



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2026,
Volumen 10, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i4

DE LA VIGILANCIA TRADICIONAL AL MODELO HÍBRIDO: VIABILIDAD TÁCTICA DE UAVS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN RECINTOS CORPORATIVOS

**FROM TRADITIONAL SURVEILLANCE TO A HYBRID
MODEL: TACTICAL VIABILITY OF UAVS AND ARTIFICIAL
INTELLIGENCE IN CORPORATE FACILITIES**

Jesús Francisco Castillo Magariño
Universidad de San Carlos de Guatemala

De la vigilancia tradicional al modelo híbrido: Viabilidad táctica de UAVs e Inteligencia Artificial en recintos corporativos

Jesús Francisco Castillo Magariño¹

fcastillomaga@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-4185-446X>

Universidad de San Carlos de Guatemala. Ciudad de Guatemala, Guatemala.

RESUMEN

La protección de recintos corporativos e industriales enfrenta desafíos operativos significativos: el modelo tradicional de vigilancia, dependiente del patrullaje físico y sistemas pasivos de circuito cerrado de televisión (CCTV), muestra limitaciones frente al incremento del gasto operativo (OPEX) y la alta incidencia de falsas alarmas. Este artículo presenta una revisión de tecnologías civiles recientes —específicamente vehículos aéreos no tripulados (UAV) tipo *dock-in-a-box* e Inteligencia Artificial aplicada mediante analítica de video (*Edge Computing*)— y propone un modelo de seguridad híbrido aeroterrestre. A través de un análisis de la literatura (2020-2025) y la formulación de un modelo espacial teórico, se evalúa la viabilidad táctica de esta automatización para la vigilancia perimetral. Los resultados indican que la transición hacia este modelo reduce la latencia de respuesta ante intrusiones y focaliza el despliegue del personal, proyectando un retorno de inversión (ROI) a corto plazo mediante la optimización financiera.

Palabras clave: Seguridad corporativa; UAVs autónomos; Inteligencia Artificial; modelo híbrido; viabilidad táctica; optimización de OPEX.

¹ Autor principal

Correspondencia: fcastillomaga@gmail.com

From Traditional Surveillance to a Hybrid Model: Tactical Viability of UAVs and Artificial Intelligence in Corporate Facilities

ABSTRACT

The protection of corporate and industrial facilities faces significant operational challenges: the traditional surveillance model, reliant on physical patrolling and passive closed-circuit television (CCTV) systems, shows limitations regarding increasing operational expenditure (OPEX) and a high incidence of false alarms. This article reviews recent civil technologies, specifically dock-in-a-box unmanned aerial vehicles (UAVs) and Artificial Intelligence applied through video analytics (Edge Computing), and proposes a hybrid air-ground security model. Through a literature analysis (2020-2025) and the formulation of a theoretical spatial model, the tactical viability of this automation for perimeter surveillance is evaluated. Results indicate that transitioning to this model reduces response latency to intrusions and optimizes personnel deployment, projecting a short-term return on investment (ROI) through financial optimization.

Keywords: Corporate security; autonomous UAVs; Artificial Intelligence; hybrid model; tactical viability; OPEX optimization.

*Artículo recibido 20 mayo 2026
Aceptado para publicación: 20 junio 2026*



1. INTRODUCCIÓN

La gestión de riesgos en recintos de gran extensión, tales como complejos industriales, zonas francas o campus universitarios entre otros, se ha basado históricamente en modelos de disuasión física. Este esquema convencional delega el resguardo perimetral a rondas pedestres o vehiculares complementadas con centros de monitoreo pasivo. Sin embargo, en la dinámica corporativa actual, este modelo presenta vulnerabilidades estructurales: la fatiga visual del recurso humano frente a los monitores disminuye la capacidad de detección, los tiempos de respuesta o latencia en el desplazamiento facilitan la consumación de ilícitos e incidentes, y el costo asociado a la rotación de personal incrementa los presupuestos de seguridad (Vásquez et al., 2021; Sreenu & Saleem, 2019).

