

Tipo de artículo: Artículo original

Implementación de un sistema de reconocimiento facial en un dron de bajo costo

Implementation of a facial recognition system in a low-cost drone

Diego Patricio González Sacoto ^{1*} , <https://orcid.org/0000-0003-4783-374X>

Melany Jazmín Yarad Jácome ² , <https://orcid.org/0000-0002-6098-7500>

Edilberto Antonio Llanes-Cedeño ³ , <https://orcid.org/0000-0001-6739-7661>

Rodrigo Sebastián Muñoz-Proano ⁴ , <https://orcid.org/0009-0005-6553-0365>

¹ Ingeniería Electrónica y Automatización, Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Línea de investigación: Automática y Robótica. Ecuador. Correo electrónico: dpgonzalez@espe.edu.ec

² Departamento de Seguridad y Defensa, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Línea de investigación: Seguridad y Defensa. Ecuador. Correo electrónico: mjyarad@espe.edu.ec

³ Ingeniería Automotriz, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK, Línea de investigación: Desarrollo Tecnológico. Ecuador. Correo electrónico: antonio.llanes@uisek.edu.ec

⁴ Estudiante de pregrado de Ingeniería Mecatrónica, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK, Línea de investigación: Desarrollo Tecnológico. Correo electrónico: rsmunoz.mtr@uisek.edu.ec

* Autor para correspondencia: dpgonzalez@espe.edu.ec

Resumen

Este estudio se enfoca en la implementación de un sistema de visión artificial en un dron de bajo costo, mediante el empleo de una cámara integrada, con aplicaciones prácticas en ámbitos como seguridad, vigilancia, búsqueda y rescate, este vehículo no tripulado estará dotado de una cámara para la captura de imágenes en tiempo real, las cuales se transmitirán a un sistema de procesamiento el mismo que utilizará el algoritmo de reconocimiento facial Viola Jones; este algoritmo permite la identificación y el seguimiento de personas específicas previamente ingresadas en una base de datos, con lo cual se facilita una respuesta ágil y precisa en situaciones de emergencia o en la búsqueda de individuos en entornos de difícil acceso. Se enfatiza, además, la importancia de reducir los costos asociados a la implementación del sistema de reconocimiento facial, manteniendo la calidad y el rendimiento del dron. La implementación del sistema involucra la selección de un dron de bajo costo, el desarrollo del sistema de reconocimiento facial, mediante la sinergia de tecnologías como el aprendizaje automático y la visión por computadora para mejorar la precisión y eficiencia del sistema.

Palabras clave: Dron; reconocimiento facial; Viola Jones; visión

Abstract

This study focuses on the implementation of an artificial vision system in a low-cost drone, through the use of an integrated camera, with practical applications in areas such as security, surveillance, search and rescue, this unmanned vehicle will be equipped with a camera to capture images in real time, which will be transmitted to a processing system that will use the Viola Jones facial recognition algorithm; This algorithm allows the identification and monitoring of specific people previously entered in a database, thereby facilitating an agile and precise response in emergency situations or in the search for individuals in difficult-to-access environments. The importance of reducing the costs associated with the implementation of the facial recognition system, while maintaining the quality and performance of the drone, is also emphasized. The implementation of the



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

system involves the selection of a low-cost drone, the development of the facial recognition system, through the synergy of technologies such as machine learning and computer vision to improve the accuracy and efficiency of the system.

Keywords: Drone; facial recognition; Viola Jones; vision

Recibido: 07/01/2024

Aceptado: 19/03/2024

En línea: 21/03/2024

Introducción

La evolución del reconocimiento facial ha sido constante a lo largo de los años, siendo un sistema de gran relevancia en diversos sectores de la sociedad. Desde sus inicios, con el empleo de una tabla RAND donde se ubican los rasgos faciales básicos, siendo estos: los ojos, la nariz y la boca, y llegando a la actualidad, con la construcción bases de datos a partir de diferentes perspectivas del rostro, las cuales son aplicables en sistemas de reconocimiento facial basados en redes neuronales o en visión por computadora, como OpenCV. Estos avances han generado resultados acordes a las demandas de uso; sin embargo, los sistemas de visión artificial enfrentan desafíos, como las variaciones en la iluminación que dificultan la detección, y la necesidad de equipos sofisticados para el procesamiento de datos comparativos.

