

Payload-MILO (Machine Intelligence for Layer Observation): Visión Artificial Inteligente a Bordo de Quetzal-2

María Cifuentes¹, Sofía Barillas¹, Daphnne Juárez¹

¹Laboratorio Aeroespacial de la Universidad del Valle de Guatemala

MILO 

Introducción

Payload-MILO (Machine Intelligence for Layer Observation), el módulo de observación a bordo del CubeSat Quetzal-2, representa un avance significativo en el fortalecimiento de las capacidades espaciales de Guatemala. Este sistema incorpora una microcámara OpenMV Cam H7, diseñada para visión por computadora en tiempo real que junto con un modelo para la detección automática de nubes, lo cual permite optimizar la adquisición de imágenes desde órbita baja al filtrar tomas inutilizables y priorizar aquellas con condiciones óptimas para el análisis de la superficie terrestre. La integración de inteligencia artificial en este contexto demuestra no solo la viabilidad técnica de implementar procesamiento a bordo en plataformas satelitales regionales, sino también el potencial de Guatemala como un actor emergente en el uso estratégico de tecnologías espaciales para la observación de la Tierra.

Objetivos

Objetivo general:

Desarrollar y validar un modelo de inteligencia artificial integrado en el módulo Payload-MILO del CubeSat Quetzal-2, capaz de detectar automáticamente la presencia de nubes en imágenes capturadas desde órbita baja, con el fin de optimizar la adquisición de datos útiles para el análisis terrestre.

Objetivos Específicos:

- Diseñar y entrenar un modelo de visión por computadora utilizando imágenes satelitales previamente clasificadas, con el objetivo de distinguir entre escenas con nubosidad significativa ("Cloudy") y escenas despejadas ("Background").
- Implementar el modelo de IA en una cámara OpenMV Cam H7 Plus R3, emulando las condiciones de operación en el espacio, para evaluar su rendimiento en escenarios de baja capacidad computacional.
- Validar la capacidad del sistema para operar de forma autónoma, identificando imágenes con nubosidad en tiempo real.

Hipótesis

General

- La integración de un modelo de inteligencia artificial a bordo del módulo Payload-MILO del CubeSat Quetzal-2 permitirá identificar automáticamente la presencia de nubosidad en imágenes satelitales, optimizando así la adquisición de datos útiles desde el espacio.

Nula

- El modelo de inteligencia artificial implementado en Payload-MILO no mejora la capacidad de identificar imágenes con nubosidad, ni contribuye significativamente a optimizar la adquisición de datos útiles desde el espacio.

Alternativa

- El modelo de IA implementado en Payload-MILO mejora significativamente la capacidad de identificar imágenes con nubosidad, permitiendo priorizar imágenes útiles y optimizar la adquisición de datos desde el espacio.

Metodología

- Recolección de datos:** Se utilizó una base de datos con imágenes satelitales clasificadas como Cloudy (con nubes) y Background (despejadas).
- Entrenamiento del modelo:** Se aplicó Transfer Learning con división automática de datos (train/test).
- Evaluación:** Se midió el rendimiento con métricas como accuracy, loss, precision, recall y f1-score.
- Validación en hardware:** El modelo entrenado se implementó exitosamente en una cámara OpenMV Cam H7 Plus R3, logrando clasificación en tiempo real.
- Tipo:** No experimental
- Diseño:** Transversal
- Enfoque:** Cuantitativo aplicado
- Contexto:** Validación en laboratorio / entorno simulado
- Alcance:** Tecnológico, exploratorio y funcional

Resultados

Se recolectaron un total de 2,276 imágenes etiquetadas correspondientes a las clases Background y Cloudy. De estas, el 81 % se utilizó para entrenamiento y el 19 % para pruebas. El modelo fue desarrollado mediante transfer learning en la plataforma Edge Impulse, optimizado para su futura implementación en hardware embebido como parte del módulo Payload-MILO.

En el conjunto de prueba, el modelo alcanzó una exactitud del 95.81 %, con un área bajo la curva ROC de 0.97 y valores equilibrados de precision, recall y F1-score (0.97). La matriz de confusión mostró que ambos tipos de imágenes fueron clasificados correctamente con alta precisión: 96.7 % para Background y 94.9 % para Cloudy, evidenciando la capacidad del modelo para distinguir de forma confiable entre ambos escenarios.

Precisión y desempeño por clase: ¿cierta más con fondo o con nubes?

