



## **VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS EN LA GESTIÓN DE EMERGENCIA POR DESASTRE**

*Oscar Díaz Olariaga*<sup>1</sup>

(Manuscrito recibido el 3 de abril de 2024, en versión final 3 de diciembre de 2024)

### **Para citar este documento**

Díaz Olariaga, O. (2024). Vehículos aéreos no tripulados en la gestión de emergencia por desastre. *Boletín geográfico*, 46, ppi-ppf.

### **Resumen**

El crecimiento acelerado de los vehículos aéreos no tripulados, también conocidos como drones, y su aplicación en varios campos de actuación ofrece una oportunidad para su uso en la gestión de emergencia debido a un desastre. Las diversas tecnologías que pueden incorporar los vehículos aéreos no tripulados dotan a los mismos de aplicaciones que pueden ser de gran utilidad en una gestión de desastre, por ejemplo, podrían analizar en detalle (vía mapeo) la región afectada, ayudarían a construir una red de comunicación entre los sobrevivientes de la catástrofe y los equipos de rescate y las redes móviles más cercanas, y podrían recoger todo tipo de información y datos que se transmitiría de forma inmediata al centro de gestión de la emergencia para la toma de decisiones. Entonces, el presente trabajo de revisión analiza las potenciales funcionalidades y prestaciones de los vehículos aéreos no tripulados, como soporte tecnológico en la gestión de emergencias, considerando tanto la tipología de desastre como su actuación en las diferentes fases de desarrollo del desastre y su gestión.

**Palabras clave:** dron, respuesta a desastres, gestión de riesgos.

---

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás. Carrera 9 N° 59-11, Bogotá (Colombia). E-mail: oscar Diaz Olariaga@usta.edu.co

## UNMANNED AIR VEHICLES IN DISASTER EMERGENCY MANAGEMENT

### **Abstract**

The accelerated growth of unmanned aerial vehicles, also known as drones, and their application in various fields of action present an opportunity for their use in emergency management during a disaster. The various technologies that unmanned aerial vehicles can incorporate provide them with applications that can be very useful in disaster management, for example, they can analyze in detail (via mapping) the affected region, assist in building a network of communication between the survivors of the catastrophe and the nearest rescue teams and mobile networks, and collect all types of information and data that can be immediately transmitted to the emergency management center for decision making. Therefore, this review analyzes the potential functionalities and benefits of unmanned aerial vehicles, as technological support in emergency management, considering both the typology of disaster and its performance in the different phases of disaster development and its management.

**Keywords:** drone, disaster response, risk management.

### **Introducción**

Los desastres amenazan la vida humana en diferentes grados según el entorno, la geografía, la preparación y la respuesta. Según un estudio del Centro de Investigación sobre Epidemiología de Desastres y la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, el total de muertes humanas relacionadas con desastres, entre los años 2000 y 2019, asciende a 1,23 millones, y tuvo un costo económico aproximado de casi 3 billones USD (CRED-UNDRR, 2020). Aunque el avance de la tecnología ha mejorado la eficiencia de la gestión de desastres en las últimas dos décadas, el número de muertes relacionadas con desastres ha aumentado ligeramente en comparación con el periodo 1980-1999. Este ligero aumento se debe a la creciente frecuencia y gravedad de los desastres, con un aumento de alrededor del 175% en el número de desastres. Se cree que el calentamiento global es la causa principal, duplicando el número de inundaciones y tormentas en los últimos 20 años (CRED-UNDRR, 2020). Si bien algunos desastres se pueden prevenir, la mayoría de estos son impredecibles. Sin embargo, las pérdidas causadas por todo tipo de desastre pueden mitigarse en gran medida mediante el establecimiento de sistemas de gestión de desastres eficientes y receptivos (Vakis, 2006; Tan, Guo, Mohanarajah & Zhou, 2021).

La respuesta a desastres requiere decisiones y acciones precisas, rápidas y veloces. La complejidad y el arduo proceso de trabajar en un entorno muy incierto y dinámico complican aún más la situación. Aunque los desastres pueden tener similitudes, cada desastre tiene su propia singularidad debido a las circunstancias, el

área geográfica y el alcance de la devastación. Cualquiera que sean las circunstancias y la situación, se debe realizar una evaluación inmediata y en tiempo real de las condiciones del lugar del desastre. Sin embargo, en algunas situaciones la evaluación se ve obstaculizada debido a una accesibilidad física limitada o nula y/o consideraciones de riesgo para la seguridad (Chaudhary & Piracha, 2021).

Para superar las limitaciones en la gestión del desastre, uno de los soportes tecnológicos de rápido desarrollo es la utilización de vehículos aéreos no tripulados (más conocidos por su acrónimo en inglés UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*) o también denominados drones en la gestión de desastres, incluido el apoyo a la conciencia situacional (Zwegliński, 2020; Esteve & Benlloch, 2017). En este estudio, cuando se mencionen los UAV se incluyen drones, aeronaves no tripuladas, sistemas aéreos no tripulados, aeronaves pilotadas a distancia y sistemas de aeronaves pilotadas a distancia.

En la gestión de desastres, para llevar a cabo de manera eficiente tareas complejas en tiempo real, se requiere la coordinación de vehículos aéreos no tripulados en muchas aplicaciones, como monitoreo de actividad, comunicación inalámbrica en áreas amplias, etc. (Khan, Gupta & Gupta, 2020). Se espera que los UAV cambien el campo de las comunicaciones e incorporen innovaciones en las aplicaciones de gestión de desastres para minimizar los riesgos y proporcionar soluciones eficaces (Zhao et al., 2019; Khan et al., 2020). Así, el uso de UAV en una catástrofe reduce el tiempo necesario para localizar a las víctimas y el tiempo necesario para una posterior intervención buscando en una gran zona en un corto periodo de tiempo, además de proporcionar información crítica a los rescatistas sobre la ruta que debe tomarse durante las operaciones de búsqueda y salvamento (van Tilburg, 2017). Además, los drones son capaces de buscar víctimas vivas enterradas bajo los escombros utilizando sensores como detección de ruido, detección binaria, vibración y detección de calor (Thavasi & Suriyakala, 2012). Estos demuestran los beneficios de tener drones en el lugar durante los desastres y la capacidad de los mismos como herramientas críticas para adquirir imágenes aéreas.