Los avances en la tecnología de drones, el desarrollo de sistemas de reconocimiento facial y la reducción de costes de fabricación de drones y componentes electrónicos han sentado las bases para el diseño e implementación de un dron de bajo coste con cámara y sistema de reconocimiento facial; pues en los últimos años, se han producido importantes progresos en la tecnología de los drones, lo que ha permitido su desarrollo y uso en una gama amplia de aplicaciones, incluyendo mejoras en la estabilidad del vuelo, autonomía de la batería, sistemas de control y las capacidades de carga útil, como cámaras y sensores (Salgado, 2019).

El reconocimiento facial es una tecnología en evolución rápida que ha experimentado importantes avances en los últimos años, identificando el desarrollo de algoritmos y técnicas más sofisticadas para el análisis de rasgos faciales únicos, lo que lleva a mejoras en la precisión y confiabilidad del reconocimiento facial (Deng, Guo, Xue, & Zafeiriou, 2019). Dicho esto, se ha demostrado que el reconocimiento facial puede ser una herramienta eficaz en aplicaciones de seguridad y vigilancia. Organizaciones y agencias gubernamentales han utilizado sistemas de reconocimiento facial para identificar y rastrear personas sospechosas, controlar el acceso a áreas restringidas y detectar actividades delictivas; pues el reconocimiento facial es un área de análisis operante en específico de cómo reconocer rostros en imágenes o vídeos. El proceso corresponde a detectar una cara de las muchas caras que el sistema reconoce, una vez que se completa la fase de detección facial, se continua con el reconocimiento facial (Kaspersky Lab, 2023) (cabe



indicar que para usar visión artificial es indispensable indicar que detección es diferente a reconocimiento), es un paso importante pues identifica a la persona que se busca; las imágenes de las personas se guardan en una base de datos donde empieza la comparación y la similitud de los rasgos facial para identificar al sujeto correspondiente.

Este proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un sistema de reconocimiento facial utilizando bibliotecas de OpenCV basadas en el algoritmo Viola-Jones, mismo que se ejecuta en el entorno de desarrollo Visual Studio Code y con una interfaz hombre-máquina desarrollada en Qt Designer. Al referirse a la transmisión del video, esta se hace desde la cámara montada en el dron mediante WiFi hacia un ordenador, donde la interfaz permitirá la visualización del video y el control del vuelo del dron.

Materiales y métodos

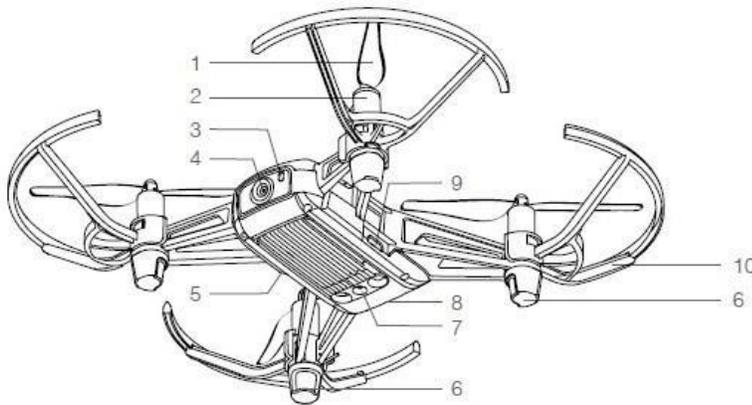
El mercado de drones posee diversos tipos en la que destaca el cuadricóptero con 4 hélices, que son adecuadas, porque su sistema de propulsión les proporciona la capacidad de realizar vuelos en estático (Montero, 2018), lo que las hace adecuadas para la vigilancia en general. Para la base del estudio se seleccionó un dron *Dji Tello Edu* Modelo: TLW004, es un dron fabricado por Ryze Tech en colaboración DJI, es un cuadricóptero con una cámara integrada, posee diferentes formas de vuelo, cuenta con un sistema de posicionamiento visual y controlador de vuelo, puede realizar vuelo estacionario, este dron se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Dron *Dji Tello Edu*.

En la Figura 2 se muestra la identificación de los componentes funcionales del dron *Dji Tello Edu* Modelo: TLW004.





1. Hélices
2. Motores
3. Indicador del estado de la aeronave
4. Cámara
5. Botón de encendido
6. Antenas
7. Sistema de posicionamiento visual
8. Batería de vuelo
9. Puerto micro USB
10. Protector de hélices

Figura 2. Partes funcionales del dron Dji Tello Edu (Rzyer, 2018).