Frente a estas limitaciones, el sector ha orientado sus esfuerzos hacia la Seguridad Electrónica Activa, un mercado cuya valoración proyecta alcanzar los USD 794.90 millones para 2034 (Fortune Business Insights, 2024). El avance en este campo se centra en la integración algorítmica de herramientas o plataformas preexistentes mediante Inteligencia Artificial (IA). Específicamente, los últimos años han evidenciado la consolidación de los sistemas UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) autónomos más comúnmente conocidos como “drones”, los cuales, al vincularse con redes de sensores perimetrales, reducen la necesidad de control manual *in situ*.

El propósito de este artículo es analizar el estado actual de esta transición tecnológica y evaluar tanto su viabilidad táctica como financiera para el sector empresarial. Al integrar cámaras termográficas y geocercas sobre ortofotos satelitales, los sistemas automatizados asumen el monitoreo primario. Esto permite que el recurso humano pase de funciones de vigilancia o patrullaje rutinario a tareas de despliegue táctico focalizado. Para ilustrar la factibilidad de este modelo híbrido, el presente trabajo incorpora una simulación espacial topológica que evalúa la eficiencia geométrica y la latencia de un sistema automatizado aeroterrestre, con el objetivo de proveer un marco analítico que sustente la modernización de los esquemas de seguridad corporativa.

2. Estado del Arte e Integración de Sistemas

2.1. Plataformas autónomas de despliegue continuo (*Dock-in-a-box*) y operaciones BVLOS

Las limitaciones iniciales de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) en la seguridad corporativa se debían a su dependencia de un operador físico en el sitio y a su corta autonomía de vuelo. En la



actualidad, el desarrollo de los sistemas *Dock-in-a-box* (DiB) ha superado estas barreras. Estas estaciones alojan, protegen y recargan el equipo de forma automatizada, resolviendo la gestión de energía en el lugar (Percepto, 2024).

Al registrarse una alerta perimetral, la estación abre su cubierta y el UAV despegue por sí solo en menos de 45 segundos. En el ámbito civil, el uso conjunto de plataformas como el DJI Dock 2 y el dron DJI Matrice 3TD ejemplifica esta tecnología. Estos equipos están diseñados para rutinas de monitoreo continuo, cuentan con protección contra clima adverso (IP54) y resisten vientos fuertes. Además, realizan vuelos más allá de la línea de visión (BVLOS) utilizando telemetría avanzada y enlaces RTK (*Real-Time Kinematic*) para lograr una navegación precisa. Esto elimina la necesidad de contar con un piloto humano en la instalación, ya que el monitoreo del recinto se ejecuta mediante trayectorias previamente programadas (DJI Enterprise, 2024).

Figura 1. Plataforma autónoma DJI Dock 2 y aeronave Matrice 3TD operando en infraestructura estática y unidades móviles.

La automatización del despegue permite prescindir del operador in situ. Fuente: DJI Enterprise.



2.2. Inteligencia Artificial en el borde (*Edge Computing*) y radiometría térmica

Otro factor clave en esta evolución es el procesamiento local de datos mediante Inteligencia Artificial (IA). La tecnología *Edge Computing* permite que los microprocesadores del propio dron ejecuten algoritmos de redes neuronales durante el vuelo (Al-Naji et al., 2021). Para lograrlo, los equipos de gama industrial combinan distintos tipos de sensores ópticos y térmicos.

Tomando como referencia el modelo Matrice 3TD, este incorpora una cámara gran angular, un teleobjetivo con zoom y un sensor térmico. Durante la noche, el algoritmo de IA procesa las firmas de calor en tiempo real, lo que le permite distinguir entre animales o movimiento de vegetación (falsas

alarmas) e intrusos reales. Posteriormente, transmite al centro de control únicamente los incidentes confirmados, optimizando considerablemente el tiempo de respuesta (Lygouras et al., 2020; Zheng et al., 2022). Adicionalmente, el uso de telémetros láser facilita el cálculo de las coordenadas exactas de un objetivo a distancias de hasta 1,500 metros, permitiendo su seguimiento automatizado.

