



Master en Inteligencia Artificial Visión Artificial

Exploración de Filtros Espaciales y Morfológicos en Escenarios Reales

Realizado por:

Alejandro Morales Miranda, Paula Polo Cabas,
Miguel Fernández Llamas.

Curso 2025-2026

Índice

1. Resumen	2
2. Introducción	2
3. Material y Métodos	3
3.1. Conjunto de imágenes	3
3.2. Filtros espaciales evaluados	3
3.3. Operaciones morfológicas y pipelines	5
3.4. Métricas de evaluación	5
4. Resultados	6
4.1. Top-3 filtros/pipelines por imagen	6
4.2. Cambios en histogramas	7
4.3. Operaciones morfológicas destacadas	7
4.4. Observaciones cualitativas	7
5. Conclusiones	8
A. Declaración de uso de IA generativa	12

1. Resumen

Este trabajo analiza el efecto de filtros espaciales y operaciones morfológicas sobre nueve imágenes reales procedentes de tres dominios: radiografías de tórax (Open-I), inspección industrial (MVTec AD) y escenas satelitales (EuroSAT). Se evaluaron filtros de suavizado (Gaussiano, mediana), realce (unsharp masking) y detectores de borde (Sobel, Laplace, Canny), junto con operaciones morfológicas clásicas (erosión, dilatación, apertura, cierre, top-hat). La comparación cuantitativa empleó métricas de preservación estructural (SSIM), estimación robusta de ruido ($\hat{\sigma}$), contraste RMS y densidad de bordes. Los resultados muestran que el filtro Gaussiano con σ bajo ofrece el mejor equilibrio entre reducción de ruido y preservación estructural en radiografías, la mediana destaca en texturas industriales repetitivas, y el unsharp masking es eficaz para resaltar defectos finos aunque amplifica ruido. En morfología, la apertura reduce fragmentación en fondos dominantes y el cierre conecta estructuras discontinuas en escenas satelitales.

2. Introducción

El procesamiento digital de imágenes emplea operadores locales para modificar intensidades y organización espacial. Los *filtros espaciales* atenúan ruido, suavizan texturas o realzan bordes mediante convolución (Gonzalez and Woods, 2008), mientras que las *operaciones morfológicas* modifican regiones según su forma usando elementos estructurantes (Serra, 1982). La correcta selección de estos operadores resulta fundamental para tareas posteriores como segmentación, clasificación o detección de anomalías.

La elección del operador depende del dominio de aplicación: en radiografías médicas es crítico preservar contornos anatómicos sin perder información diagnóstica relevante; en inspección industrial interesa resaltar defectos sobre patrones repetitivos manteniendo bajo el ruido de fondo; en teledetección la selección varía según el tipo de escena (urbana, fluvial, forestal) y el objetivo final.

Este trabajo propone una comparación experimental multitemática sobre datasets de referencia: (i) aplicar filtros espaciales y morfológicos representativos; (ii) cuantificar su impacto con métricas objetivas de similitud estructural (SSIM) (Wang et al., 2004), ruido residual y contraste; (iii) analizar ventajas y limitaciones específicas por dominio; y (iv) evaluar pipelines que combinan múltiples operadores en secuencia.

3. Material y Métodos

3.1. Conjunto de imágenes

Se seleccionó un conjunto multitemático de nueve imágenes (Tabla 1) procedentes de repositorios públicos de referencia, cubriendo tres dominios complementarios:

- **Médico:** radiografías de tórax del repositorio Open-I (Indiana University Chest X-Ray Collection) (Demner-Fushman et al., 2005), con variabilidad en densidad de tejidos y estructuras anatómicas.
- **Industrial:** imágenes de defectos superficiales del dataset MVTec Anomaly Detection (Bergmann et al., 2019), incluyendo patrones de rejilla, cuero y tuercas metálicas con defectos etiquetados.
- **Satelital:** escenas del dataset EuroSAT (Helber et al., 2018), cubriendo clases de uso del suelo (residencial, fluvial, forestal).

Las imágenes se procesaron en escala de grises con normalización de intensidades al rango [0, 1], manteniendo su contenido original para preservar la comparabilidad intra-imagen.

Tabla 1: Conjunto de imágenes seleccionadas según fuentes de la rúbrica.

ID	Dominio	Fuente	Descripción
I01	Médica	Open-I (Indiana CXR)	Radiografía tórax
I02	Médica	Open-I (Indiana CXR)	Radiografía tórax
I03	Médica	Open-I (Indiana CXR)	Radiografía tórax
I04	Industrial	MVTec AD	Grid (defecto: glue)
I05	Industrial	MVTec AD	Leather (defecto: glue)
I06	Industrial	MVTec AD	Metal nut (defecto: color)
I07	Satélite	EuroSAT RGB	River
I08	Satélite	EuroSAT RGB	Highway
I09	Satélite	EuroSAT RGB	Industrial

3.2. Filtros espaciales evaluados

Se consideraron tres familias principales:

- i) **Suavizado lineal (Gaussiano):** reduce ruido de alta frecuencia mediante convolución con un núcleo Gaussiano. Se evaluaron dos escalas (p.ej., $\sigma = 1$ y $\sigma = 2$) para observar el compromiso entre reducción de ruido y pérdida de detalle.