Las especificaciones técnicas del dron brindan una referencia de su funcionamiento y estas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características técnicas del Dji Tello Edu (Modelo: TLW004) (Rzyer, 2018).

Tiempo aproximado de vuelo	13 minutos
Frecuencia de funcionamiento	De 2.4 a 2.4835 GHz
Peso (incluido las hélices)	87 gramos
Tamaño de la imagen	2592 x 1936
Modos de grabación de video	HD: 1280 x 720 30p
Formato de video	MP4
Capacidad de la batería	1100 mAh
Voltaje de la batería	3.8 V
Tipo de batería	LiPo

Otro componente fundamental para el desarrollo de la investigación es el computador que se encargara de funciones como: base de datos, ejecución del algoritmo de reconocimiento facial Viola Jones entre otros. El algoritmo que fue propuesto por Paul Viola y Michael Jones fue la primera técnica de detección facial que, además, presenta una rapidez y precisión apta para su uso en tiempo real; este método se basa en el uso de una serie de características denominadas Haar-like features, que se obtienen a partir del producto escalar entre una imagen y un patrón simple del mismo tamaño que la imagen.

Este producto escalar tendrá signo positivo o negativo según cómo se describa el propio patrón, del que existe una gran variedad. El resultado que se obtiene será el que se compare para determinar si se encuentra o no una cara en una



zona determinada de la imagen (Jiménez, 2018), el algoritmo puede representarse en un código de programación que se encuentra en la página oficial de OPEN CV como una librería.

El algoritmo Viola-Jones se utiliza para la detección de objetos y, en este proyecto, se emplea para la detección facial computacional en tiempo real aprovechando patrones de luminosidad, en donde el proceso de captura de imágenes implica dividir los canales rojo, verde, azul (RGB) o rojo, verde e intensidad (RGI), que componen la luz blanca.

La metodología aplicada en este proyecto inicia con la preparación de datos, empleando conjuntos de imágenes positivas y negativas para entrenar al sistema, posterior se extraen características visuales simples llamadas "características de Haar", que son patrones rectangulares que representan cambios locales en la intensidad de los píxeles.

Cada celda o pixel detectado, corresponde a los valores RGB de uno solo, creando una escala de luminosidad; si el píxel en los tres canales tiende a 0 (R: 0, G: 0, B: 0), indica falta de luminosidad pues esto equivalente a una zona oscura. Por el contrario, como los valores RGB tienden a ser más brillantes, con un valor de 255 en los tres canales representa el color blanco (González, y Velásquez, 2019).

Durante la detección, la cascada escanea la imagen en múltiples escalas y ubicaciones, evaluando cada región con los clasificadores para determinar la presencia del objeto. Finalmente, se aplican técnicas de postprocesamiento para refinar y mejorar la precisión de las detecciones. En sí, la metodología del algoritmo Viola-Jones implica la extracción de características de Haar, el aprendizaje de un clasificador robusto y la organización en una cascada para la detección eficiente de objetos en imágenes, destacándose por su rapidez y precisión en la detección en tiempo real (Hasan, y Sukhramani, 2018; Jurevičius et al., 2019).

En cuanto a elementos de software se usa Python, donde se destaca el uso de las librerías PyQt5, Cv2, Numpy y Tello Sdk, así también es necesario indicar que es indispensable la instalación de Visual Studio Build Tools, Visual Studio Code, Qt Designer. La metodología utilizada para alcanzar el objetivo de reconocimiento facial se describe en la Figura 3.