Por estas razones, la gestión de desastres asistida por UAV ha atraído recientemente la atención de la comunidad científica (Erdelj, Natalizio, Chowdhury & Akyildiz, 2017; Ejaz, Azam, Saadat, Iqbal & Hanan, 2019). Por ello, en los últimos años, la academia ha contribuido con muchos estudios e investigaciones sobre los beneficios que pueden aportar los vehículos aéreos no tripulados en el campo de la gestión de desastres (Erdelj & Natalizio, 2016; Mozaffari, Saad, Bennis, Nam & Debbah, 2019;), principalmente con un fuerte enfoque tecnológico de dichas investigaciones (es decir más centrados en aspectos técnicos de diseño, configuración y operación de los UAV). Asimismo, aún es necesario profundizar más en algunas áreas como las funcionalidades, prestaciones y actuaciones de los UAV en las diferentes etapas en el desarrollo de la gestión de un desastre (y según la tipología de dicho desastre), aspecto en donde se verifica un importante vacío en la literatura científica. Este enfoque es, entonces, el abordado en el presente artículo.

El resto del artículo tiene la siguiente estructura: En la siguiente sección se presenta el planteamiento metodológico adoptado. En una sección posterior, y a nivel

de resultado, se desarrolla el núcleo principal del trabajo en donde se presentan y analizan los siguientes conceptos (en relación con la funcionalidad de los UAV en la gestión de desastres): características básicas de los UAV, funcionalidad de los UAV, prestaciones de los UAV según el tipo de desastre a gestionar, tareas asistidas por UAV durante la gestión del desastre. Y, finalmente, en la última sección del artículo se formulan las oportunas conclusiones.

## Metodología

Para el presente trabajo se utilizó una metodología típica en este tipo de investigación denominada ‘mapeo sistemático’, que es el proceso de identificar, categorizar y analizar la literatura existente que es relevante para un determinado tema de investigación (Salama, Bahsoon & Bencomo, 2017; Barn, Barat & Clark, 2017; James, Randall & Haddaway, 2016; Taipalus, 2023; Haakonsen, Ronnquist & Labonnote, 2023). El objetivo de esta revisión es mostrar una perspectiva general del campo científico relacionado, en este caso, con la funcionalidad de los vehículos aéreos no tripulados (UAV / drones) en la gestión de desastres. Este mapeo sistemático se desarrolla en tres bloques básicos: (a) definición para la búsqueda, donde se define la pregunta de investigación, el alcance de la revisión, los criterios de inclusión y exclusión, y finalmente la cadena de búsqueda; (b) ejecución de la búsqueda, y (c) análisis y discusión de los resultados.

En lo que se refiere a la definición de la búsqueda, las preguntas de investigación son aquellas relacionadas a los fundamentos del concepto doble o dual ‘UAV / gestión de desastres’, a saber: ¿por qué son necesarios los UAV en la gestión de un desastre? ¿cuáles son las prestaciones de los UAV en la gestión de un desastre? Y finalmente ¿cuál es el rol funcional del UAV según la tipología del desastre?

En cuanto al alcance de la revisión, se realizó una búsqueda en los siguientes catálogos digitales: ScienceDirect, IEEE Xplore, Taylor & Francis, Springer, Wiley, SAGE y JSTOR. Para la búsqueda se utilizaron los siguientes descriptores: *drone*, *unmanned aerial vehicle*, *unmanned aerial system*, *remotely piloted aerial vehicle*, *remotely piloted aircraft systems*, *natural disaster*, *emergency management*, *disaster management*, *disaster response*, *search and rescue*. El periodo temporal de búsqueda es 2010-2024 (ambos inclusive).

Para filtrar los estudios se aplicaron los siguientes criterios de inclusión / exclusión: (a) se incluyeron todas aquellas publicaciones científicas que solo tengan relación con el campo de estudio o de investigación en curso; (b) se incluyeron estudios editados en idioma inglés y español; (c) se incluyeron casos de estudios, siempre y cuando aportaran un marco conceptual relacionado y con resultados concretos, medibles y comparables; (d) se excluyeron artículos sin diseño de investigación y sin una pregunta de investigación bien definida; (e) se excluyeron revisiones terciarias; (f) se excluyeron trabajos de revisión temática; (g) se excluyeron trabajos sobre encuestas de opinión o similar; (h) se excluyeron informes y/o estudios técnicos sin base científica sólida; (i) se excluyó toda ‘literatura gris’ que no presentara un fundamento teórico sólido, riguroso y formal. Finalmente, en cuanto al

conducta de la búsqueda, se aplicaron dos filtros de revisión: (a) primer filtro de revisión: título del artículo, resumen y palabras clave; (b) segundo filtro de revisión: texto completo del artículo.

## **Funcionalidad de los UAV en la gestión de desastres**

### **Características básicas de los UAV.**

Los UAV han ganado rápidamente un gran interés para su utilización en numerosas aplicaciones comerciales y militares emergentes (Khan, Gupta & Gupta, 2020, 2021; Abdujabarov, Shokirov, Takhirov, Saytov & Bobomurodov, 2020; Telli *et al.*, 2023).

Por ejemplo, los UAV están a la vanguardia de la adopción digital para abordar las limitaciones vinculadas con una variedad de actividades de inspección, monitoreo y vigilancia asociadas a la industria del petróleo y gas (Asadzadeh, Oliveira & Filho, 2022; Wanasinghe, 2020). La aplicación de UAV para inspección, seguimiento y vigilancia aérea no es nueva. Los UAV se han utilizado durante una década en sectores como la construcción (Asnafi & Dastgheibifard, 2018; Tatum & Liu, 2017), minería (Lee & Choi, 2016; Rathore, 2015), logística (Murray & Chu, 2015), agricultura (Mogili & Deepak, 2018; Park, Das & Park, 2015), gestión de desastres (Erdelj & Natalizio, 2016; Erdelj, Natalizio, Chowdhury & Akyildiz, 2017), vigilancia (Zhang, 2024; Fang & Savkin, 2024), medio ambiente (monitoreo de la calidad del aire (Villa, 2016), monitoreo del suelo (Ivushkin, Bartholomeus, Bregt & Pulatov, 2019), monitoreo de cultivos (Bendig, Yu, Aasen & Bolten, 2015), monitoreo de aguas superficiales y subterráneas (Abolt, Caldwell, Wolaver & Pai, 2018)) y aplicaciones de defensa (Masum, Arrofi, Jati & Arifin, 2013). Existen varios tipos de UAV, que pueden utilizarse para diferentes aplicaciones o para realizar diferentes tareas (ver Figura 1).



**Figura 1.** Tipología de UAV / drones. Fuente: CFD Flow Engineering (2024).

Aunque todos los tipos de UAV se pueden utilizar como soporte tecnológico o logístico en la gestión de desastres, la mayoría de las soluciones recientes de gestión de desastres se centran en los UAV de ala giratoria multirrotor (ver Figura 2).



