



Ciencia y Poder Aéreo

ISSN: 1909-7050

ISSN: 2389-9468

ESCUELA DE POSTGRADOS DE LA FUERZA AÉREA
COLOMBIANA

Erazo Yáñez, Carlos Patricio; Navarrete Cedillo, Gabriela Alexandra
Detección de pistas aéreas ilegales en imágenes digitales empleando técnicas de inteligencia artificial
Ciencia y Poder Aéreo, vol. 18, núm. 1, 2023, Enero-Junio, pp. 47-56
ESCUELA DE POSTGRADOS DE LA FUERZA AÉREA COLOMBIANA

DOI: <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.758>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=673573184004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)



Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Detección de pistas aéreas ilegales en imágenes digitales empleando técnicas de inteligencia artificial

| Fecha de recibido: 22 de julio 2022 | Fecha de aprobado: 28 de septiembre 2022 |

| Reception date: July 22, 2022 | Approval date: September 28, 2022 |

| Data de recebimento: 22 de julho de 2022 | Data de aprovação: 28 de setembro de 2022 |

Carlos Patricio Erazo Yáñez

<https://orcid.org/0000-0002-7427-4042>

✉ cerazo@fae.mil.ec

Magíster en Inteligencia Artificial

Mayor

Fuerza Aérea Ecuatoriana

Ecuador

Rol del investigador: teórico y escritura

Grupo de investigación: Tecnologías de
Información y Comunicaciones

Master in Artificial Intelligence

Major

Fuerza Aérea Ecuatoriana

Ecuador

Researcher's role: theoretical and writing

Research group: Information and
Communication Technologies

Mestre em Inteligência Artificial

Major

Fuerza Aérea Ecuatoriana

Ecuador

O papel do pesquisador: teórico e escrito

Grupo de investigação: Tecnologias
de Informação e Comunicação

Gabriela Alexandra Navarrete Cedillo

<https://orcid.org/0000-0001-7580-5581>

✉ gancedillo@hotmail.com

Magíster en Inteligencia Artificial

Independiente

Ecuador

Rol del investigador: teórico y escritura

Grupo de investigación: Tecnologías de
Información y Comunicaciones

Master in Artificial Intelligence

Independent

Ecuador

Researcher's role: theoretical and writing

Research group: Information and
Communication Technologies

Mestre em Inteligência Artificial

Independente

Ecuador

O papel do pesquisador: teórico e escrito

Grupo de investigação: Tecnologias
de Informação e Comunicação

Cómo citar este artículo: Erazo Yáñez, C. P. y Navarrete Cedillo, G. A. (2023). Detección de pistas aéreas ilegales en imágenes digitales empleando técnicas de inteligencia artificial. *Ciencia y Poder Aéreo*, 18(1), 47-56. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.758>



Detección de pistas aéreas ilegales en imágenes digitales empleando técnicas de inteligencia artificial

Detection of illegal airstrips in digital images using artificial intelligence techniques

Detecção de tiras de ar ilegais em imagens digitais usando técnicas de inteligência artificial

Resumen: El Ecuador es considerado un país de tránsito de actividades de narcotráfico y contrabando. Al ser una problemática actual en la frontera norte y costera del territorio nacional, para estas actividades ilegales se utilizan pistas aéreas no autorizadas donde se transportan sustancias sujetas a fiscalización, dinero, armas, municiones y explosivos.

La investigación se basará en diseñar y desarrollar una metodología de uso mediante técnicas de inteligencia artificial para el análisis y el procesamiento de las imágenes que serán obtenidas de las misiones de reconocimiento que realicen los aviones de la Fuerza Aérea Ecuatoriana. Para el reconocimiento de pistas clandestinas, se utilizará el método de detección de objetos basado en aprendizaje profundo y técnicas de segmentación.

Palabras clave: aprendizaje profundo; detección de objetos; inteligencia artificial; pistas de aterrizaje.

Abstract: Ecuador is considered a transit country for drug trafficking and smuggling activities. Being a current problem in the northern and coastal border of the national territory, unauthorized airstrips are used for these illegal activities where controlled substances, money, weapons, ammunition and explosives are transported.