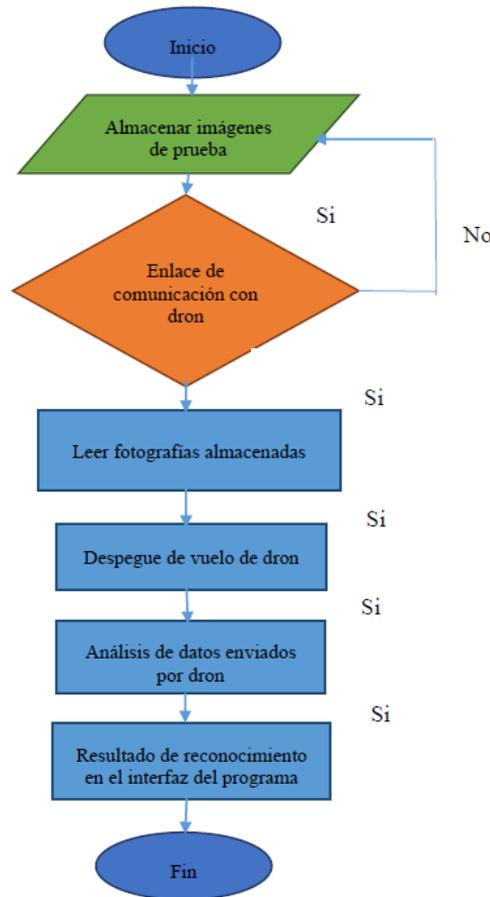


Figura 3. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de reconocimiento facial.

Como se observa en el diagrama de flujo representado en la Figura 3, el proceso para el reconocimiento facial da inicio con la adquisición imagen, siendo esta una fotografía del usuario objetivo, la cual posteriormente se carga en una base de datos en formato JPG, asociada al nombre correspondiente del usuario; la imagen se convierte a escala de grises con el fin de estandarizar la intensidad, reduciendo así los cambios de iluminación que podrían afectar la efectividad del algoritmo y la extracción de características faciales. El proceso de entrenamiento para la detección facial mediante el algoritmo de OpenCV se realiza utilizando patrones de Viola-Jones, lo que permite una aplicación en tiempo real; de hecho, el reconocimiento facial se lleva a cabo mediante la comparación de la fotografía cargada en la base de datos con las imágenes capturadas en tiempo real.

Si se detectan similitudes el sistema procede a identificar al usuario asociado y mostrar su nombre correspondiente, en el caso de no cumplir con las características mínimas de reconocimiento facial, se realiza una retroalimentación donde se vuelven a comparar parámetros. En ausencia de similitud, el algoritmo solo realizará la detección facial, marcando

el rostro con un recuadro rojo, sin realizar el reconocimiento facial debido a la falta de correspondencia con la base de datos.

Cómo parte de la implementación se implementa una interfaz hombre máquina en el software Qt Designer como se puede visualizar en la figura 4, que además de mostrar las imágenes que transmite el dron en tiempo real, permite realizar el control de vuelo del dron.

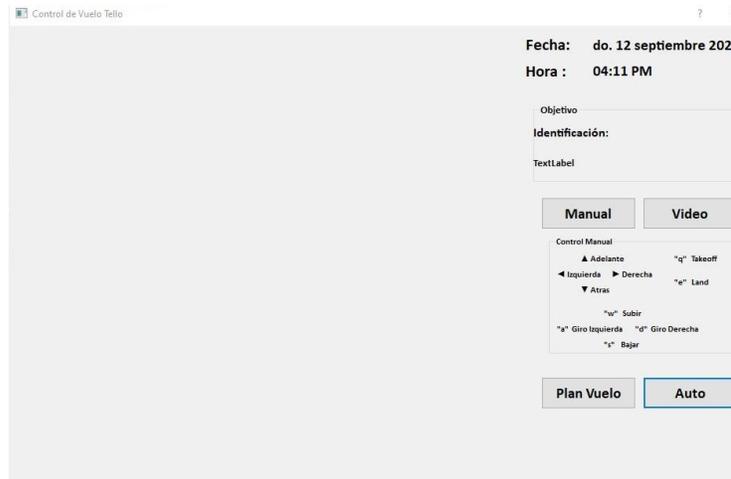


Figura 4. Diseño de la interfaz hombre máquina para control del dron.

Para el proceso de pruebas se almacenó en la base de datos la imagen de tres personas con las que se pretende realizar el reconocimiento facial, las mismas que estarán dispersas dentro de un grupo mayor de personas, además se efectuaron pruebas de vuelo para determinar la distancia de reconocimiento de la cámara y retardo de transferencia de datos.

Resultados y discusión

Para la descripción y discusión de los resultados se considera las pruebas que se realizaron en base a los aspectos de control de vuelo, alcance y altura, interconectividad y el reconocimiento facial.