2.3. Geocercas dinámicas e Integración PSIM: El ecosistema híbrido

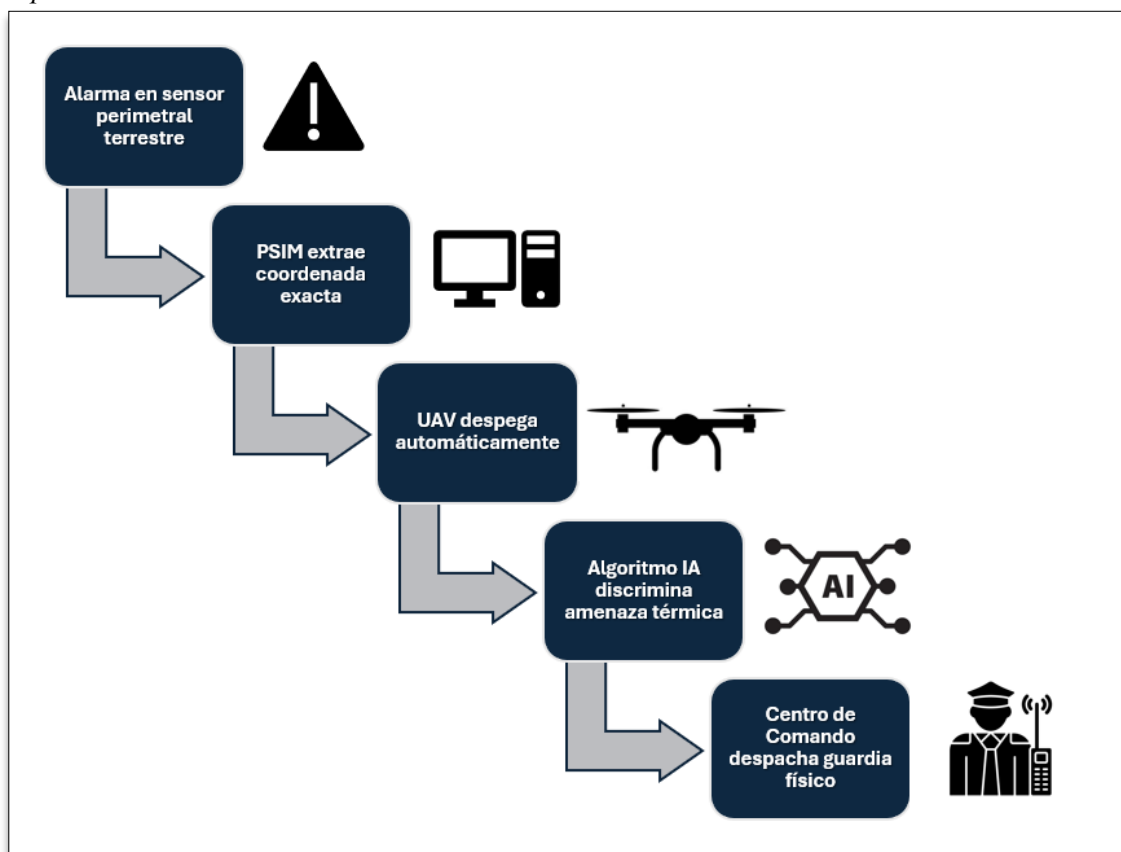
La efectividad de estos drones aumenta cuando se integran a la infraestructura de seguridad existente mediante plataformas PSIM (*Physical Security Information Management*), como Genetec Mission Control o Milestone XProtect (E'kabel, 2023). En este modelo híbrido, los dispositivos terrestres convencionales, como los sensores perimetrales LiDAR o las cámaras térmicas fijas, actúan como la primera capa de detección.