**Figura 2.** UAV / dron Multirrotor. Fuente: JOUAV (2024).

Esto se debe en gran medida a sus especificaciones personalizables a bajo costo, (Erdelj & Natalizio, 2016; Chiaraviglio, Liu, Gutierrez & Blefari-Melazzi, 2017; Zhao *et al.*, 2019; Mozaffari *et al.*, 2019; Ali, Nguyen, Vien, Shah, & Raza, 2020; Khan *et al.*, 2020;) que incluyen:

- a) Flexibilidad: el despliegue inmediato de los UAV los hace ideales para una respuesta rápida a eventos impredecibles, como desastres en los que el tiempo podría costar vidas. Los UAV pueden controlarse o programarse de forma remota para llegar a lugares lejanos y peligrosos. Los UAV de ala giratoria pueden cambiar de dirección instantáneamente y evitar obstáculos. Esta alta maniobrabilidad facilita la optimización del despliegue dinámico, de modo que se manejen múltiples tareas simultáneamente.
- b) Bajo costo: el costo de los UAV está disminuyendo rápidamente, lo que atrae nuevas soluciones innovadoras basadas en UAV a costos asequibles. El costo de los UAV depende de múltiples factores, como el desarrollo de su tecnología, el tamaño, el rango de alcance (o autonomía), carga útil, etc.
- c) Detección: los UAV pueden equiparse con múltiples dispositivos de detección y cámaras. Esto ofrece acceso inmediato a una gran cantidad de datos que, de otro modo, serían difíciles. Los UAV pueden proporcionar vistas aéreas de alta resolución y mapeo del área objetivo en un corto período de tiempo.
- d) Comunicación: durante desastres y emergencias, la comunicación de datos generalmente se ve perturbada debido al aumento de la demanda o debido a

daños a la infraestructura (terrestre) de comunicaciones. Los UAV pueden ofrecer comunicaciones a los equipos de usuario en la región del desastre, a la vez que comunican los datos detectados a una unidad central a la que puede acceder el equipo de gestión de desastres.

- e) Transporte / Entrega: dada su alta estabilidad y accesibilidad, los UAV pueden entregar rápidamente ayuda médica y bienes esenciales a las víctimas del desastre en las áreas afectadas. Algunos UAV también pueden transportar personas o retirar objetos dependiendo del peso máximo de carga útil del vehículo aéreo.

Por otro lado, los UAV presentan ciertas limitaciones en cuanto a sus prestaciones generales, y en sus funciones como soporte tecnológico en la gestión de desastres (aunque se espera que la tecnología vaya solventando esa situación en los próximos años) (Zhao *et al.*, 2019; Saif *et al.*, 2020; Khan *et al.*, 2020; Ali, *et al.*, 2020 & Raza, 2020; Mohsan, Khan, Noor, Ullah & Alsharif., 2022). A Continuación se detallan algunas de ellas:

- a) Capacidad de la batería a bordo del UAV: una de las principales restricciones al funcionamiento de los vehículos aéreos no tripulados es la limitación de energía. Como resultado, los UAV generalmente necesitan viajar a estaciones de acoplamiento para recargar o reemplazar la batería antes de que se agote por completo. Esta limitación podría afectar la disponibilidad de los UAV y obligar a los gestores del desastre o la emergencia a desplegar una mayor cantidad de UAV para tener en cuenta el tiempo necesario para recargar y viajar a una estación de recarga, la cual, a su vez, debe estar dentro de un rango aceptable. El despliegue eficiente de vehículos aéreos no tripulados y estaciones de recarga necesita una cuidadosa optimización del diseño de la red de soporte o recarga relacionada.
- b) Potencia de procesamiento y tecnología limitadas a bordo del UAV: la instalación de procesadores y sensores de alta calidad en el UAV puede resultar costosa. Además es relevante destacar que estos procesadores pueden agotar rápidamente las ya limitadas baterías a bordo del UAV.
- c) Difícil optimización y diseño de redes: el entorno dinámico y el nivel muy alto de movilidad de los UAV plantean desafíos en la gestión de la red, incluida la confiabilidad de las comunicaciones y la recuperación de fallas. Para aprovechar la movilidad y accesibilidad de los UAV, se necesitan algoritmos especiales de enrutamiento y acceso a la red para compartir datos entre los UAV y los nodos terrestres. Además, se deben tener en cuenta los mecanismos de recuperación y adaptación.
- d) Carga útil limitada: el UAV puede entregar una cantidad limitada de equipos, alimentos, medicinas, etc. debido a la limitación del tamaño de la carga física y el peso a bordo (actualmente, no más de 5 kg).

- e) Maniobrabilidad en entornos hostiles: es posible que los vehículos aéreos no tripulados no sean adecuados para desastres de origen meteorológico (por ejemplo tormentas eléctricas, huracanes, lluvias intensas, tornados, etc.).

### **Funcionalidad de los UAV.**

Los UAV se presentan como una de las tecnologías de soporte más prometedoras para la gestión de desastres. Los servicios de los sistemas UAV incluyen reconocimiento, mapeo, evaluación de estructuras, la llegada a sobrevivientes varados y acompañamiento hacia lugares seguros, y proporcionar comunicaciones sobre la región afectada. En varios artículos científicos (Zeng, Zhang & Lim, 2016; Cao *et al.*, 2018; Fotouhi *et al.*, 2019; Mozaffari *et al.*, 2019; Mishra & Natalizio, 2020) se han identificado aplicaciones diversas de los UAV en la gestión de desastres:

- a) Monitoreo, pronóstico y alerta temprana: utilizando el monitoreo estructural y ambiental y analizando información para pronósticos, los UAV pueden formar parte de un sistema de alerta temprana.
- b) Fusión e intercambio de información sobre desastres: al combinar diferentes fuentes de información disponible o proporcionar un puente entre diferentes tecnologías de la información, los UAV pueden respaldar otras aplicaciones durante la gestión de desastres. Por ejemplo, se puede configurar un sistema de primera respuesta que implementa la fusión de información y que se basa en el uso de agentes autónomos móviles que se despliegan en el área de emergencia. Otra posibilidad sería configurar un sistema donde múltiples vehículos heterogéneos se unen y son controlados y coordinados a través del ciberespacio para lograr una operación logística compleja en misiones humanitarias automatizadas.
- c) Conciencia situacional, apoyo logístico y de evacuación: los vehículos aéreos no tripulados pueden ayudar a recopilar información durante la fase de desastre, especialmente sobre el movimiento de las personas afectadas y los equipos de rescate desplegados.
- d) Sistema de comunicación independiente: los vehículos aéreos no tripulados pueden identificar la infraestructura de comunicación dañada o destruida durante el desastre.
- e) Misiones de búsqueda y rescate: los vehículos aéreos no tripulados pueden buscar y encontrar a personas perdidas, heridas o atrapadas.
- f) Evaluación de daños: los UAV pueden ayudar a evaluar los daños mediante diferentes métodos, como el monitoreo del estado estructural y la inspección por video.
- g) Cobertura informativa: los vehículos aéreos no tripulados podrían ayudar a brindar información oportuna a los medios de comunicación.
- h) Asistencia médica/sanitaria: aunque limitados por el peso de la carga útil, los drones especializados podrían entregar automáticamente suministros esenciales para mantener a las personas con vida, sobre todo en los casos donde la infraestructura de transporte se encuentre dañada.