La configuración para el reconocimiento facial con el dron establece una altura específica de hasta 2 metros con respecto al suelo y una distancia de 2 metros respecto a la persona objetivo. Este parámetro se determina en función de la resolución de la cámara, que alcanza una resolución de 720p bajo luz directa del sol. Esta resolución limitada implica una menor capacidad de apreciación de los detalles durante la transmisión de video hacia el ordenador base (puede ser un PC). Además, el dron junto con el reconocimiento facial representa un gasto energético en la batería, dando como resultado una autonomía de 10 min, estas especificaciones serán tomadas como las condiciones adecuadas en la realización de pruebas de reconocimiento facial.



En lo que respecta a las condiciones de vuelo del dron sin tomar en cuenta el reconocimiento facial la altitud máxima a la que el vehículo no tripulado puede elevarse es de 4.5 metros, además, se establece una distancia máxima horizontal de 10 metros respecto al ordenador receptor, dentro de la cual el dron puede operar de manera efectiva sin mostrar pérdidas en la transmisión y comunicación Dron – PC

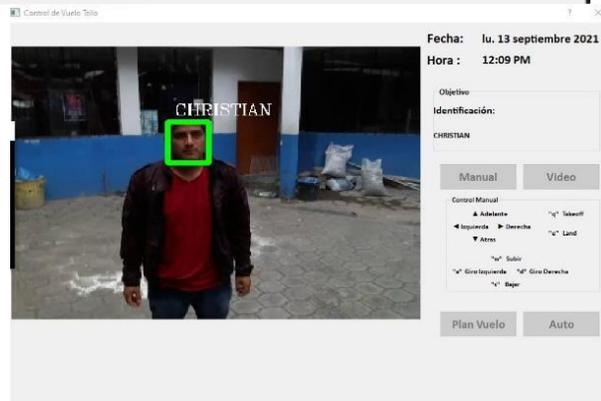
En las pruebas de reconocimiento determinaron el reconocimiento de hasta 3 personas de un solo vuelo, pero esto tiene consecuencia a la hora de la transmisión de video ya que se puede apreciar un retraso significativo de hasta 4 segundos. En la tabla 2 se muestra algunas personas que fueron identificados en la prueba de reconocimiento.

Tabla 2. Resultados de reconocimiento facial.

Persona registrada en la base de datos



Resultado de Reconocimiento





Los resultados obtenidos en el proceso de reconocimiento facial aplicado a tres sujetos indican un porcentaje del 100% en cuanto al reconocimiento facial y la identificación de estos. En la tabla 2, se encuentran registradas las imágenes correspondientes a los sujetos, las cuales están almacenadas en la base de datos. En el lado derecho de la tabla se presenta el resultado obtenido por el sistema tras el proceso de reconocimiento.

El lapso temporal requerido para la recopilación de datos guarda una relación directa con la cantidad de imágenes almacenadas en la carpeta de origen. Durante el proceso experimental, se emplearon tres imágenes, lo que resultó en un tiempo de 1 minuto y 50 segundos para la apertura de la interfaz gráfica. En una prueba posterior, al aumentar el número de imágenes a cinco, el tiempo se extendió a 2 minutos y 30 segundos para completar la misma tarea.

Estos resultados indican que a medida que se incrementa el número de imágenes en la base de datos, se incrementa también el tiempo necesario para cargar la interfaz gráfica y dar inicio al proceso de reconocimiento facial lo que implica mayor cantidad de procesamiento y disminución en la velocidad de procesado, concordando con los resultados obtenidos por (González, y Velásquez, 2019).

Conclusiones

Considerando las limitaciones técnicas asociadas a los drones de bajo costo para llevar a cabo reconocimiento facial efectivo, es evidente que existen desafíos significativos que deben abordarse para mejorar su rendimiento en esta área. La calidad de imagen proporcionada por las cámaras de baja resolución afecta la nitidez y el detalle de las imágenes capturadas, lo que puede comprometer la precisión del reconocimiento facial al no permitir una identificación clara de las características faciales. En consecuencia, se hace evidente la necesidad de buscar soluciones técnicas para mejorar la calidad de las imágenes capturadas por los drones de bajo costo, ya sea mediante la incorporación de cámaras de mayor resolución o el desarrollo de tecnologías de estabilización más efectivas. Asimismo, se debe prestar atención al



desarrollo de algoritmos de reconocimiento facial que puedan adaptarse a las limitaciones técnicas de estos drones y proporcionar resultados precisos incluso con imágenes de calidad inferior.