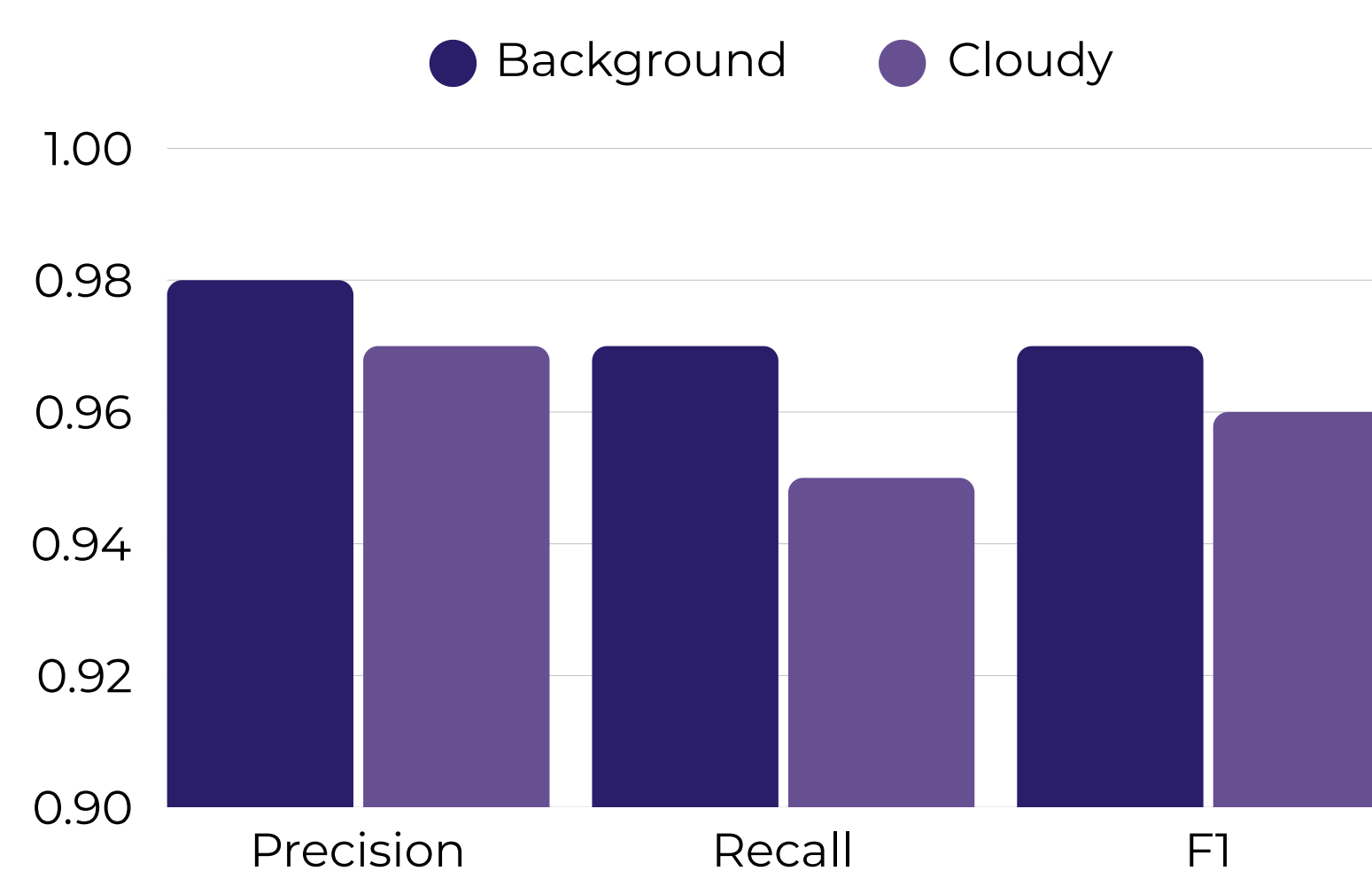


Figura 2. Métricas de desempeño del modelo por clase: precisión, recall y F1-score