- i) Soporte a la reconstrucción de infraestructura: el uso de una red de vehículos aéreos no tripulados podría acelerar el proceso de inspecciones y mejorar la eficiencia y precisión de la reconstrucción de infraestructura.

### **Prestaciones de los UAV según el tipo de desastre a gestionar.**

A continuación, se procede detallar las posibles estrategias y tareas de gestión de desastres asistidas por vehículos aéreos no tripulados que pueden implementarse para realizar eficientemente dichas acciones. Para implementar un sistema eficaz que reaccione rápidamente y realice adecuadamente las tareas deseadas, las soluciones especializadas deben tener en cuenta el tipo o tipología del desastre y la fase en curso de dicho desastre. Los desastres son diferentes en su naturaleza, gravedad e impacto sobre las infraestructuras e instalaciones existentes (en la región o área del desastre) (Azari, Rosas & Pollin, 2019; Chen, Mitra & Gesbert, 2019). Por tanto, la eficacia de diferentes herramientas y su interacción para gestionar desastres no puede ser la misma. Por ejemplo, como se mencionó anteriormente, la utilización de soluciones basadas en vehículos aéreos no tripulados estará muy limitada en caso de desastres de tipo meteorológico, como tormentas eléctricas, fuertes lluvias, tornados, huracanes o eventos similares, ya que los UAV son vehículos aéreos relativamente pequeños, por lo que severas condiciones meteorológicas no les permitirían volar en las zonas afectadas por el desastre, al menos cuando este está en pleno desarrollo. Se necesita una comprensión profunda del desastre para prevenirlo eficientemente o minimizar su impacto (González & London, 2021). Para ello, y en este contexto, se clasifica el desastre en tres categorías según su impacto en las infraestructuras / instalaciones terrestres existentes en la zona / región afectada por el desastre como: (a) grave, (b) moderado y (c) leve.

Cuando el impacto del desastre se considera grave implica que el mismo es muy destructivo, dinámico y genera una gran afectación en las redes de comunicación, como pueden ser los desastres geofísicos e hidrológicos. Los desastres de tipo geofísicos incluyen terremotos (ver Figura 3), volcanes en erupción, deslizamientos de tierra y avalanchas, mientras que los desastres hidrológicos incluyen tsunamis, inundaciones repentinas y flujo masivo de escombros (Sargiacomo, Servalli, Potito, D'Andreamatteo & Gitto, 2021; Teh & Khan, 2021). Las redes terrestres, como las redes de sensores inalámbricos (WSN, su acrónimo en inglés) y las redes celulares, quedan gravemente afectadas o incluso destruidas por este tipo de desastre. Por tanto, las redes aéreas juegan un papel importante en este escenario. La red de vehículos aéreos no tripulados debería estar altamente equipada para que pueda llevar a cabo todo el proceso de gestión de desastres de forma independiente o con un apoyo mínimo de las redes terrestres (Nikhil, Shreyas, Vyshnavi & Yadav, 2020). Las redes verticales donde los vehículos aéreos no tripulados se comunican con plataformas o satélites de gran altitud pueden ofrecer un enlace alternativo para ayudar en las operaciones de gestión de desastres.



**Figura 3.** Asistencia de UAV en gestión de terremotos. Fuente: Flytbase (2024).

Por otro lado, cuando el impacto del desastre se considera moderado implica que el mismo es menos destructivo que la tipología anterior. Los desastres cuyo impacto es moderado incluyen los de tipo climatológicos como incendios forestales (ver Figura 4), desastres hidrológicos como inundaciones, y se incluyen aquí cierto tipo de desastres inducidos o generados por el hombre como explosiones de tipo industrial, colapso de grandes estructuras, incendios, contaminación química y/o de materiales peligrosos, etc. (Chen, Li, Chang & Zheng, 2021). Este tipo de desastres impactan parcialmente las redes terrestres existentes. Por tanto, la función del UAV, en este caso, es doble: reconectar las partes operativas de la red terrestre y realizar otras tareas específicas (Erdelj *et al.*, 2017; Wu, Zeng & Zhang, 2018; Wu, Fan, Yang, Sun & Guan, 2019).

En tercer lugar, se tienen los desastres cuyo impacto se puede considerar leve, estos incluyen los de tipo meteorológico como tormentas tropicales, huracanes, tormentas de arena, nevadas intensas, y fuertes lluvias; que no significan grandes impactos en infraestructuras o en la población. En caso de desastre meteorológico, las operaciones de los UAV son limitadas debido a las duras condiciones. La flexible movilidad y maniobrabilidad de los UAV se ven restringidas por fuertes vientos y tormentas. En este caso, sólo se pueden utilizar vehículos aéreos tripulados (también con capacidad de despegue y aterrizaje vertical) de gran tamaño, para apoyar la reconstrucción de las redes terrestres (Sziroczak, Rohacs & Rohacs, 2022).



**Figura 4.** Asistencia de UAV en gestión de incendios forestales. Fuente: Flytbase (2024).

### **Tareas asistidas por UAV durante la gestión del desastre.**

A continuación, se presenta la evolución de las tareas asistidas por UAV a lo largo del ciclo de desarrollo de un desastre. La operación de gestión de desastres pasa por múltiples fases en las que se siguen diferentes procedimientos para mitigar los impactos dañinos de los desastres (Erdelj *et al.*, 2017; Sakurai & Murayama, 2019).