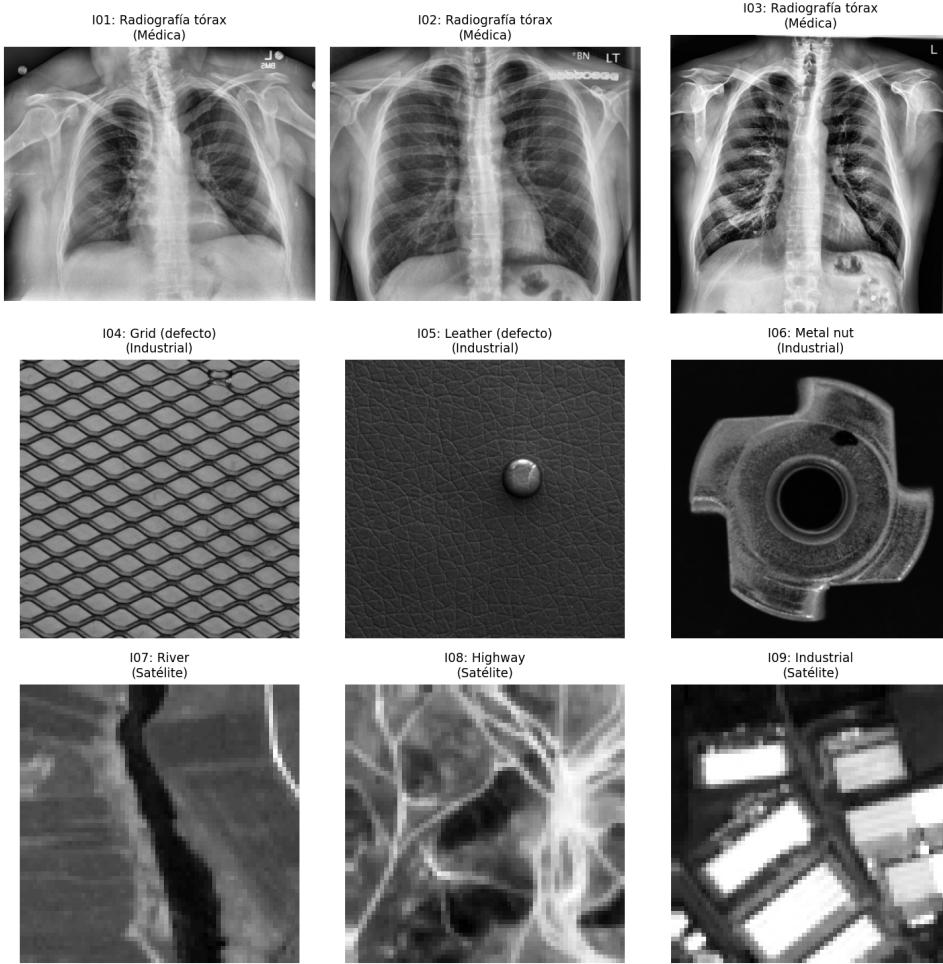


Figura 1: Conjunto de imágenes originales (I01–I09): médicas (fila 1), industriales (fila 2), texturas/satélite (fila 3).

- II) **Suavizado no lineal (Mediana):** elimina impulsos y ruido local preservando bordes mejor que el suavizado lineal en muchos casos. Se evaluaron radios de vecindario representativos (p. ej., $r = 2$ y $r = 4$).
- III) **Realce (Unsharp masking):** incrementa el contraste local sumando una componente de alta frecuencia (imagen menos suavizada). Se ensayó una configuración moderada (p. ej., $r = 1$, $\alpha = 1$) para evitar sobre-realce.

Como referencia de *realce de bordes*, se incluyeron los operadores Sobel, Laplaciano y el detector de Canny (Canny, 1986), útiles para visualizar discontinuidades de intensidad. Aunque no son adecuados como imagen final (producen mapas binarios de bordes y amplifican ruido), permiten evaluar la preservación de contornos tras aplicar otros filtros.

3.3. Operaciones morfológicas y pipelines

Las operaciones morfológicas se aplicaron sobre la imagen (en escala de grises) usando un elemento estructurante disco y radios representativos ($r = 2$ y $r = 4$): **erosión**, **dilatación**, **apertura** (erosión seguida de dilatación) y **cierre** (dilatación seguida de erosión). Adicionalmente, se exploraron transformaciones **top-hat** y **black-hat** para resaltar detalles brillantes u oscuros.

Para estudiar la *secuenciación* de operadores se definieron tres pipelines:

- **P1:** mediana (ventana 3×3) seguida de unsharp (realce moderado).
- **P2:** cierre (radio 3) seguido de apertura (radio 3), orientado a conectar regiones y eliminar pequeñas discontinuidades.
- **P3:** Gaussiano ($\sigma = 1$) seguido de top-hat (radio 3), para resaltar detalles pequeños tras un suavizado previo.