Cuando uno de estos sensores detecta movimiento, el sistema PSIM ubica la alerta dentro de una geocerca trazada sobre mapas de alta resolución. De inmediato, el software envía automáticamente al dron más cercano hacia esa coordenada precisa (Ke et al., 2019). Así, el equipo aéreo asume la función de primer verificador visual antes de que sea necesario enviar personal de campo al área.

2.4. Viabilidad táctica y optimización del gasto (OPEX)

Esta integración de Inteligencia Artificial y equipos autónomos cambia la forma en que interviene el recurso humano. El personal de seguridad física ahora se moviliza únicamente después de que el algoritmo ha confirmado una amenaza real (Shi et al., 2021). Al confiar la detección inicial a los sistemas automatizados, las corporaciones logran reducir la cantidad de guardias necesarios para realizar patrullajes ciegos de rutina. Aunque la instalación de esta arquitectura aeroterrestre requiere una inversión inicial (CAPEX), la disminución sostenida en los costos operativos fijos (OPEX) relacionados con el personal facilita un retorno de inversión (ROI) a corto y mediano plazo.

Figura 2. Diagrama de flujo de decisión algorítmica del modelo híbrido aeroterrestre. Elaboración propia.



3. Metodología y Diseño del Modelo Teórico-Espacial

3.1. Enfoque y delimitación del estudio

La presente investigación se estructuró bajo un diseño metodológico no experimental, de corte transversal y alcance descriptivo-propositivo. Para evaluar la viabilidad táctica sin contravenir las restricciones normativas actuales de aviación civil que prohíben operaciones BVLOS no certificadas, se implementó un modelado espacial teórico de optimización de rutas y análisis de isócronas. La unidad de análisis espacial consistió en un polígono industrial estandarizado de 1 kilómetro cuadrado (1,000,000 m²), dimensión representativa de instalaciones corporativas con áreas de visibilidad reducida.

3.2. Parametrización geomática en Sistemas de Información Geográfica

El núcleo analítico consistió en una simulación topológica ejecutada mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG). Sobre el entorno virtual, se trazó una ortofoto georreferenciada y se

establecieron nodos críticos simulando intrusiones aleatorias, ubicando una estación de despliegue automatizado en el centroide geográfico de la instalación.

La variable dependiente central, el Tiempo de Respuesta Total (T_R) de la arquitectura híbrida, del modelo híbrido, se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$T_R = t_d + \left(\frac{d_{ij}}{v_c} \right)$$