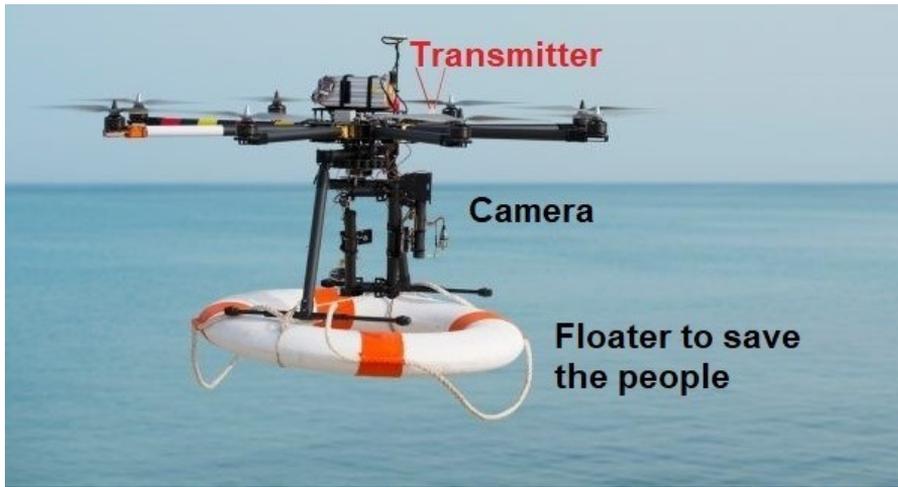
*Preparación:* en esta fase, el desastre aún no ha ocurrido y no hay señales directas que sugieran que pueda ocurrir en el muy corto plazo. Por lo tanto, esta fase podría tardar varias semanas o incluso meses antes del desastre, o posiblemente ocurrir en años, en el área de cobertura del sistema. En consecuencia, el costo y la durabilidad del sistema en esta etapa son esenciales. Para presentar argumentos eficaces para la gestión de desastres, esta tarea podría acompañarse de otras aplicaciones, como monitoreo ambiental, seguridad, vigilancia y gestión de recursos (Shamsoshoara, Afghah, Blasch, Ashdown & Bennis, 2021). Se pueden formar equipos especializados que conozcan todas las posibles aplicaciones y oportunidades para diseñar sistemas unificados, que logren múltiples tareas requeridas por varias entidades. Debido a que las redes de comunicaciones fijas como WSN, las comunicaciones celulares y las comunicaciones por satélite están permitiendo numerosas aplicaciones para la preparación ante desastres, los sistemas asistidos por vehículos aéreos no tripulados pueden proporcionar nuevos servicios y complementar la tarea de las redes fijas en muchos escenarios. Los sistemas asistidos por vehículos aéreos no tripulados pueden proporcionar teledetección aérea. Se puede monitorear,

pronosticar y mapear el área de interés instalando sensores como cámaras y sensores de medición de temperatura y concentración de gas a bordo del UAV. Los sistemas asistidos por UAV también pueden proporcionar un medio para acceder a WSN lejanas (Li, 2018). En lugar de un costoso despliegue de infraestructura de comunicaciones, los vehículos aéreos no tripulados pueden viajar hacia los dispositivos de detección para recopilar sus observaciones. Los objetivos en esta fase son (Mishra, Garg, Narang & Mishra, 2020): (a) proporcionar datos a los expertos en gestión de desastres que ayuden a predecir la evolución del desastre si surge; (b) proporcionar información sobre la región de interés, como lugares de emergencia y rutas para entregas o evacuaciones; y (c) proporcionar datos que permitan la detección temprana de desastres.

*Detección:* esta fase abarca el período que va desde el momento en que el desastre puede predecirse con alta probabilidad hasta que efectivamente se ocurre. En términos generales, los desastres pueden ser predecibles, según la disponibilidad de datos relevantes y las herramientas para analizarlos. La detección de fenómenos anormales en etapas tempranas a veces puede prevenir desastres. Por ejemplo, la detección temprana de incendios forestales puede influir en un conjunto simple de acciones para contener su propagación antes de que se conviertan en un desastre importante (Furutani & Minami, 2021; Kucharczyk & Hugenholtz, 2021). Aunque se pueden recopilar datos relevantes durante la fase de preparación para desastres, la disponibilidad de datos de manera oportuna no garantiza una detección temprana. Se necesitan herramientas de análisis de datos para que el sistema pueda reconocer y emitir alarmas de advertencia de forma autónoma cuando sea necesario. Con respecto a los sistemas asistidos por UAV, el análisis de datos se puede realizar a nivel de UAV, lo que se conoce como computación de borde, que consiste en capturar y procesar datos lo más cerca posible de su fuente o usuario final (normalmente la fuente de datos es un sensor de Internet de las Cosas). El procesamiento se realiza localmente colocando servidores u otro hardware cerca de la ubicación física de las fuentes de datos para procesar los datos o en una unidad central, lo que se conoce como computación en la nube (Liu, Zhang, Chen, Huang & Guo, 2020). La computación perimetral requiere capacidades informáticas adicionales para realizar procesamiento de señales, algoritmos de verificación o reconocimiento de características basadas en Inteligencia Artificial. La principal limitación de este enfoque es el consumo excesivo de batería del UAV debido a cálculos complejos. Además, el rendimiento de la detección, descrito por las probabilidades de detección errónea y falsa alarma, se basa únicamente en observaciones locales de vehículos aéreos no tripulados. Por otro lado, la computación en la nube puede ser más precisa ya que hay más datos y potencia de cálculo disponibles en la unidad central (Alhelaly, Muthanna & Elgendy, 2022). Sin embargo, la computación en la nube introduce un retraso adicional en la detección, ya que los datos deben transmitirse desde los UAV a una unidad central ubicada en un lugar potencialmente lejano. En este caso, se necesita un diseño de sistema de comunicación confiable para transmitir datos entre los UAV y una unidad central de manera oportuna.

*Evaluación:* esta fase ocurre cuando un desastre aún está en progreso. El papel de los vehículos aéreos no tripulados se vuelve más crucial en esta etapa, ya que el desastre podría haber dañado total o parcialmente la infraestructura de comunicación terrestre. Los principales objetivos del sistema asistido por UAV en esta fase son proporcionar conocimiento de la situación, realizar una inspección estructural (p.e. en el caso de terremotos) y llevar adelante una evaluación precisa de la situación (Avanzato & Beritelli, 2020). Esto se puede hacer inspeccionando el área terrestre en busca de recursos disponibles y transmitiendo estos datos al centro de control. Los vehículos aéreos no tripulados pueden suplir temporalmente las funciones de la infraestructura de comunicación terrestre dañada para proporcionar conectividad a la región afectada por el desastre. En caso de un desastre con impacto severo o relevante, los UAV pueden formar una red aérea que conecta a los usuarios cubiertos entre sí con Internet (Sabzehali *et al.*, 2022). Los UAV también se pueden implementar para unir nodos terrestres y relajar la carga de comunicación en los cuellos de botella de WSN, en caso de que las redes terrestres estén parcialmente operativas. También los UAV se pueden utilizar para representar partes de la región topográfica y observar la presencia humana y las infraestructuras e instalaciones inutilizables (Chen *et al.*, 2016; Yamazaki, Kubo, Tanabe & Liu, 2017). Incluso si la infraestructura de la red terrestre no está dañada, las comunicaciones asistidas por UAV pueden ser útiles para proporcionar servicios aéreos que luego se entregan a través de las redes terrestres.

