

# Desarrollo e Implementación en FPGA de Redes Neuronales Convolucionales para Clasificación de Imágenes Satelitales

Autor: Álvaro Peñalver Valverde

Tutores: Dr. Roberto Sarmiento Rodríguez, D. Samuel Torres Fau

GITT (Sistemas Electrónicos), julio de 2025

## Introducción y objetivos

Las imágenes satelitales son esenciales para la vigilancia marítima, pero transmitir las completas desde el satélite implica un alto consumo de ancho de banda y energía. Este proyecto propone un sistema de detección de embarcaciones embebido, basado en redes neuronales convolucionales (CNN), diseñado específicamente para ejecutarse en una FPGA de bajo consumo, permitiendo reducir la cantidad de datos enviados a tierra.

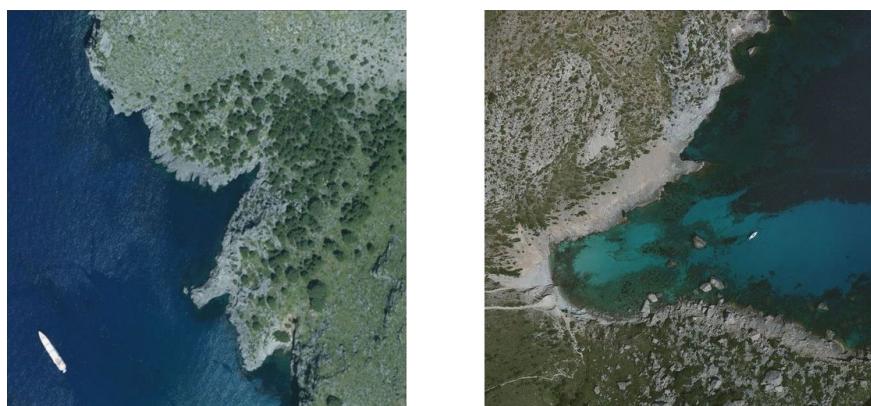


Figura 1: Ejemplo de imágenes satelitales

## Metodología

Las imágenes se dividen en *patches* de 128x128 píxeles tras un preprocesado basado en NDWI. Se entrenaron modelos CNN cuantizados con PyTorch y Brevitas, evaluando su precisión y eficiencia. El modelo final fue exportado a QONNX, convertido a hardware mediante HLS4ML y sintetizado con Vitis HLS. Finalmente, se desplegó en la FPGA PYNQ-Z1.

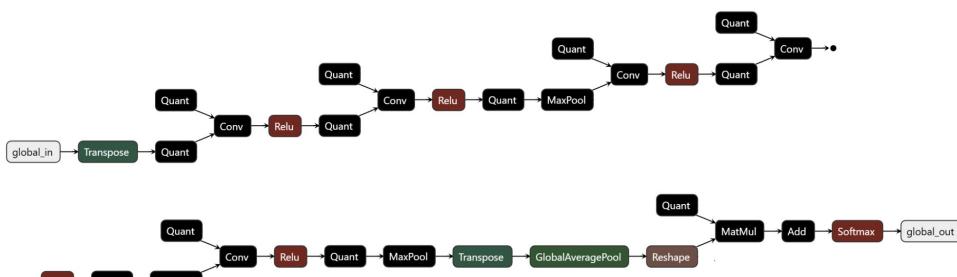


Figura 2: Visualización del modelo final

## Resultados y conclusiones

El modelo seleccionado alcanza un 94 % de precisión con solo 8 897 parámetros (reducción del 99.95 % respecto a ResNet18), logrando 145 inferencias/s en FPGA y 93.2 % de exactitud en hardware. Además, el enfoque por *patches* permite estimar la ubicación del barco sin segmentación. Estos resultados validan la viabilidad del procesamiento a bordo en misiones espaciales.

Recurso FPGA	Utilización	Disponibles (PYNQ-Z1)
LUTs (Look-Up Tables)	8 416	53 200
FFs (Flip-Flops)	13 227	106 400
BRAMs (Block RAM)	15	140
DSPs (Multiplicadores)	15	220

Tabla 1: Utilización de recursos tras la síntesis

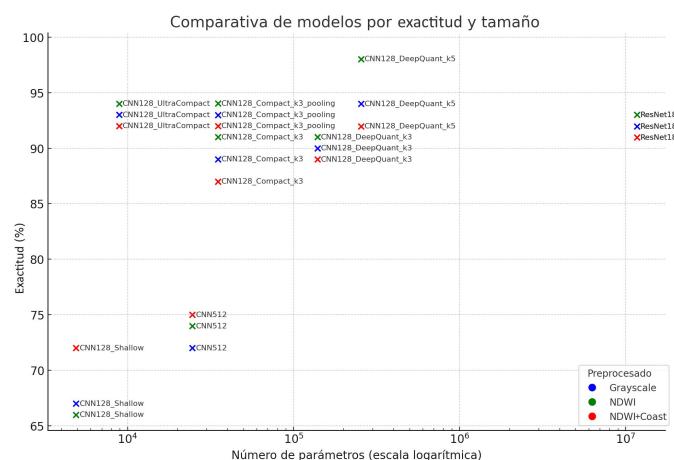


Figura 3: Comparativa de número de parámetros vs. precisión entre modelos