The research will be based on the design and development of a methodology using artificial intelligence techniques for the analysis and processing of images that will be obtained from reconnaissance missions carried out by Ecuadorian Air Force airplanes. For the recognition of clandestine airstrips, the deep learning-based object detection method and segmentation techniques will be used.

Keywords: Deep learning; object detection; artificial intelligence; runways.

Resumo: O Equador é considerado um país de trânsito para atividades de contrabando e tráfico de drogas. Como um problema atual na fronteira norte e costeira do território nacional, são utilizadas pistas de pouso não autorizadas para essas atividades ilegais, onde substâncias controladas, dinheiro, armas, munições e explosivos são transportados.

A pesquisa será baseada no projeto e desenvolvimento de uma metodologia que utiliza técnicas de inteligência artificial para a análise e processamento de imagens obtidas em missões de reconhecimento realizadas por aeronaves da Força Aérea Equatoriana. Para o reconhecimento de pistas clandestinas, será utilizado o método de detecção de objetos baseado no aprendizado profundo e técnicas de segmentação.

Palavras-chave: Aprendizagem profunda; detecção de objetos; inteligência artificial; tiras de ar.

Introducción

El Ecuador, durante muchos años, fue considerado un país de tránsito para actividades ilegales relacionadas con el narcotráfico. Sin embargo, las leyes promulgadas por los gobiernos de turno y una falta de asignación de recursos para el control de estupefacientes durante los últimos diez años han convertido a este territorio en un nuevo punto de producción, almacenamiento y traslado de sustancias sujetas a fiscalización en la región. Todo esto ha brindado amplia expectativa a las mafias criminales, y al ser un país dolarizado, se convierte en una estancia deseada por todas las bandas criminales que operan en los países de Centroamérica.

Producto de una escalada de estas organizaciones delictivas y sus operaciones ilícitas en la región, durante el año 2021 se han registrado hechos de extrema violencia en las principales ciudades del país. Con esto, han saturado los Centros de Rehabilitación Social donde se encuentran las personas privadas de la libertad por narcotráfico y crimen organizado. Es así como los hechos producidos en la Penitenciaría del Litoral de la ciudad de Guayaquil durante septiembre fue considerada la emergencia más grande por crisis carcelaria, con una cifra de 116 reclusos privados de la libertad muertos (*Diario El Universo*, 2021).

Una de las principales causas de esta problemática radica en la lucha del territorio por el control del tráfico de drogas y armas, empleando pistas aéreas clandestinas dedicadas a actividades narcodelictivas en la zona costera del territorio nacional. Aquí, operan dos carteles considerados los más peligrosos de la región, quienes dirigen sus operaciones desde Ecuador. Para la consecución de sus objetivos, estas organizaciones usan un grupo de “ataque” (sicarios) como “Los Choneros”, identificados con el cartel de Sinaloa, y “Los Lobos”, identificados con el cartel de Jalisco Nueva Generación, quienes se disputan un enfrentamiento continuo por el control de estas actividades ilícitas.

Por tal razón, se establece la importancia del trabajo de investigación, el mismo que permitirá la identificación oportuna de pistas de aterrizaje ilegales

empleando imágenes digitales, proporcionadas por las aeronaves de vigilancia y reconocimiento de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE). Los resultados de este trabajo permitieron identificar, mediante imágenes y video, las zonas establecidas para el desarrollo de actividades narcodelictivas. De esta forma, se reducirán las operaciones para el transporte aéreo de armas y estupefacientes que realizan estas organizaciones, con lo cual se contribuye directamente a la percepción de seguridad interna de la población ecuatoriana, así como a mejorar las capacidades de control y destrucción de pistas aéreas ilegales.

Bases teóricas de conocimiento

“La visión artificial es una rama de la inteligencia artificial cuyo propósito es diseñar sistemas capaces de entender elementos y características de una imagen o escena del mundo real” (Núñez, 2016), siendo relacionada estrechamente con el reconocimiento de patrones y técnicas de procesamiento de imágenes para detectar áreas de interés e identificar y clasificar los objetos encontrados en función de sus características.