*Respuesta en progreso:* después de la evaluación de los daños del desastre, el objetivo es auxiliar a personas afectadas (ver Figura 5), prevenir pérdidas adicionales y restaurar la infraestructura y los servicios dañados. Las redes asistidas por UAV en esta fase podrían proporcionar conectividad a los usuarios dentro de la región afectada transmitiendo datos a través de uno o más UAV (Xiong *et al.*, 2021). Esta conexión es crucial para desastres de impacto severo o grave, ya que proporciona un medio para distribuir instrucciones de evacuación y seguridad. Para desastres de impacto moderado o leve, las redes asistidas por vehículos aéreos no tripulados pueden resultar útiles para gestionar las demandas excesivas de servicios de comunicación. Por ejemplo, el desastre podría generar una aglomeración de personas que necesitan acceso adicional a Internet, generando una alta demanda de redes celulares. Los UAV pueden ayudar a la red celular ofreciendo enlaces temporales de descarga de tráfico. Además de los servicios de conectividad, diferentes tipos de cámaras y sensores; también existen actuadores especializados montados en vehículos aéreos no tripulados que pueden respaldar misiones de búsqueda y rescate o que podrían suministrar medicamentos y entrega de alimentos (Yakushiji *et al.*, 2020).



**Figura 5.** Asistencia de UAV en búsqueda y auxilio de personas afectadas, por ejemplo, en zonas acuáticas o en inundaciones. Fuente: CFD Flow Engineering (2024).

## Conclusiones

Los desastres, en cualquiera de sus tipologías, afectan negativamente el bienestar de la población afectada. Ahora bien, cuando los desastres son considerados graves o catastróficos, pueden generar un gran número de víctimas, además de una relevante afectación a las infraestructuras e instalaciones. Por lo tanto, cuando ocurre un desastre, una respuesta rápida y efectiva es fundamental para ayudar a la población, reduciendo el número de víctimas y mitigando el impacto económico. Independientemente del tipo de desastre que se deba abordar, su gestión implica un proceso o práctica que incluye mitigación, preparación, respuesta y recuperación.

Así, el uso de vehículos aéreos no tripulados o drones en una catástrofe tiene los siguientes beneficios: reducen el tiempo necesario para localizar a las víctimas lo que agiliza los procedimientos para una posterior intervención. Esto es gracias a que se logra cubrir la búsqueda en una gran zona y/o en un corto periodo de tiempo, y a que se proporciona información crítica a los rescatistas sobre la ruta que debe tomarse durante las operaciones. Además, los drones son capaces de buscar víctimas vivas enterradas bajo los escombros utilizando sensores como detección de ruido, detección binaria, vibración y detección de calor. La recopilación de datos precisos puede resultar extremadamente compleja en una situación de emergencia debido a la falta de acciones coordinadas por parte de varios organismos durante un desastre. Bajo estas circunstancias, los UAV pueden ser muy útiles al incorporar una combinación de herramientas de telecomunicaciones, teledetección y bases de datos orientadas espacial y temporalmente.

Futuras líneas de investigación, en las cuales se detecta un relevante vacío en la actual literatura científica, podrían ser, por ejemplo: (a) la configuración de rutas de drones dentro de zonas de exclusión aérea, sobre todo cuando esta implica a dos o más países, para facilitar y asegurar el despliegue de asistencia humanitaria vía vehículos aéreos no tripulados bajo situaciones de desastres; (b) gestión de operaciones de UAV bajo condiciones climáticas adversas, como la baja visibilidad, las lluvias torrenciales y los fuertes vientos; la mayor parte de la literatura evalúa solo comportamiento, prestaciones y/u operatividad de los drones en condiciones meteorológicas típicas; (c) análisis / evaluación de protocolos en operaciones de búsqueda y rescate mediante la utilización de UAV, dadas las limitaciones de las especificaciones del dron, como la duración de la batería; y, finalmente (d) evaluación de la capacidad de los drones en la identificación de víctimas, ya que esto es fundamental en un escenario de desastre.

## **Bibliografía**

- Abdujabarov, N., Shokirov, R., Takhirov, J., Saytov, K. & Bobomurodov, S. (2020). Prospects of the development of unmanned aerial vehicles (UAVs). *Aerospace Engineering*. <https://onx.la/7efec>
- Abolt, C., Caldwell, T., Wolaver, B. & Pai, H. (2018). Unmanned aerial vehicle based monitoring of groundwater inputs to surface waters using an economical thermal infrared camera. *Optical Engineering*, 57(5), 053113. DOI: <https://doi.org/10.1117/1.OE.57.5.053113>
- Ali, K., Nguyen, H., Vien, Q., Shah, P. & Raza, M. (2020). Deployment of drone-based small cells for public safety communication system. *IEEE Systems Journal*. DOI: 10.1109/JSYST.2019.2959668
- Alhelaly, S., Muthanna, A. & Elgendy, I. (2022). Optimizing Task Offloading Energy in Multi-User Multi-UAV-Enabled Mobile Edge-Cloud Computing Systems. *Applied Sciences*, 12, 6566. DOI: 10.3390/app12136566
- Asadzadeh, S., Oliveira, W. & Filho, C. (2022). UAV-based remote sensing for the petroleum industry and environmental monitoring: State-of-the-art and perspectives. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208, 109633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109633>
- Asnafi, M. & Dastgheibifard, S. (2018). A review on potential applications of unmanned aerial vehicle for construction industry. *Sustainable Structure and Materials*, 1(2), 44-53. DOI: <https://doi.org/10.26392/SSM.2018.01.02.044>
- Avanzato, R. & Beritelli, F. (2020). A Smart UAV-Femtocell Data Sensing System for Post-Earthquake Localization of People. *IEEE Access*, 8, 30262-30270. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2972699
- Azari, M., Rosas, F. & Pollin, S. (2019). Cellular connectivity for UAVs: Network modeling, performance analysis, and design guidelines. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 18(7), 3366-3381. DOI: 10.1109/TWC.2019.2910112
- Barn, B., Barat, S. & Clark, T. (2017). Conducting Systematic Literature Reviews and Systematic Mapping Studies. *Proceedings of the 10th Innovations in Software Engineering Conference*. DOI: 10.1145/3021460.3021489