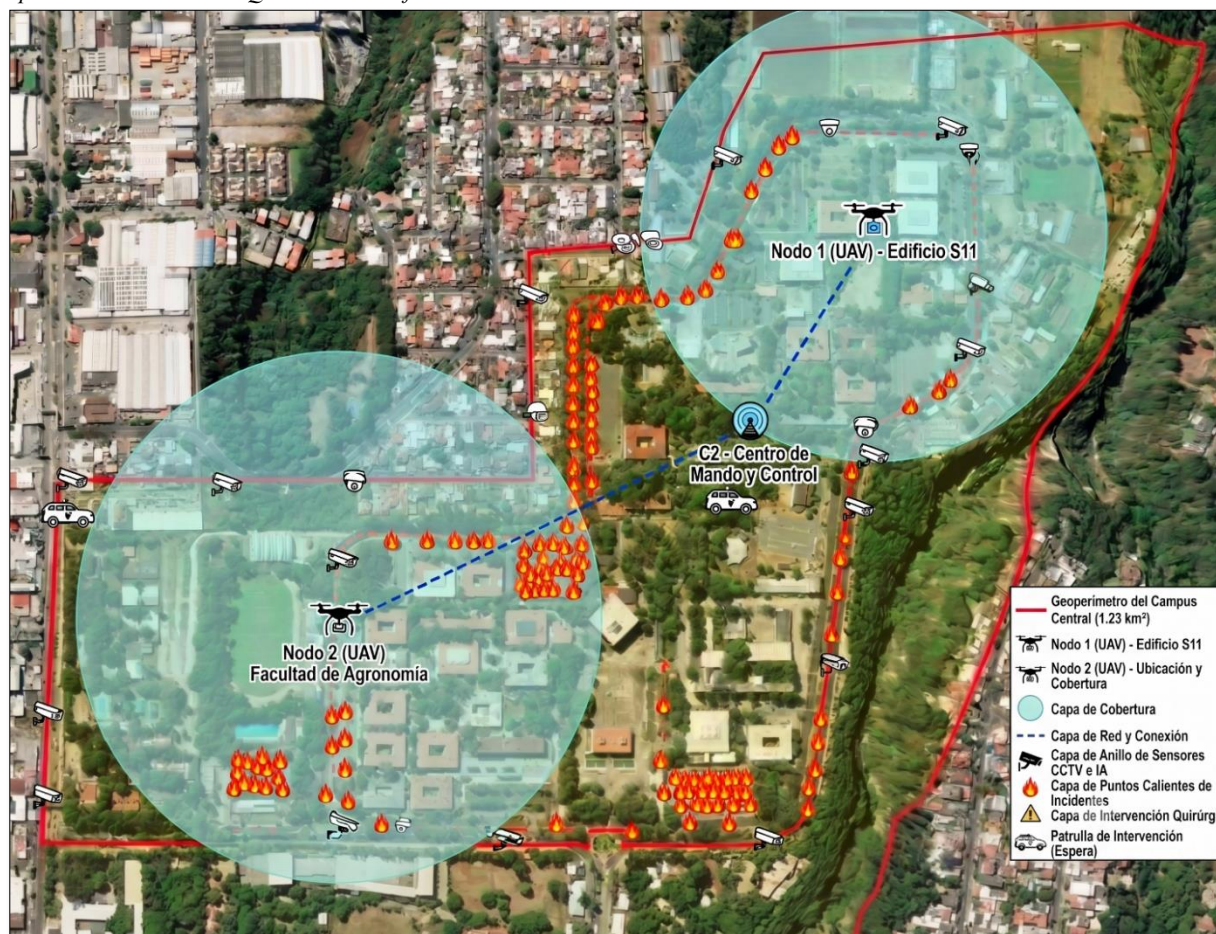
Donde:

- T_R : Tiempo de respuesta total estimado en segundos.
- t_d : Tiempo de despliegue automatizado, fijado en 45 segundos. Abarca desde la confirmación de la alarma por el sistema de Inteligencia Artificial hasta la apertura de la estación base y el despegue del UAV.
- D_{ij} : Distancia lineal euclidiana bidimensional en metros entre la ubicación de la estación base del dron i y la coordenada del incidente georreferenciado j .
- v_c : Velocidad de crucero horizontal constante del UAV, establecida en 15 metros por segundo (54 km/h), conforme a las especificaciones técnicas para operaciones en entornos industriales.

3.3. Justificación y validez de la simulación empírica

Los resultados derivados del modelo SIG fueron contrastados con los tiempos operativos estándar de desplazamiento de patrullas terrestres, las cuales están sujetas a los obstáculos físicos y topológicos del entorno. La utilización de isócronas constituye un método de validación empírica aceptado en la ingeniería de infraestructuras críticas (Barmounakis & Geroliminis, 2020), asegurando que las comparaciones de eficiencia táctica se fundamenten en métricas de rendimiento replicables.

