular con el software adecuado datos de alta relevancia para estudios o evaluaciones para cada situación. La ortofoto es una herramienta ampliamente utilizada para capturar una imagen aérea en dos dimensiones de desastres naturales como inundaciones, además ha sido de mucha utilidad combinado con modelos de elevación en tres dimensiones. (Zwegliński, 2020). Asimismo, como se menciona anteriormente los modelos de elevación en tres dimensiones (DEM), es una herramienta utilizada para evaluar el riesgo de inundaciones, con sensores LiDAR (Light Detection and Ranging) los drones pueden recopilar datos confiables debido a su resolución horizontal y precisión vertical, teniendo en cuenta lo anterior los modelos digitales de elevación basados en sensores LiDAR son la mejor opción para obtener datos del terreno para la modelación de inundaciones. (Hashemi-Beni et al., 2018; Sanders, 2007)

## Gestión del desastre con el uso de drones.

Los drones o sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), como se conoce oficialmente en Colombia (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2024). Incluso en actividades posteriores a un evento de desastre natural, el uso de drones ha demostrado ser altamente efectivo. Un ejemplo de ello fue el terremoto de 2024 en la península de Noto, Japón, donde utilizaron drones de nuevas maneras que anteriormente no se habían tenido en cuenta como: transporte de suministros de emergencia, restauración de comunicación por teléfono, e inspección de instalaciones. (Ishiwatari, 2024)

Un caso adicional para tener en cuenta es el desastre natural ocurrido en Chernóbil, en el estudio se desarrolla y se implementa un sistema de aeronave no tripulada (UAS) de ala fija, ligero de 8 kilogramos y capaz de volar por más de una hora, diseñado

específicamente para mapear la radiación en zonas afectadas por desastres nucleares, como se menciona anteriormente en la zona de exclusión de Chernóbil. Este sistema demostró una alta resolución espacial, de menos de 20 metros, permitiendo detectar variaciones en los niveles de radiación sin exponer de vidas humanas a riesgos innecesarios (Connor et al., 2020).

#### Uso de drones en Colombia.

En Colombia el uso de drones cuenta con un marco normativo contemplado en el RAC 100, donde se especifica el registro obligatorio para drones dependiendo del uso, además de reglas para su uso. Mas específicamente para desastres, calamidades públicas o desastres está permitido según el reglamento aeronáutico de Colombia (RAC) 100, numeral 100.335, siempre y cuando se realicen coordinaciones con el responsable del puesto de mando unificado (PMU) que haya sido designado por las autoridades competentes, debe cumplir con la seguridad operacional y cumplir con las reglas generales de operación para UAS, y en cualquier momento la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC) podrá solicitar información sobre el desarrollo del vuelo. (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2024)

La fotogrametría usada mediante drones representa una forma eficaz de gestionar los deslizamientos como se pudo comprobar en el deslizamiento de Shimen, en Tainan (Taiwán), en el cual se utilizó un dron para generar imágenes aéreas y modelos digitales de elevación (DEMs) de alta definición, a partir de múltiples imágenes tomadas en diferentes vuelos. Las imágenes fueron procesadas para calcular los volúmenes de material desplazado, permitiendo un análisis cuantitativo preciso de la magnitud del evento (Lin et al., 2017). Además, el uso de estas tecnologías permite el acceso a zonas de difícil acceso (Lim et al., 2025; Lin et al., 2017).

Para poder hacer uso eficiente de los drones es importante tener en cuenta que estos pueden funcionar autónoma y remotamente, esto ayudaría a realizar labores de

rescate, además se ha comprobado la viabilidad en el uso de drones en cooperación con otros medios de transporte (Shi et al., 2024). Un modelo para poder optimizar los recursos puede ser la solución que plantean en un artículo, un modelo de programación que considera restricciones operativas importantes, como la capacidad de carga útil, duración de batería y ventanas de tiempo para entrega de paquetes. El estudio y modelo se valida mediante simulaciones de un escenario de inundación en San Francisco, Estados Unidos, donde se puede evidenciar que la planificación centralizada de los drones multitarea permite una reducción significativa en la cantidad total de drones necesarios, mejora de la cobertura, y calidad de la operación, esto demuestra el potencial de los drones como herramienta integral para la gestión de riesgos y atención de desastres naturales. (Rottondi et al., 2021)