- Bendig, J., Yu, K., Aasen, H. & Bolten, A. (2015). Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39, 79-87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.012>
- Cao, X., Yang, P., Alzenad, M., Xi, X., Wu, D. & Yanikomeroglu, H. (2018). Airborne communication networks: A survey. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 36(9), 1907–1926. DOI: 10.1109/JSAC.2018.2864423
- Chaudhary, T. & Piracha, A. (2021). Natural Disasters-Origins, Impacts, Management. *Encyclopedia*, 1(4), 1101-1131. DOI: 10.3390/encyclopedia1040084
- Chen, J., Liu, H., Zheng, J., Lv, M., Yan, B., Hu, X. & Gao, Y. (2016). Damage degree evaluation of earthquake area using UAV aerial image. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2052603. DOI: 10.1155/2016/2052603
- Chen, J., Mitra, U. & Gesbert, D. (2019). Optimal UAV relay placement for single user capacity maximization over terrain with obstacles. 20th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications. DOI: 10.1109/SPAWC.2019.8815496
- Chen, Y., Li, C., Chang, C. & Zheng, M. (2021). Identifying the influence of natural disasters on technological innovation. *Economic Analysis and Policy*, 70, 22-36. DOI: 10.1016/j.eap.2021.01.016
- Chiaraviglio, L., Liu, W., Gutierrez, J. & Blefari-Melazzi, N. (2017). Optimal pricing strategy for 5G in rural areas with unmanned aerial vehicles and large cells. 27th International Telecommunication Networks and Applications Conference. DOI: 10.1109/ATNAC.2017.8215406
- CFD Flow Engineering (2024). Classification and Application of Drones. <https://acortar.link/yf7kUX>
- CRED-UNDRR (2020). The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019). Disaster Epidemiology Research Center / United Nations Office for Disaster Risk Reduction. <https://onx.la/23e19>
- Ejaz, W., Azam, M., Saadat, S., Iqbal, F. & Hanan, A. (2019). Unmanned Aerial Vehicles enabled IoT Platform for Disaster Management. *Energies*, 12, 2706. DOI: 10.3390/en12142706
- Erdelj, M. & Natalizio, E. (2016). UAV-assisted disaster management: Applications and open issues. 2016 International Conference on Computing, Networking and Communications. DOI: 10.1109/ICCNC.2016.7440563
- Erdelj, M., Natalizio, E., Chowdhury, K. & Akyildiz, I. (2017). Help from the Sky: Leveraging UAVs for Disaster Management. *IEEE Pervasive Computing*, 16(1), 24-32. DOI: 10.1109/MPRV.2017.11
- Esteve, J. & Benlloch, C. (2017). Rights and Science in the Drone Era Actual Challenges in the Civil Use of Drone Technology. *Rights and Science*. <https://onx.la/4cf50>
- Fang, Z. & Savkin, A. (2024). Strategies for Optimized UAV Surveillance in Various Tasks and Scenarios: A Review. *Drones*, 8, 193. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones8050193>

- Flytbase (2024). Drone for Disaster Management-How Drones are Used for Emergency Response. <https://acortar.link/Bw2gvm>
- Fotouhi, A., Qiang, H., Ding, M., Hassan, M., Giordano, L., Garcia-Rodriguez, A. & Yuan, J. (2019). Survey on UAV cellular communications: Practical aspects, standardization advancements, regulation, and security challenges. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 21(4), 3417–3442. DOI: 10.1109/COMST.2019.2906228
- Furutani, T. & Minami, M. (2021). Drones for Disaster Risk Reduction and Crisis Response. In: Sakurai, M., Shaw, R. (Eds.) *Emerging Technologies for Disaster Resilience. Disaster Risk Reduction*. Singapore: Springer. DOI: 10.1007/978-981-16-0360-0\_4
- González, F. & London, S. (2021). Desastres naturales y su impacto. Una revisión metodológica. (2021). *Visión de Futuro*, 25(1), 43-52. DOI: DOI: 10.36995/j.visiondefuturo.2021.25.01.002.es
- Haakonsen, S., Ronnquist, A. & Labonnote, N. (2023). Fifty years of shape grammars: A systematic mapping of its application in engineering and architecture. *International Journal of Architectural Computing*, 21(1), 5-22. DOI: 10.1177/14780771221089882
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt, A. & Pulatov, A. (2019). UAV based soil salinity assessment of cropland. *Geoderma*, 338, 502-512. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.046>
- James, K., Randall, N. & Haddaway, N. (2016). A methodology for systematic mapping in environmental sciences. *Environmental Evidence*, 5, 7. DOI: 10.1186/s13750-016-0059-6
- JOUAV (2024). Emergency Response. <https://www.jouav.com/industry/emergency-response>
- Khan, A., Gupta, S. & Gupta, K. (2020). Multi-hazard disaster studies: Monitoring, detection, recovery, and management, based on emerging technologies and optimal techniques. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 47, 101642. DOI: 10.1016/j.ijdr.2020.101642
- Khan, A., Gupta, S. & Gupta, K. (2021). Unmanned aerial vehicle-enabled layered architecture based solution for disaster management. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 32(12), e4370, 1-29. DOI: 10.1002/ett.4370
- Kucharczyk, M. & Hugenholtz, C. (2021). Remote sensing of natural hazard-related disasters with small drones: Global trends, biases, and research opportunities. *Remote Sensing of Environment*, 264, 112577. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112577>
- Lee, S. & Choi, Y. (2016). Reviews of unmanned aerial vehicle (drone) technology trends and its applications in the mining industry. *Geosystem Engineering*, 19(4), 197–204. DOI: <https://doi.org/10.1080/12269328.2016.1162115>
- Li, X. (2018). Deployment of drone base stations for cellular communication without apriori user distribution information. 37th IEEE Chinese Control Conference. DOI: 10.23919/ChiCC.2018.8482797

- Liu, B., Zhang, W., Chen, W., Huang, H. & Guo, S. (2020). Online Computation Offloading and Traffic Routing for UAV Swarms in Edge-Cloud Computing. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(8), 8777-8791. DOI: 10.1109/TVT.2020.2994541
- Masum, M., Arrofi, M., Jati, G. & Arifin, F. (2013). Simulation of intelligent unmanned aerial vehicle (UAV) for military surveillance. *2013 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems*. DOI: 10.1109/ICACSIS.2013.6761569
- Mishra, B., Garg, D., Narang, P. & Mishra, V. (2020). Drone-surveillance for search and rescue in natural disaster. *Computer Communications*, 156. DOI: 10.1016/j.comcom.2020.03.012
- Mishra, D. & Natalizio, E. (2020). A survey on cellular-connected UAVs: Design challenges, enabling 5G/B5G innovations, and experimental advancements. *Computer Networks*, 182(9), 107451. DOI: 10.1016/j.comnet.2020.107451
- Mogili, U. & Deepak, B. (2018). Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science*, 133, 502-509. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.063>
- Mohsan, S., Khan, M., Noor, F., Ullah, I. & Alsharif, M. (2022). Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review. *Drones*, 6(6), 147. DOI: 10.3390/drones6060147
- Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M., Nam, Y. & Debbah, M. (2019). A tutorial on UAVs for wireless networks: Applications, challenges, and open problems. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(3), 2334-2360. DOI: 10.1109/COMST.2019.2902862
- Murray, C. & Chu, A. (2015). The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery. *Transportation Research Part C*, 84, 86-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.03.005>
- Nikhil, N., Shreyas, S., Vyshnavi, G. & Yadav, S. (2020). Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Disaster Management Applications. *Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology*. DOI: 10.1109/ICSSIT48917.2020.9214241
- Park, J., Das, A. & Park, J. (2015). Application trend of unmanned aerial vehicle (UAV) image in agricultural sector: Review and proposal. *Korean Journal of Agricultural Science*, 42(3), 269-276. DOI: <https://doi.org/10.7744/cnujas.2015.42.3.269>
- Rathore, N. (2015). Unlocking the potentiality of UAVs in mining industry and its implications. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(3), 852-855. DOI: 10.15680/IJIRSET.2015.0403007
- Sabzehali, J., Shah, V., Fan, Q., Choudhury, B., Liu, L. & Reed, J. (2022). Optimizing Number, Placement, and Backhaul Connectivity of Multi-UAV Networks. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(21), 21548-21560. DOI: 10.1109/JIOT.2022.3184323