El 81% de imágenes enseñó al modelo; el 19% comprobó su aprendizaje

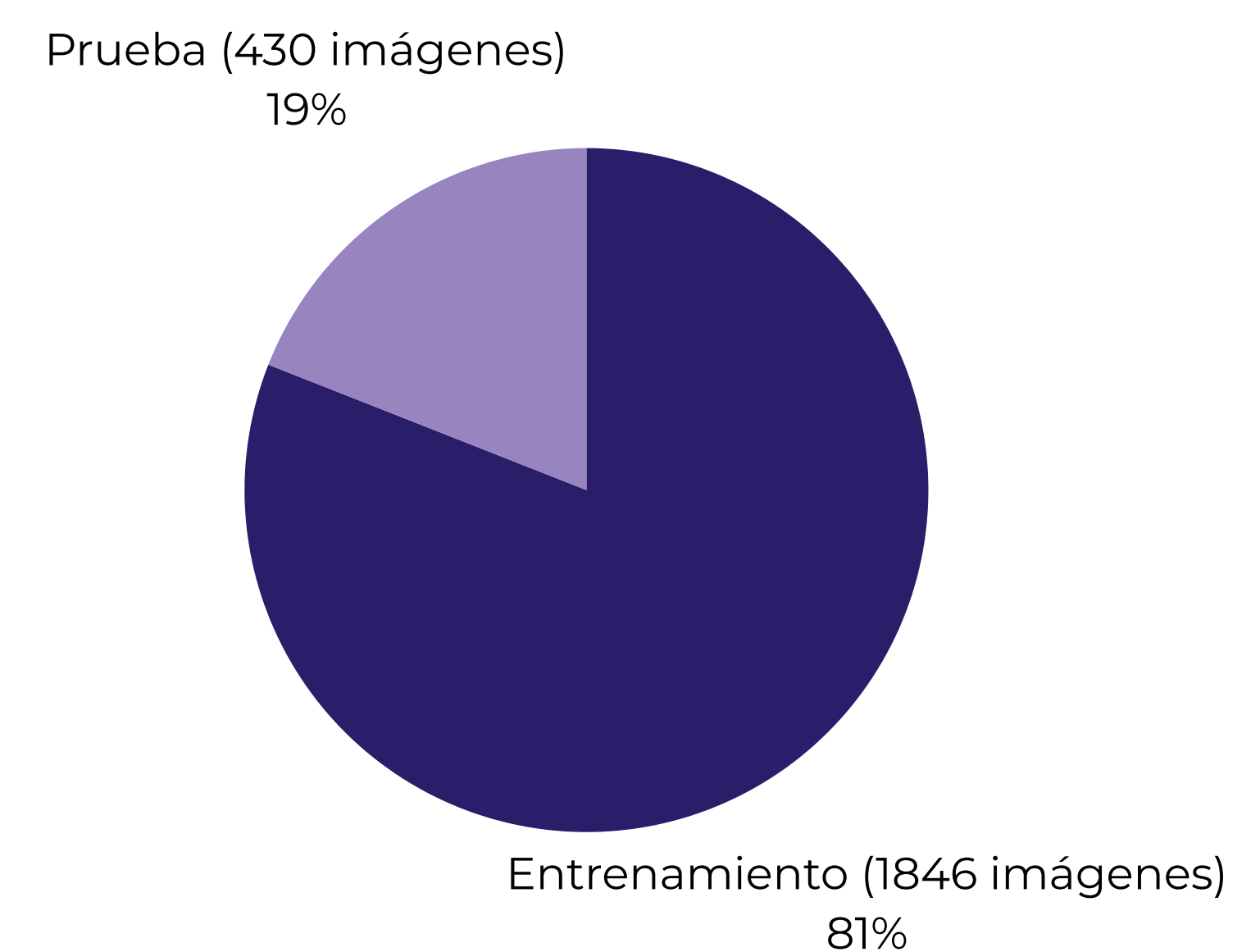


Figura 1. Distribución del conjunto de datos utilizado para entrenamiento y prueba.