La clasificación o el reconocimiento de imágenes consiste en asignar una etiqueta a una imagen, en función de las características de un conjunto definido de categorías. Las “imágenes para estos algoritmos son matrices tridimensionales cuyas dimensiones son ancho, alto y profundidad” (Monroy de Jesús *et al.*, 2019).

Es necesario conocer que el *machine learning* (aprendizaje automático) “es un área de la inteligencia artificial que engloba un conjunto de técnicas que hacen posible el aprendizaje automático a través del entrenamiento con grandes volúmenes de datos” (Russo *et al.*, 2016), y “con el fin de mejorar la eficiencia en el reconocimiento de objetos con imágenes y video, existen modernos algoritmos basados en técnicas de *deep learning* (López *et al.*, 2021).

Deep learning, o también conocido como “aprendizaje profundo”, es una de las técnicas más poderosas y de mayor crecimiento de la inteligencia artificial. Realiza el procesamiento de datos mediante redes

neuronales convolucionales (CNN, por sus siglas en inglés), técnica que se utiliza en el algoritmo para la detección de objetos en esta investigación.

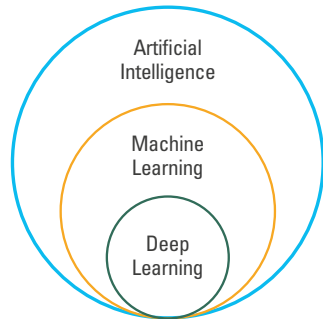


Figura 1. Inteligencia Artificial (AI), Aprendizaje Automático (ML), Aprendizaje Profundo (DL)

Fuente: Berchane (2018). M2 IESCI.

La CNN es un tipo de red neuronal artificial con aprendizaje supervisado que procesa capas imitando al córtex visual del ojo humano, que usa la identificación de características en las distintas entradas. Para realizar este procedimiento, tiene varias capas ocultas especializadas y con una jerarquía, de tal forma que llegue a las capas más profundas que reconozcan formas complejas como rostros o siluetas de un objeto (Moreira, 2021).

En la detección de objetos como pistas aéreas ilegales se utilizó YOLOv4, un algoritmo de código abierto que está basado en una CNN inspirada en el sistema GoogleNet, usado para la clasificación de imágenes. Está formado por veinticuatro capas *convolutional* y dos capas *fully-connected*, que tienen dimensiones de 1x1 para reducir la profundidad de las anteriores capas (Redmon *et al.*, 2016), como se muestra en la figura 2.

A diferencia de otros sistemas de detección, el algoritmo YOLO establece la detección de objetos como un solo problema de regresión (Sánchez y González-Díez, 2020), directamente desde los píxeles de la imagen hasta las coordenadas del cuadro delimitador. El modelo entrenado solo observa una vez la imagen para predecir qué objetos están presentes y dónde están ubicados (López *et al.*, 2021), con lo cual logra optimizar el tiempo de detección con eficiencia en el procesamiento de imágenes y de video en tiempo real.

Estado del arte

Existen otros estudios realizados para detección de pistas aéreas clandestinas. En 2017, se desarrolló la investigación “Drone autónoma para identificación de pistas