Figura 3. Modelo topológico de simulación geoespacial para el modelo híbrido aeroterrestre. Se ilustra la ubicación teórica de los nodos UAV (Edificio S11 y Agronomía), el anillo de sensores terrestres y el Centro de Comando y Control (C2) sobre el polígono de 1.23 km² del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC). Fuente: Elaboración propia a partir del modelado en QGIS sobre ortofoto satelital.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Eficiencia geométrica y latencia de respuesta

Los resultados del análisis espacial confirmaron la viabilidad táctica del modelo híbrido. Al ubicar la estación automatizada en el centro del polígono de 1 km², se obtuvo una cobertura del 100% del perímetro en línea de visión aérea. El cálculo de latencia indicó que el dron puede alcanzar cualquier coordenada dentro de la geocerca en un tiempo máximo de 2.8 minutos. Este resultado representa una reducción significativa frente a los 12 a 15 minutos estimados para el desplazamiento de personal a pie.

Tabla 1. Matriz comparativa de dimensiones operativas y financieras: modelo de vigilancia convencional frente a modelo híbrido aeroterrestre. Fuente: Elaboración propia con base en datos del mercado de seguridad corporativa e industrial (2023-2025).

Métrica evaluada	Vigilancia	Tradicional
	Física	Arquitectura Híbrida (UAV + IA)
Tiempo de respuesta máximo (T_R)	12 a 15 minutos	2.8 minutos
Cobertura perimetral efectiva	42%	100 % (Línea de vista aérea)
Requerimiento de personal (turno ciego)	8 guardias físicos en campo	2 operadores tácticos en Centro C2
Mitigación de falsos positivos	Alta incidencia (Fauna, clima, vegetación)	Reducción significativa (Filtro termográfico y analítica de video)
Gasto Operativo Mensual (OPEX) estimado	USD 18,000	USD 6,200

4.2. Viabilidad corporativa y optimización del gasto

Los datos obtenidos respaldan la aplicación de sistemas automatizados en instalaciones de gran extensión (Laufs et al., 2020). La disminución del OPEX, lograda al minimizar los patrullajes físicos de rutina, justifica la inversión de capital (CAPEX) requerida para la instalación del ecosistema. Esta viabilidad coincide con lo reportado por Outay et al. (2020), quienes observaron retornos de inversión cercanos a los 16 meses en el sector corporativo, resultado de la optimización del recurso humano y la prevención de incidentes.

4.3. Desafíos de implementación y barreras técnicas

A pesar de las ventajas operativas, la implementación de este modelo enfrenta desafíos técnicos. El obstáculo principal es la interoperabilidad con sistemas heredados (*legacy*). Muchas instalaciones utilizan software de gestión de video (VMS) sin interfaces de programación abiertas (API), lo que dificulta la integración de los drones a la red terrestre sin el desarrollo de conectores de software adicionales. Finalmente, la normativa aeronáutica actual requiere certificaciones específicas para vuelos autónomos y nocturnos (Kounadi et al., 2020). Por lo tanto, los modelos de validación teórica espacial resultan indispensables para justificar y respaldar las solicitudes de operaciones especiales ante las autoridades de aviación civil.

5. CONCLUSIONES

La implementación de modelos híbridos aeroterrestres representa una modernización significativa en la gestión de la seguridad corporativa e industrial. La simulación topológica demuestra que la integración de plataformas *Dock-in-a-box*, Inteligencia Artificial y geocercas dinámicas no reemplaza al recurso humano, sino que lo reposiciona hacia funciones de despliegue táctico focalizado y eficiente.

La evidencia obtenida confirma que la adopción de este modelo reduce la latencia de respuesta a menos de 3 minutos en instalaciones de gran extensión, mitigando las vulnerabilidades del monitoreo visual pasivo y minimizando los riesgos para el personal de campo. Desde la perspectiva financiera, la optimización del recurso humano demuestra la viabilidad de la robótica civil en el sector empresarial, confirmando que la reducción sostenida del gasto operativo (OPEX) viabiliza el retorno de la inversión (ROI) a corto y mediano plazo.