De igual forma los autores de On Controlling Drones for Disaster Relief, proponen un modelo innovador con características cruciales para la gestión de drones en contextos de desastres naturales. Entre estas características se incluyen la incorporación de percepciones sensoriales, razonamiento sobre misiones y la selección autónoma de acciones específicas. El modelo no se limita a la automatización básica, sino que introduce un enfoque basado en conocimiento (knowledge-based), el cual permite que los drones evalúen el entorno, interpreten datos en tiempo real y tomen decisiones adaptativas frente a situaciones dinámicas e inciertas, como las que ocurren tras un desastre. Esta capacidad de razonamiento contextual posibilita que los drones no solo ejecuten instrucciones, sino que participen activamente en la gestión de emergencias, contribuyendo a reducir la carga cognitiva y operativa de los operadores humanos. No obstante, los autores aclaran que la intervención humana no desaparece por completo, ya que el operador sigue cumpliendo un rol crítico en la supervisión y en la toma de decisiones estratégicas. Este enfoque híbrido resulta clave para garantizar tanto la eficiencia operativa como la seguridad en misiones humanitarias complejas (Hewett & Puangpontip, 2022)

Por otra parte, el uso de drones en zonas montañosas está demostrado que el uso de una técnica de búsqueda con apoyo aéreo de drones, específicamente a localizar una víctima alcanzando el sitio de accidente en un tiempo menor, además de cubrir un área mayor. (Karaca et al., 2018; Ulfa & Sartohadi, 2019). De la misma forma, es importante tener en cuenta la creación de una herramienta que en el estudio de Sugita et al. (2020) desarrollan, es una plataforma en este caso en web GIS, la cual permite visualizar fotos oblicuas sin necesidad de un procesamiento extensivo de las imágenes tomadas por los drones, esta es una solución inmediata para contextos donde los recursos técnicos son limitados (Sugita et al., 2020).

La integración de datos obtenidos mediante tecnologías como drones, videos in situ, señales sísmicas y tomografía eléctrica ha mejorado considerablemente la capacidad para modelar y predecir el comportamiento de los deslizamientos de tierra. Una colaboración multi fuente para la calibración de parámetros numéricos y simulación de deslizamientos de largo alcance, utilizando el modelo DAN3D. Este modelo fue validado con datos reales de eventos históricos de deslizamientos anteriores en provincias de China, incluyendo imágenes captadas por drones, lo cual demuestra el valor de esta tecnología no solo para la inspección post-desastre, sino también como apoyo en la planificación de escenarios y respuesta anticipada (Sun et al., 2024).

#### Drones en la Ingeniería Ambiental.

Desde la ingeniería ambiental es posible seleccionar drones y sensores según las necesidades específicas de Colombia. Para zonas extensas con riesgo de inundaciones los drones de ala fija son ideales por su autonomía y capacidad de generar modelos digitales de elevación (DEMs). En áreas montañosas propensas a deslizamientos, los multirotores equipados con LiDAR permiten capturar datos topográficos precisos bajo vegetación densa. La integración de cámaras multispectrales y térmicas facilitaría el monitoreo de variables clave, como humedad del suelo o daños estructurales, optimizando la respuesta ante emergencias.

Un desafío importante es la brecha tecnológica en regiones apartadas de Colombia (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [MinTIC], 2023), donde el acceso limitado a conectividad, equipos especializados y personal capacitado dificulta la implementación de tecnologías emergentes como los drones. Esta situación no solo limita la capacidad de respuesta ante desastres naturales, sino que también profundiza desigualdades territoriales en la gestión del riesgo. Para cerrar esta brecha, en el presente artículo se destacan tecnologías de bajo coste y casos exitosos en los que se han empleado drones de manera eficiente en contextos similares. Asimismo, se recomienda diseñar e implementar programas de capacitación comunitaria, enfocados en la operación básica de drones y el mantenimiento de drones, dirigidos especialmente a autoridades locales, líderes comunitarios y estudiantes de carreras afines. Estas acciones deben estar acompañadas de alianzas estratégicas entre universidades, entes territoriales y entidades como la UNGRD, que promuevan el conocimiento compartido y el acceso equitativo a los recursos tecnológicos. A nivel normativo, es necesario optimizar los mecanismos de autorización establecidos en el RAC 100, agilizando los procesos para vuelos en situaciones de emergencia y ampliando su aplicabilidad a contextos de prevención y monitoreo.

La implementación efectiva de drones en la gestión del riesgo en Colombia depende de tres pilares:

1. Tecnologías adaptadas al territorio,
2. Capacitación local para garantizar sostenibilidad,
3. Políticas que fomenten la colaboración entre sectores.