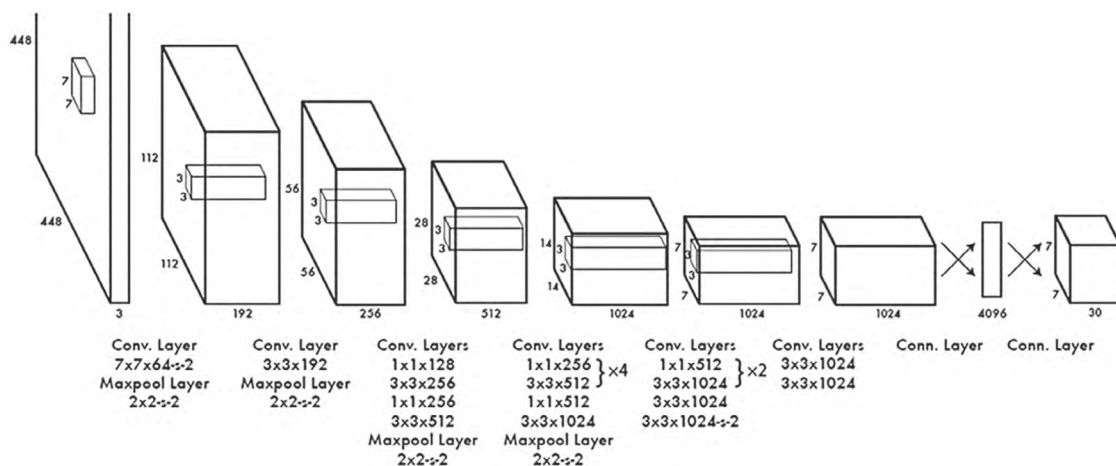


Figura 2. Estructura YOLO

Fuente: Miranda-Pérez *et al.* (2019).

aéreas clandestinas” (Cedeño-Bravo et al., 2017), en la cual se emplearon drones para la detección de pistas clandestinas en imágenes captadas, previo el ingreso de las coordenadas geográficas al sistema del vehículo aéreo no tripulado (UAV). Las imágenes obtenidas fueron analizadas utilizando el *software* Global Mapper, y una vez procesadas por un grupo de análisis, se determinó si la zona puede ser utilizada como una pista aérea ilegal para realizar despegues y aterrizajes cortos.

Esta investigación permitió continuar con la línea de trabajo futuro propuesto, desarrollando el algoritmo de detección con técnicas de inteligencia artificial para la detección de pistas aéreas ilegales basado en CNN.

Para contrarrestar los resultados obtenidos, las pruebas se realizaron en pistas aéreas previamente identificadas para determinar, con el recurso humano del grupo de análisis, si la zona cumple los requisitos como pista improvisada o clandestina. Mientras que para las pruebas de validación de la presente investigación se utilizaron técnicas de inteligencia artificial mediante un algoritmo de detección. Adicional a esto, se debe considerar que las imágenes obtenidas fueron de zonas rurales y costeras en el año 2021, empleando medios aéreos donde la identificación de pistas aéreas ilegales es de mayor complejidad.

Los resultados obtenidos fueron producto del aumento de la potencia de cómputo, la capacidad de procesamiento en GPU y la disposición de grandes conjuntos de datos convenientemente etiquetados, lo cual impulsa el desarrollo del aprendizaje profundo (Fernández y Paredes, 2019).

Otra mejora propuesta fue la personalización del algoritmo de detección basado en YOLOv4, considerando que se ha logrado un rápido desarrollo de la detección de objetos con CNN y se ha predicho probabilidades superiores al 80 % para la detección de pistas aéreas ilegales.

Finalmente, en la personalización del algoritmo se utilizó “*data augmentation*”, que es una técnica extendida y muy útil para mejorar los resultados de los sistemas detectores de objetos” (Gutiérrez, 2019). Consiste en crear nuevos datos mediante pequeñas

transformaciones o distorsiones sobre los datos originales, lo cual contribuyó al entrenamiento del modelo con un resultado final del 85,76 % de precisión.

Objetivos y metodología

Objetivo general

Desarrollar un modelo de aprendizaje profundo con técnicas de inteligencia artificial para la identificación y detección de pistas aéreas clandestinas, utilizando imágenes de reconocimiento de los aviones de la FAE.

Objetivos específicos

1. Obtener las imágenes digitales de pistas aéreas clandestinas de los aviones de la FAE.
2. Clasificar y etiquetar las imágenes disponibles de pistas aéreas en las imágenes obtenidas.
3. Generar el *dataset* a ser utilizado con las imágenes obtenidas mediante técnicas de *data augmentation*.
4. Determinar el algoritmo de entrenamiento y aprendizaje automático para la detección de pistas aéreas clandestinas.
5. Establecer un modelo de detección de objetos basado en aprendizaje profundo con YOLO para el análisis y el procesamiento de las imágenes.