Matriz de confusión: el veredicto del modelo en 430 imágenes de prueba

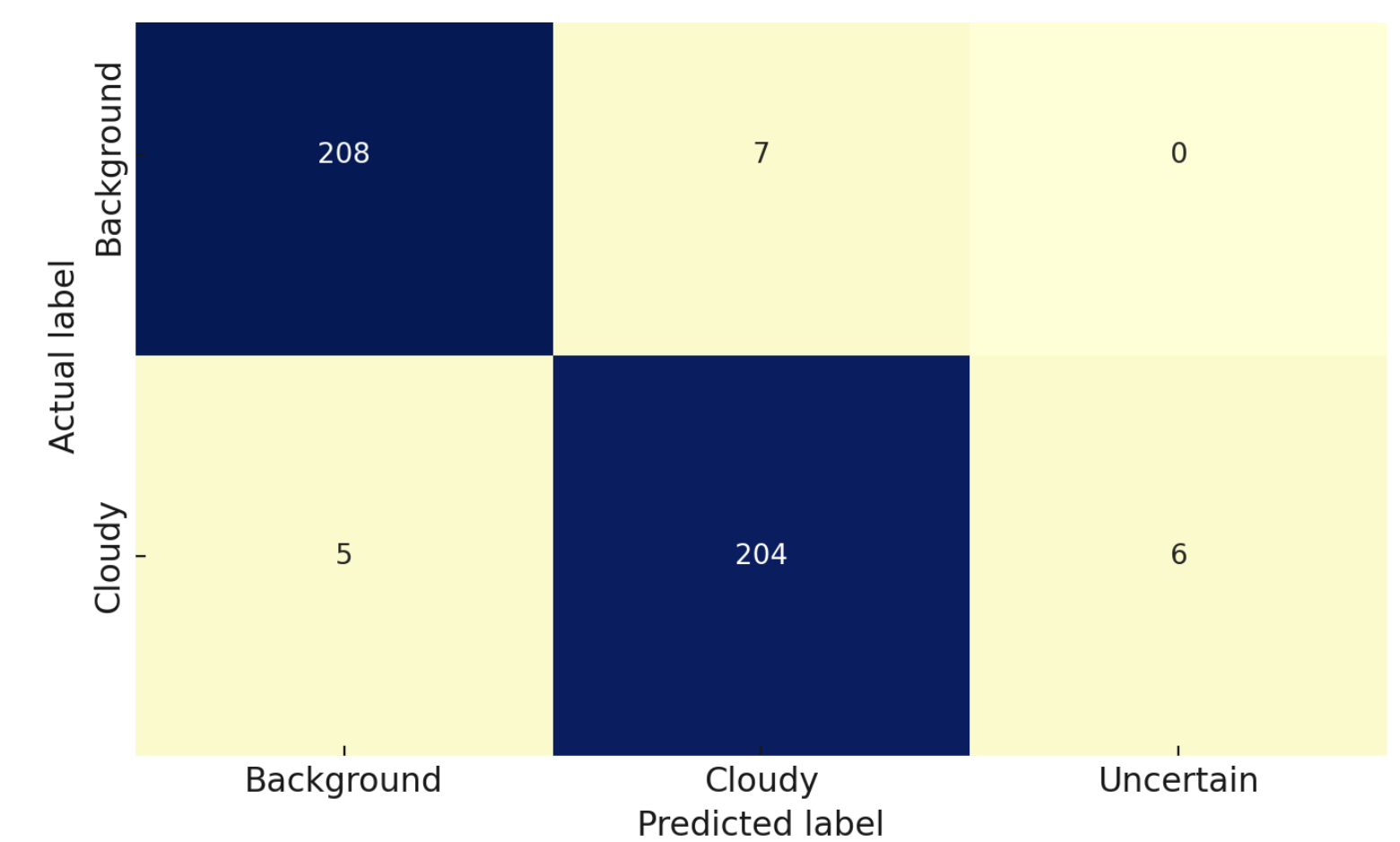


Figura 3. Matriz de confusión del modelo de detección de nubes en el conjunto de prueba

Discusión de Resultados

El modelo desarrollado demuestra la efectividad de las técnicas de aprendizaje profundo para la clasificación automática de condiciones atmosféricas. La capacidad del sistema para distinguir entre escenarios de fondo claro y nublado valida el enfoque metodológico empleado y sugiere su potencial para tareas de clasificación similares.

La robustez observada en el rendimiento indica que el modelo ha logrado capturar patrones visuales distintivos relevantes, lo que es fundamental para aplicaciones de monitoreo automatizado. Este tipo de sistemas puede contribuir significativamente a la automatización de procesos que tradicionalmente requieren interpretación visual humana.

Los resultados respaldan la viabilidad de implementar soluciones de visión por computadora en contextos donde la clasificación rápida y precisa de condiciones atmosféricas es crítica, abriendo oportunidades para su integración en sistemas de mayor escala y aplicaciones interdisciplinarias.

Conclusiones

- Capacidades fortalecidas: Payload-MILO evidencia el potencial de Centroamérica para desarrollar tecnologías espaciales avanzadas, integrando sensores ópticos e inteligencia artificial en sistemas compactos a bordo de CubeSats.
- Validación tecnológica: La cámara y el modelo de detección de nubes de Payload-MILO validan la capacidad de ejecutar análisis autónomo de imágenes desde el espacio, lo que sienta las bases para futuras misiones científicas más sofisticadas.
- Impacto regional: Este desarrollo representa un avance clave hacia una infraestructura espacial regional, fortaleciendo la soberanía tecnológica y contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible a través de innovación y colaboración científica.

Recomendación

Se recomienda continuar con el monitoreo del rendimiento de Payload-MILO durante la misión, documentando sus aciertos y limitaciones, para escalar esta tecnología en futuras misiones centroamericanas con aplicaciones ambientales, agrícolas o climáticas.

Referencias