En este contexto, la ingeniería ambiental, como disciplina con enfoque integrador, puede desempeñar un papel clave liderando procesos de innovación tecnológica con un enfoque sostenible, inclusivo, y territorialmente responsable.

## Conclusión.

Se concluye que, en el contexto colombiano, caracterizado por una alta exposición a eventos hidrometeorológicos como deslizamientos e inundaciones, la implementación de drones en la gestión del riesgo de desastres se presenta como una herramienta tecnológica altamente acertada y eficaz. Su capacidad para recopilar datos geoespaciales en tiempo real, operar en zonas de difícil acceso y generar productos como ortofotos y modelos digitales de elevación (DEM), permite mejorar sustancialmente los procesos de monitoreo, prevención, respuesta y evaluación post desastre.

Aunque el país cuenta con un marco normativo inicial para drones contemplado en el RAC 100 que permite su uso en emergencias, es imperativo avanzar hacia una regulación más integral y actualizada. Esta debe contemplar estándares técnicos, protocolos de operación y mecanismos de coordinación entre entidades responsables del manejo de desastres.

Finalmente, la realización de proyectos piloto, así como la validación contextualizada de las tecnologías aplicadas, permitirán consolidar su implementación en Colombia. La integración efectiva de los drones como herramientas estratégicas contribuirá al desarrollo de un sistema de gestión del riesgo más eficiente, resiliente y alineado con las necesidades del país frente a eventos extremos y variabilidad geográfica.

## Bibliografía.

Ayala-García, J., & Ospino-Ramos, K. (2023). *Desastres naturales en Colombia: un análisis regional*.

Beltran, G. X. (2023). *Antecedentes, uso y aplicación de drones en Colombia como herramienta estratégica de análisis en la agricultura de precisión*.

Congreso de Colombia. (2012). *Ley 1523 de 2012*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>

- Connor, D. T., Wood, K., Martin, P. G., Goren, S., Megson-Smith, D., Verbelen, Y., Chyzhevskiy, I., Kirieiev, S., Smith, N. T., Richardson, T., & Scott, T. B. (2020). Radiological Mapping of Post-Disaster Nuclear Environments Using Fixed-Wing Unmanned Aerial Systems: A Study From Chernobyl. *Frontiers in Robotics and AI*, 6. <https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00149>
- Cultivating resilience through strong governance in Colombia | UNDRR. (2024, December 31). UNDRR. <https://www.undrr.org/news/focus-cultivating-resilience-through-strong-governance-colombia>
- DJI DRON. (n.d.). Retrieved May 19, 2025, from <https://www.djidron.com/dron-dji/matrice-300-rtk/matrice-300-rtk/?srsltid=AfmBOopV62k3lpv647pU0XCCviRYwySOboUXqZFvXayJfTITOA--ajQT>
- Hashemi-Beni, L., Jones, J., Thompson, G., Johnson, C., & Gebrehiwot, A. (2018). Challenges and opportunities for UAV-based digital elevation model generation for flood-risk management: A case of Princeville, north Carolina. *Sensors (Switzerland)*, 18(11). <https://doi.org/10.3390/s18113843>
- Hewett, R., & Puangpontip, S. (2022). On Controlling Drones for Disaster Relief. *Procedia Computer Science*, 207, 3697–3706. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.430>
- Ishiwatari, M. (2024). Leveraging Drones for Effective Disaster Management: A Comprehensive Analysis of the 2024 Noto Peninsula Earthquake Case in Japan. *Progress in Disaster Science*, 23, 100348. <https://doi.org/10.1016/J.PDISAS.2024.100348>
- Karaca, Y., Cicek, M., Tatli, O., Sahin, A., Pasli, S., Beser, M. F., & Turedi, S. (2018). The potential use of unmanned aircraft systems (drones) in mountain search and rescue operations. *The American Journal of Emergency Medicine*, 36(4), 583–588. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.09.025>
- Kraus, K. (2007). *Photogrammetry Geometry from Images and Laser Scans*.
- Lim, S., Lee, I., Choi, G. S., Chae, J., Ashish, E., Ward, E., & Pu, C. (2025). FastPlan: A three-step framework for accelerating drone-centric search operations in post-disaster relief.

*Pervasive and Mobile Computing*, 107, 102017.

<https://doi.org/10.1016/J.PMCJ.2025.102017>

Lin, J., Wang, M., Yang, J., & Yang, Q. (2017). Landslide Identification and Information Extraction Based on Optical and Multispectral UAV Remote Sensing Imagery. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 57(1).