Metodología del trabajo

La metodología a seguir está basada en CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining), utilizado para normalizar el proceso de análisis de datos y el descubrimiento de conocimiento por medio del aprendizaje profundo. El propósito es evaluar los entrenamientos hasta obtener un algoritmo deseado validado, evaluando continuamente el modelo y recibiendo una retroalimentación de los resultados obtenidos. Al final, se obtendrá un detector de pistas aéreas clandestinas personalizado.

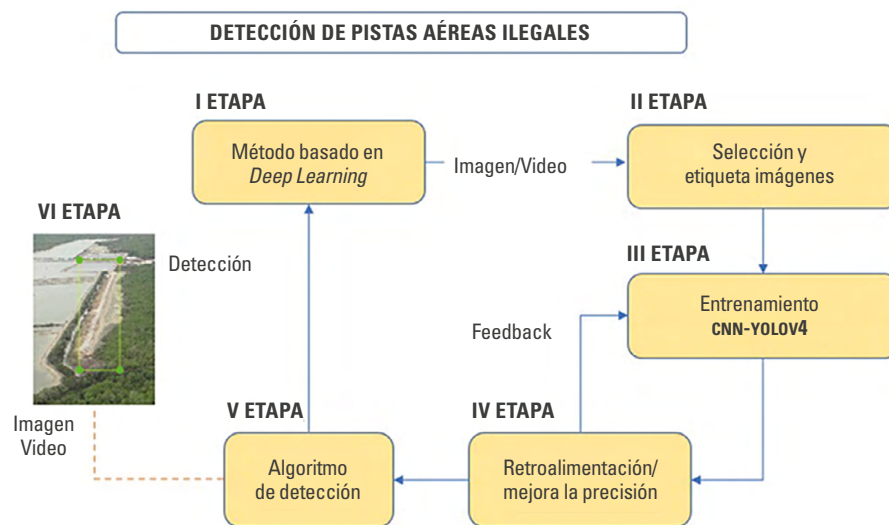


Figura 3. Metodología CRISP-DM

Fuente: elaboración propia.

Cabe manifestar que esta propuesta de metodología se basa principalmente en las seis etapas descritas en la figura 3.

Primera etapa (comprensión del problema): Esta etapa inicial es muy importante, ya que si no se comprenden los objetivos del proyecto a desarrollar, no servirá su aplicación. En esta etapa, se entendió la problemática, se identificaron los requerimientos necesarios y se establecieron los beneficios del desarrollo. Posteriormente, se determinaron los objetivos estableciendo las metas a lograr, buscando obtener un modelo entrenado con una precisión superior al 80 % para establecer la detección de pistas aéreas ilegales en el Ecuador.

Segunda etapa (comprensión de los datos): En esta fase, se realizará la recolección de imágenes de pistas aéreas ilegales disponibles en el Comando de Operaciones Aéreas y Defensa, así como en el Comando Operacional N.º 2 “Occidental”. Así mismo, se define el tipo de imagen y formato para nuestro entrenamiento, que serán imágenes *.jpg como formato establecido.

Tercera etapa (preparación de datos): En esta fase, se seleccionarán las imágenes que serán consideradas en nuestro *dataset* de entrenamiento, con dos mil imágenes que serán entrenadas. En esta etapa, se

realizará la identificación de las imágenes que se van a utilizar, separando el conjunto de datos para el entrenamiento (80 %), validación (15 %) y pruebas (5 %); así como la personalización del detector yolov4.

La etiqueta de las imágenes disponibles se realizará con la herramienta LabelImg, como se muestra en la figura 4.