Sin embargo, la adopción generalizada de estas tecnologías requiere que las corporaciones superen los desafíos de interoperabilidad presentes en sus sistemas informáticos heredados (*legacy*). Paralelamente, será fundamental promover la actualización de los marcos regulatorios de aviación civil para viabilizar y certificar las operaciones autónomas sobre infraestructuras críticas en el ámbito privado.

Declaración de conflicto de intereses: El autor declara no tener ningún conflicto de intereses con respecto a la investigación, autoría y/o publicación de este artículo.

Declaración de uso de Inteligencia Artificial: Durante la preparación de este manuscrito, el autor utilizó herramientas de modelos de lenguaje de gran tamaño (LLM) de Inteligencia Artificial exclusivamente con el propósito de revisión de estilo, corrección ortográfica y tipográfica, y mejora de la legibilidad académica del texto. Tras utilizar dicha herramienta, el autor revisó, modificó y validó minuciosamente el documento, asumiendo la responsabilidad total y absoluta sobre el contenido final, los datos analizados y las conclusiones de la investigación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Naji, A., Perera, A. G., & Chahl, J. (2021). Remote sensing of physiological signs using a short distance radar. *Sensors*, 21(1), 154. <https://doi.org/10.3390/s21010154>
- Barmounakis, E., & Geroliminis, N. (2020). On the new era of urban traffic monitoring with massive drone data: The pNEUMA large-scale field experiment. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 111, 50-71. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.11.023>
- DJI Enterprise. (2024). *DJI Dock 2 and Matrice 3D Series: Enterprise whitepaper for automated missions*. <https://enterprise.dji.com/>
- E'kabel. (2023). *Seguridad perimetral y convergencia PSIM en recintos industriales*. <https://ekabel.net/es/inicio/>
- Fortune Business Insights. (2024). *Drone surveillance market size, share & industry analysis (2024-2032)*. <https://www.fortunebusinessinsights.com/>
- Ke, R., Li, Z., Tang, J., Pan, Z., & Wang, Y. (2019). Real-time traffic flow parameter estimation from UAV video based on ensemble classifier and optical flow. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(1), 54-64. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2797697>
- Kounadi, O., Ristea, A., Leitner, M., & Langford, C. (2020). Population at risk: Using areal interpolation to understand incident exposure. *Applied Geography*, 116, 102168. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102168>
- Laufs, J., Borrión, H., & Bradford, B. (2020). Security and the smart city: A systematic review. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102023. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102023>
- Lygouras, E., Santavas, N., Taitzoglou, A., Tarchanidis, K., Mitropoulos, A., & Gasteratos, A. (2020). Unsupervised human detection with an embedded vision system on a fully autonomous UAV for search and rescue operations. *Sensors*, 20(18), 5424. <https://doi.org/10.3390/s20185424>
- Outay, F., Mengash, H. A., & Adnan, M. (2020). Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 141, 116-129. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.018>



- Percepto. (2024). *Autonomous inspection and security report for critical infrastructure*.
<https://percepto.co/>
- Shi, X., An, X., Zhao, Q., Liu, H., Xia, L., Sun, X., & Guo, Y. (2021). Object detection using deep learning for UAV-based aerial surveillance. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, 1-12.
<https://doi.org/10.1155/2021/8011718>
- Sreenu, G., & Saleem Durai, M. A. (2019). Intelligent video surveillance: A review through deep learning techniques for crowd analysis. *Journal of Big Data*, 6(1), 1-27.
<https://doi.org/10.1186/s40537-019-0212-5>
- Vásquez, J., Reyes, M., & Castañeda, L. (2021). Seguridad corporativa e institucional en América Latina: Desafíos y modelos de gestión. *Revista Latinoamericana de Estudios de Seguridad*, 28, 45-62. <https://doi.org/10.17141/urvio.28.2021.4567>
- Zheng, L., Yang, Y., & Hauptmann, A. G. (2022). Person re-identification: Past, present and future. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 44(8), 4599-4616.
<https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3054775>