El reconocimiento facial emerge como una alternativa prometedora para la identificación de individuos en una variedad de aplicaciones, incluyendo la seguridad, vigilancia y búsqueda y rescate. Su naturaleza no intrusiva y la mínima colaboración requerida por parte del usuario durante el proceso de reconocimiento lo convierten en un método atractivo en diversos escenarios. Sin embargo, se ha observado que los tiempos de respuesta pueden ser prolongados cuando se trabaja con bases de datos extensas, lo que podría resultar en retrasos en la identificación de personas o en una menor precisión en la coincidencia de rostros. Además, la limitada capacidad de procesamiento, especialmente en el caso de sistemas implementados en drones de bajo costo, representa una consideración importante en situaciones donde se requiere una identificación facial rápida y precisa, esta limitación podría ser aún más evidente, afectando la efectividad y la fiabilidad del sistema. Por lo tanto, es crucial tener en cuenta este factor al diseñar e implementar sistemas de reconocimiento facial, especialmente cuando se utilizan drones de bajo costo.

Agradecimientos

Agradecimiento a los colaboradores Sr. Christian Guanotasig y David Chicaiza Tecnólogos del Instituto Tecnológico Universitario Sucre por haber aportado con su tiempo, esfuerzo y dedicación en las actividades de campo lo que ha permitido la realización del presente estudio.

Conflictos de intereses

Los autores no poseen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Diego Patricio González Sacoto, Melany Jazmín Yarad Jácome
2. Curación de datos: Diego Patricio González Sacoto, Melany Jazmín Yarad Jácome
3. Análisis formal: Diego Patricio González Sacoto, Edilberto Antonio Llanes-Cedeño
4. Investigación: Diego Patricio González Sacoto, Edilberto Antonio Llanes-Cedeño
5. Metodología: Diego Patricio González Sacoto, Edilberto Antonio Llanes-Cedeño
6. Administración del proyecto: Diego Patricio González Sacoto
7. Software: Melany Jazmín Yarad Jácome, Rodrigo Sebastián Muñoz-Proañó
8. Supervisión: Diego Patricio González Sacoto, Edilberto Antonio Llanes-Cedeño
9. Validación: Diego Patricio González Sacoto, Melany Jazmín Yarad Jácome



10. Visualización: Edilberto Antonio Llanes-Cedeño, Rodrigo Sebastián Muñoz-Proañó
11. Redacción – borrador original: Diego Patricio González Sacoto, Melany Jazmín Yarad Jácome, Edilberto Antonio Llanes-Cedeño, Rodrigo Sebastián Muñoz-Proañó
12. Redacción – revisión y edición: Diego Patricio González Sacoto, Melany Jazmín Yarad Jácome, Edilberto Antonio Llanes-Cedeño, Rodrigo Sebastián Muñoz-Proañó

Financiamiento

La investigación fue financiada por los autores.

Referencias

- Deng, J., Guo, J., Xue, N., & Zafeiriou, S. (2019). Arcface: Additive angular margin loss for deep face recognition. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition (pp. 4690-4699).
- Gonzalez, H., & Velásquez, S. (2019). Reconocimiento facial utilizando Viola-Jones y patrones binarios. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 23(92), 57-63.
- Hasan, M. A., & Sukhramani, D. S. (2018). "Face Recognition using UAVs". *International Journal of Computer Applications*, 182(38), 22-25.
- Jiménez Silva, I. (2018). Reconocimiento facial basado en redes neuronales convolucionales. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.
- Jurevičius, R., Goranin, N., Janulevičius, J., Nugaras, J., Suzdalev, I., & Lapusinskij, A. (2019). Method for real time face recognition application in unmanned aerial vehicles. *Aviation*, 23(2), 65-70.
- Kaspersky Lab. (2023). kaspersky. Retrieved from <https://latam.kaspersky.com/resource-center/definitions/what-is-facial-recognition>.
- Montero, J. (2018, septiembre 28). Trodone. Retrieved from ¿Qué diferencias hay entre un cuadricóptero y un dron de ala fija?: <https://www.todrone.com/cuadricoptero-dron-ala-fija/>.
- Ryzer, R. (2018, mayo 01). Manual de Usuario Dron Tello. Manual de Usuario.
- Salgado Garciglia, R. (2019). Sabermás. DRONES: Tecnología a control remoto. Retrieved from Sabermás: <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/tecnologia/150-numero-1957/301-drones-tecnologia-a-control-remoto.html>