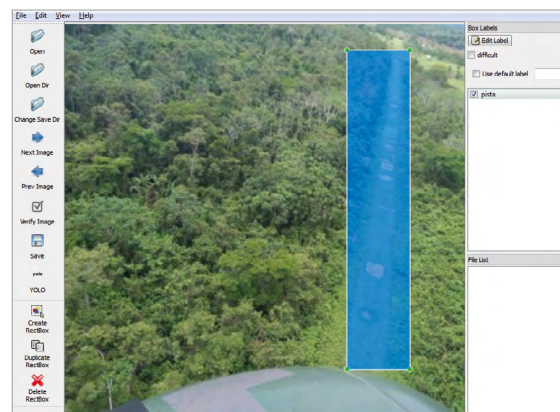


Figura 4. Etiqueta de pista con LabelImg

Fuente: Software LabelImg (2021, 15 de noviembre).

Cuarta etapa (modelado):– En esta etapa, se realiza el entrenamiento de la red neuronal con yolov4, la observación de los pesos obtenidos y la precisión de

detección. Durante la ejecución de esta etapa, se realizarán ensayos con una mejora continua para retornar a la etapa de preparación de datos y corregir el sobreajuste, el código, los parámetros de la red neuronal y las etiquetas de imágenes.

Aquí, se realizó la retroalimentación del entrenamiento aplicando la técnica *data augmentation*, con el fin de obtener una mayor cantidad de imágenes en el entrenamiento, realizando giros y movimientos en las imágenes, oscurecimiento y segmentación, y de corregir el sobreajuste de las imágenes de pistas aéreas ilegales. Esto se repetirá hasta obtener un resultado deseado, evaluando la precisión y pérdida del modelo para obtener 96 000 imágenes para el algoritmo de entrenamiento.

Quinta etapa (evaluación del modelo): En esta etapa, se determinará la eficacia del modelo entrenado con base en el análisis de métricas estadísticas y en la comparación de resultados con informes de inteligencia en la detección de pistas clandestinas. Se verifica con imágenes de prueba que el algoritmo realice la detección de pistas aéreas ilegales, así como se comprueba su efectividad con nuevas imágenes no consideradas en el *dataset*.

Sexta etapa (producción): Una vez creado el modelo para la detección de pistas aéreas ilegales, se ha logrado aumentar el conocimiento de los datos obtenidos. La producción de este modelo estará establecida en el análisis de los datos y los resultados obtenidos en la evaluación.

Evaluación y resultados

Se realizará la evaluación de una pista aérea ilegal que ha sido construida con material de pavimento asfáltico, con el uso de señalización y mangas de viento.

Este tipo de pistas aéreas están siendo utilizadas sin autorización de las autoridades competentes para el aterrizaje y despegue de aeronaves con gran envergadura. Se comprueba la detección de la pista aérea ilegal con el modelo entrenado, como se muestra en la figura 5.



Figura 5. Inferencia de pista aérea ilegal

Fuente: Pista_123 Colab Pro (2022, 04 de febrero) (Dataset).

Se utilizará una imagen de cultivo en zonas rurales. Se puede visualizar el uso de una pista aérea ilegal que tiene una cabecera señalizada, así como la zona donde puede girar la avioneta para volver a despegar en un área rural con vegetación. Se aplica el algoritmo de detección y se puede visualizar su resultado (figura 6).



Figura 6. Inferencia en zonas rurales

Fuente: Pista_146 Colab Pro (2022, 04 de febrero) (Dataset).

Así mismo, se puede observar que la detección con el modelo propuesto tiene un porcentaje del 98 %, misma que se realizó en 20,81 milisegundos. Se considera que esta imagen no se encontraba en el *dataset* y fue obtenida de fuentes abiertas para realizar la comprobación del modelo entrenado. Se logró evidenciar la funcionalidad con la evaluación del algoritmo, y estableciendo que puede ser utilizado para la detección de nuevas pistas aéreas ilegales (ver figura 7).



Figura 7. Inferencia con imagen adicional al *dataset*

Fuente: pista_nueva2 Colab Pro (2022, 04 de febrero).

Se considera que la mejor precisión del modelo fue del 85,76 %, que es aceptable para el estudio realizado y la comprobación de la metodología aplicada en el modelo de entrenamiento para la detección de pistas aéreas ilegales en el Ecuador.