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/57/1/012017>

Loosli Emily. (2024). *Los mejores drones para topografía de fotogrametría: WingtraOne frente a otros drones | Wingtra*.

Ma, O., & Xie, P. (2019). Unmanned vehicle systems and technologies for sensing and control. In Costas Armenakis (Ed.), *Unmanned Vehicle Systems for Geomatics* (pp. 67–131).

<http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=5769557>.

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – MinTIC. (2023). Índice de Brecha Digital: Resultados 2022. Boletín IBD 2022. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de <https://colombiatic.mintic.gov.co/679/w3-article-198029.html>

Mohd Daud, S. M. S., Mohd Yusof, M. Y. P., Heo, C. C., Khoo, L. S., Chainchel Singh, M. K., Mahmood, M. S., & Nawawi, H. (2022). Applications of drone in disaster management: A scoping review. *Science & Justice*, 62(1), 30–42.

<https://doi.org/10.1016/J.SCIJUS.2021.11.002>

*NDAA-Compliant Drones & GCS for Mission-Critical Operations*. (n.d.). Retrieved May 19, 2025, from <https://www.unmannedsystemstechnology.com/company/vantage-robotics/>

OCDE. (2019). *Evaluación de la gobernanza del riesgo en Colombia*. <https://doi.org/10.1787/f4ff1a69-es>

*Phantom - Semi Professional Camera Drones - DJI*. (n.d.). Retrieved May 19, 2025, from <https://www.dji.com/products/phantom>

Rottondi, C., Malandrino, F., Bianco, A., Chiasserini, C. F., & Stavrakakis, I. (2021). Scheduling of emergency tasks for multiservice UAVs in post-disaster scenarios. *Computer Networks*, 184, 107644. <https://doi.org/10.1016/J.COMNET.2020.107644>

- Saldarriaga Guzman, V. H. (2024). *Gestión del riesgo y medio ambiente con énfasis en drones*.
- Sanders, B. F. (2007). Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. *Advances in Water Resources*, 30(8), 1831–1843. <https://doi.org/10.1016/J.ADVWATRES.2007.02.005>
- Scopus - Analyze search results. (n.d.). Retrieved May 18, 2025, from <https://www-scopus-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=77ade889147be2cb2358701849075ace&sot=a&sdt=a&sl=44&s=TITLE-ABS-KEY%28%22natural+disaster%22+and+drones%29&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results>
- Shi, Y., Yang, J., Han, Q., Song, H., & Guo, H. (2024). Optimal decision-making of post-disaster emergency material scheduling based on helicopter–truck–drone collaboration. *Omega*, 127, 103104. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2024.103104>
- Sugita, S., Fukui, H., Inoue, H., Asahi, Y., & Furuse, Y. (2020). Quick and low-cost high resolution remote sensing using UAV and aircraft to address initial stage of disaster response. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 509(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/509/1/012054>
- Sun, J., Zhuang, Y., & Xing, A. guo. (2024). Runout prediction of potential landslides based on the multi-source data collaboration analysis on historical cases. *China Geology*, 7(2), 264–276. <https://doi.org/10.31035/CG2023138>
- Tinoco, L. (2022, August). *The role of geospatial data in disaster risk reduction and emergency response*. <https://www.todaers.org/post/the-role-of-geospatial-data-in-disaster-risk-reduction-and-emergency-response>
- Ulfa, F., & Sartohadi, J. (2019). The Role of Small Format Aerial Photographs for First Response in Landslide Event. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 338(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/338/1/012026>

- UNDRR. (2022). *Definition: Disaster* | UNDRR. UNDRR.  
<https://www.undrr.org/terminology/disaster>
- Undrr. (2025). *UNDRR 2024 Annual Report*. <https://www.undrr.org/contact-us>
- UNGRD. (2020). *Conoce el Atlas de Riesgo de Colombia: revelando los desastres latentes*.  
<https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Conoce-el-Atlas-de-Riesgo-de-Colombia-revelando-los-desastres-latentes.aspx>
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. (2024). *RAC 100*.
- Velásquez Pardo, L. J., & Montes Muñoz, P. L. (2014). *Análisis estadístico de los eventos catastróficos de origen natural ocurridos en Colombia entre los años 2000 y 2011, soportado en el sistema de información SIDHMA Unisalle*. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Ingeniería Ambiental y Sanitaria.  
<https://hdl.handle.net/20.500.14625/21456>
- Zwegliński, T. (2020). The use of drones in disaster aerial needs reconnaissance and damage assessment-Three-dimensional modeling and orthophoto map study. *Sustainability (Switzerland)*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/su12156080>