- Saif, A., Dimiyati, K., Noordin, K., Shah, N., Abdullah, Q. & Mukhlif, F. (2020). Unmanned Aerial Vehicles for Post-Disaster Communication Networks. 10th International Conference on System Engineering and Technology. DOI: 10.1109/ICSET51301.2020.9265369
- Salama, M., Bahsoon, R. & Bencomo, N. (2017). Managing Trade-offs in Self-Adaptive Software Architectures: A Systematic Mapping Study. En Mistrik et al. (Eds.), *Managing Trade-offs in Adaptable Software Architectures* (249-297). Amsterdam: Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-12-802855-1.00011-3
- Sakurai, M. & Murayama, Y. (2019). Information technologies and disaster management – Benefits and issues. *Progress in Disaster Science*, 2, 100012. DOI: 10.1016/j.pdisas.2019.100012
- Sargiacomo, M., Servalli, S., Potito, S., D’Andreamatteo, A. & Gitto, A. (2021). Accounting for natural disasters from a historical perspective: A literature review and research agenda. *Accounting History*, 26(2), 179-204. DOI: 10.1177/10323732211003173
- Shamsoshoara, A., Afghah, F., Blasch, E., Ashdown, J. & Bennis, M. (2021). UAV-Assisted Communication in Remote Disaster Areas using Imitation Learning. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 738-753. DOI: 10.1109/OJCOMS.2021.3067001
- Sziroczak, D., Rohacs, D. & Rohacs, J. (2022). Review of using small UAV based meteorological measurements for road weather management. *Progress in Aerospace Sciences*, 134, 100859. DOI: 10.1016/j.paerosci.2022.100859
- Taipalus, T. (2023). Systematic Mapping Study in Information Systems Research. *Journal of the Midwest Association for Information Systems*, 1, 2. DOI: 10.17705/3jmw.000079
- Tan, L., Guo, J., Mohanarajah, S. & Zhou, K. (2021). Can we detect trends in natural disaster management with artificial intelligence? A review of modeling practices. *Natural Hazards*, 107, 2389–2417. DOI: 10.1007/s11069-020-04429-3
- Tatum, M. & Liu, J. (2017). Unmanned aircraft system applications in construction. *Procedia Engineering*, 196, 167-175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.187>
- Teh, D. & Khan, T. (2021). Types, Definition and Classification of Natural Disasters and Threat Level. In: Eslamian, S., Eslamian, F. (Eds.), *Handbook of Disaster Risk Reduction for Resilience*. Cham: Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-61278-8\_2
- Telli, K., Kraa, O., Himeur, Y., Ouamane, A., Boumehraz, M., Atalla, S. & Mansoor, W. (2023). A Comprehensive Review of Recent Research Trends on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Systems*, 11, 400. DOI: 10.3390/systems11080400
- Thavasi, P. & Suriyakala, C. (2012). Sensors and tracking methods used in wireless sensor network based unmanned search and rescue system - A review. *Procedia Engineering*, 38, 1935-1945. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.06.236
- Vakis, R. (2006). Complementing Natural Disasters Management: The Role of Social Protection. SP Discussion Paper, 0543. Social Protection. <https://onx.la/27974>

- van Tilburg, C. (2017). First Report of Using Portable Unmanned Aircraft Systems (Drones) for Search and Rescue. *Wilderness and Environmental Medicine*, 28(2), 116–118. DOI: 10.1016/j.wem.2016.12.010
- Villa, T. (2016). Development and validation of a UAV based system for air pollution measurements. *Sensors*, 16(2), 2202. DOI: <https://doi.org/10.3390/s16122202>
- Wanasinghe, T. (2020). Unmanned Aerial Systems for the Oil and Gas Industry: Overview, Applications, and Challenges. *IEEE Access*. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3020593
- Wu, Q., Zeng, Y. & Zhang, R. (2018). Joint trajectory and communication design for multi-UAV enabled wireless networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 17(3), 2109-2121. DOI: 10.1109/TWC.2017.2789293
- Wu, Y., Fan, W., Yang, W., Sun, X. & Guan, X. (2019). Robust trajectory and communication design for multi-UAV enabled wireless networks in the presence of jammers. *IEEE Access*, 8, 2893-2905. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2962534
- Xiong, Z., Zhang, Y., Lim, W., Kang, J., Niyato, D., Leun, C. & Miao, C. (2021). UAV-Assisted Wireless Energy and Data Transfer with Deep Reinforcement Learning. *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 7(1), 85-99. DOI: 10.1109/TCCN.2020.3027696
- Yakushiji, K., Fujita, H., Murata, M., Hiroi, N., Hamabe, Y. & Yakushiji, F. (2020). Short-Range Transportation Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) during Disasters in Japan. *Drones*, 4, 68. DOI: 10.3390/drones4040068
- Yamazaki, F., Kubo, K., Tanabe, R. & Liu, W. (2017). Damage assessment and 3d modeling by UAV flights after the 2016 Kumamoto, Japan earthquake. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. DOI: 10.1109/IGARSS.2017.8127673
- Zeng, Y., Zhang, R. & Lim, T. (2016). Wireless communications with unmanned aerial vehicles: opportunities and challenges. *IEEE Communications Magazine*, 54(5), 36–42. DOI: 10.1109/MCOM.2016.7470933
- Zhang, Y. (2024). Perceptive Mobile Networks for Unmanned Aerial Vehicle Surveillance: From the Perspective of Cooperative Sensing. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 19(2), 60-69. DOI: 10.1109/MVT.2024.3373931
- Zhao, N., Lu, W., Sheng, M., Chen, Y., Tang, J., Yu, F. & Wong, K. (2019). UAV-assisted emergency networks in disasters. *IEEE Wireless Communications*, 26(1), 45-51. DOI: 10.1109/MWC.2018.1800160
- Zwegliński, T. (2020). The use of drones in disaster aerial needs reconnaissance and damage assessment - three-dimensional modeling and orthophoto map study. *Sustain*, 12, 1–20. DOI: 10.3390/su12156080