Para la detección del video en formato *.mp4, se compiló *darknet* con CUDA y OpenCV, y después se ejecutó el comando `<darknet detector demo>`. Como se puede visualizar, la detección del video se realizó a 50,6 FPS (fotogramas por segundo), que es la frecuencia que muestra las imágenes en la captura de movimiento. Se obtiene así como resultado un nuevo video con la detección de pistas aéreas ilegales, como se muestra en la figura 8.

Discusión

Finalmente, una vez realizada la evaluación y la comprobación de la metodología propuesta para la detección de pistas aéreas ilegales, se determina que el método basado en *deep learning* de aprendizaje profundo para la generación del algoritmo de detección, mediante la personalización del detector *YOLOv4* y una continua retroalimentación para mejorar la precisión, exactitud y corrección de sobreajuste en el entrenamiento, ha obtenido un modelo con el 85,76 % de precisión para la detección de imágenes y video. De tal modo, cumple con el objetivo de esta investigación y establece su aplicabilidad para contribuir al control y a la vigilancia de pistas aéreas ilegales en el Ecuador.



Figura 8. Inferencia de pista ilegal en video

Fuente: video *Noticiero Ecuavisa*, 2021

Para esta investigación, se utilizó sobre *YOLOv4* la técnica *data augmentation*, lo cual permitió expandir la cantidad de imágenes disponibles girándolas de forma horizontal, vertical e inclinado. Con el uso de esta técnica, se aplicaron filtros gaussianos y segmentación de imágenes con técnicas de Sobel y Canny, con la finalidad de detectar las líneas y los bordes de pistas aéreas clandestinas y eliminar el ruido cuando existe una mayor vegetación o cuando se encuentra en lugares desérticos. Así, se logró mejorar la cantidad de imágenes

del *dataset*, y esto permitió al modelo detectar pistas aéreas ilegales con características establecidas en zonas rurales y con grandes áreas de vegetación.

Se puede considerar mejorar el modelo de detección de pistas aéreas ilegales, utilizando una mayor cantidad de imágenes en el entrenamiento. Se pueden emplear al menos dos mil imágenes que deberán ser etiquetadas y clasificadas, esto aumentaría la precisión de detección del modelo y mejoraría la precisión en las imágenes.

Es necesario aplicar nuevas versiones de la herramienta de detección *YOLO*, en razón a que la utilizada en esta investigación fue *YOLOv4*, lanzada en abril del año 2020. Desde entonces, se encuentra en desarrollo *YOLOv5*, actualmente liberada, que realiza una excelente detección de objetos y es más eficiente en el razonamiento de velocidad, calificada como una nueva generación de *YOLO*.

Esta investigación pretende proporcionar un conocimiento inicial sobre las aplicaciones militares que pueden ser desarrolladas con inteligencia artificial en el Ecuador.

Conclusiones y trabajo futuro

El Comando de Operaciones Aéreas y Defensa “COAD”, a través del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea “CIDFAE”, así como el Comando de Operaciones N.º 2 “Occidental”, contribuyeron a la obtención de las imágenes digitales de pistas aéreas ilegales. Esta estrategia se hace más recurrente con la escalada de actividades ilícitas en el Ecuador y la necesidad de identificar las pistas ilegales en la región.

Se realizó de forma exitosa la clasificación de las imágenes, ya que no todas las proporcionadas podrían ser utilizadas para la generación de un modelo de entrenamiento, logrando así etiquetar las imágenes de pistas aéreas ilegales mediante el *software* LabelImg.

Se construyó el *dataset* de entrenamiento con dos mil imágenes etiquetadas, separando el conjunto de datos para el entrenamiento con el 80 %, validación con el 15 %, y pruebas con el 5 % del conjunto de imágenes.

Se estableció la metodología CRISP-DM para la detección de pistas aéreas ilegales, con lo que se logró determinar el algoritmo de entrenamiento y aprendizaje automático. Se optimizó el *dataset* de entrenamiento utilizando técnicas de *data augmentation* para incrementar la cantidad de imágenes procesadas.

Se estableció el modelo de detección basado en aprendizaje profundo con *YOLOv4*, en el que se realizaron continuas mejoras en el código, la precisión y el sobreajuste, obteniendo una precisión del moldeo entrenado del 85,76 % para la detección de pistas aéreas ilegales.

La implementación futura de este algoritmo se establecerá en los Centros de Mando y Control de la Fuerza Aérea, a fin de disponer de la información en tiempo real y la toma de decisiones en seguridad y defensa nacional. Así, se disminuirán las actividades ilícitas derivadas del uso de las pistas aéreas clandestinas.

Referencias

- Berchane, N. (2018, 16 de abril). *Artificial intelligence, machine learning, and deep learning: Same context, different concepts*. <https://master-iesc-angers.com/artificial-intelligence-machine-learning-and-deep-learning-same-context-different-concepts/>
- Cedeño-Bravo, G., Marcillo-Parra, D. y Pereira, A. (2017). Drone autómata para identificación de pistas aéreas clandestinas. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies*. <https://doi.org/10.23919/CISTI.2017.7975951>
- Diario El Universo. (2021, 30 de septiembre). Ecuador entra en la lista de los países con más muertos en motines en cárceles. Redacción Internacional. <https://www.eluniverso.com/noticias/internacional/ecuador-entra-en-la-lista-de-los-paises-con-mas-muertos-en-motines-en-carceles-nota/>
- Fernández Cordeiro, L. y Paredes Palacios, R. (2019). *Desarrollo de dataset personalizado para entrenamiento de YOLO como sistema de detección de objetos en tiempo real, para entorno con brazo robot* [tesis de máster, Universitat Politècnica de València]. Repositorio institucional UPV. <http://hdl.handle.net/10251/115351>

- Gutiérrez Lancho, C. (2019). *Detección de armas en vídeos mediante técnicas de Deep Learning* [tesis de grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/2454/33697>
- López Moreno, L. M., Moya Garzón, J. Á., Valoyes Porras, D. M. y Romero Álvarez, F. E. (2021, 21-24 de septiembre). *Sistemas inteligentes autónomos para ejecutar misiones de búsqueda y reconocimiento* [ponencia]. Mujeres en Ingeniería: Empoderamiento, Liderazgo y Compromiso, Universidad El Bosque.
- Miranda Pérez, R., Solano Arias, J. y Méndez Porras, A. (2019). Introducción al aprendizaje automático con YOLO. *Tecnología Vital*, 2(6). <https://revistas.ulatina.ac.cr/index.php/tecnologiavital/article/view/250>
- Monroy de Jesús, J., Reyes Nava, A. y Olmos, F. (2019). Clasificador de plantas medicinales por medio de *deep learning*. *Research in Computing Science*, 148(7), 65-78. <https://doi.org/10.13053/rcs-148-7-5>
- Moreira Ramos, D. L. (2021). *Aplicación de un modelo de reconocimiento de objetos utilizando YOLO (you only look once)*. <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/5755>
- Núñez Sánchez-Agustino, F. J. (2016). *Diseño de un sistema de reconocimiento automático de matrículas de vehículos mediante una red neuronal convolucional* [tesis de máster, Universitat Oberta de Catalunya]. Repositorio institucional uoc. <https://openaccess.uoc.edu/browse?type=author&authority=439af5fa-aedc-4b2e-ad2c-7b790819c592>
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R. y Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 779-788. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>
- Russo, C., Ramón, H., Alonso, N., Cicerchia, B., Esnaola, L. y Tessore, J. P. (2016). *Tratamiento masivo de datos utilizando técnicas de machine learning* [ponencia]. XVIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación WICC, pp. 131-134. <http://repositorio.unnoba.edu.ar:8080/xmlui/handle/23601/107>
- Sánchez, D. A. y Gonzáles Díez, H. (2020). Algorithms for detection and tracking objects with deep networks for intelligent video surveillance: A review. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 14(3), 165-196.