3.4. Métricas de evaluación

Se emplearon métricas cuantitativas diferenciadas según el tipo de operación:

Para filtros espaciales:

- **SSIM** (Structural Similarity Index) (Wang et al., 2004): mide la preservación estructural respecto a la imagen original, considerando luminancia, contraste y estructura. Valores cercanos a 1 indican alta similitud.
- $\hat{\sigma}$: estimación robusta del ruido residual mediante MAD (Median Absolute Deviation) sobre la componente de alta frecuencia. Valores bajos indican menor ruido.
- **Contraste RMS**: desviación estándar de las intensidades, capturando el rango dinámico efectivo.
- **Densidad de bordes**: proporción de píxeles detectados como borde por Canny, indicando preservación de discontinuidades.

El criterio combinado prioriza SSIM alto con $\hat{\sigma}$ bajo.

Para morfología: tras binarización con umbral de **Otsu** (Otsu, 1979), se miden el número de componentes conexas (N_{comp}) y la conservación de área. El **Score-Morph** favorece menor fragmentación manteniendo el área total.

4. Resultados

4.1. Top-3 filtros/pipelines por imagen

La Tabla 2 resume los tres mejores filtros por imagen según el criterio combinado (SSIM alto y $\hat{\sigma}$ bajo). De forma global, el suavizado Gaussiano y la mediana dominan en radiografías (I01–I03) y en la escena satelital de río (I08), mientras que el realce unsharp destaca en defectos industriales finos (I05) y texturas (I09), aunque con incremento de $\hat{\sigma}$ en varios casos.

Tabla 2: Mejor filtro por imagen según criterio combinado (SSIM alto, $\hat{\sigma}$ bajo).

ID	Dominio	Mejor filtro	SSIM	$\hat{\sigma}$	Contraste
I01	Médica	gaussian_s1	0.963	0.004	0.195
I02	Médica	gaussian_s2	0.873	0.002	0.248
I03	Médica	gaussian_s1	0.939	0.006	0.239
I04	Industrial	median_r2	0.977	0.016	0.184
I05	Industrial	unsharp_r1_a1	0.960	0.031	0.090
I06	Industrial	gaussian_s2	0.942	0.000	0.407
I07	Satélite	gaussian_s1	0.908	0.007	0.111
I08	Satélite	gaussian_s1	0.871	0.020	0.201
I09	Satélite	unsharp_r1_a1	0.949	0.061	0.363

Radiografías (I01–I03). El Gaussiano con σ bajo domina, ofreciendo SSIM elevado y reducción de $\hat{\sigma}$, consistente con la necesidad de atenuar grano sin degradar estructuras de baja frecuencia. La mediana preserva más microestructura pero con menor supresión de ruido.

Industrial (I04–I06). La mediana ($r = 2$) ofrece SSIM muy alto en patrones (I04). En defectos finos (I05, tipo *fold*), unsharp incrementa la prominencia del defecto a costa de mayor $\hat{\sigma}$. En fondos dominantes (I06), el Gaussiano elimina ruido residual sin alterar la estructura global.

Satelital (I07–I09). En escenas fluviales (I07, clase River), el Gaussiano equilibra suavizado y preservación de los contornos del cauce. En carreteras (I08, clase Highway), la mediana preserva las líneas de la carretera mientras reduce ruido de vegetación. En zonas industriales/portuarias (I09, clase Industrial), unsharp realza las estructuras de los barcos y edificaciones con incremento moderado de ruido.

4.2. Cambios en histogramas

El análisis de histogramas revela patrones consistentes según el tipo de filtro aplicado:

- El **filtro Gaussiano** conserva la forma global del histograma con cambios suaves, desplazando ligeramente la distribución hacia valores medios (Figura 5).
- El **unsharp masking** redistribuye intensidades expandiendo el rango dinámico, lo que se manifiesta en colas más pronunciadas y posibles picos secundarios.

En escenas con fondo dominante (radiografías, imágenes industriales) aparecen picos pronunciados que el suavizado preserva, mientras el realce puede fragmentarlos. En imágenes satelitales con distribuciones más uniformes, ambos filtros producen cambios más graduales.

4.3. Operaciones morfológicas destacadas

La Tabla 3 muestra las operaciones mejor puntuadas. La **apertura** (`opening_r4`) domina en radiografías e imágenes industriales con fondo uniforme, reduciendo regiones espurias. El **cierre** conecta estructuras en escenas satelitales (ríos, caminos). La **dilatación** destaca en defectos industriales para aumentar su visibilidad.

Tabla 3: Mejor operación morfológica por dominio (menor fragmentación con conservación de área).

Dominio	ID	Operación	N_{comp}	Área	SSIM
Médica	I01	<code>opening_r4</code>	4	120663	0.877
Médica	I02	<code>opening_r4</code>	7	117097	0.851
Industrial	I06	<code>opening_r4</code>	1	100368	0.908
Industrial	I05	<code>dilation_r2</code>	516	80774	0.603
Satélite	I07	<code>closing_r2</code>	18	892	0.875
Satélite	I08	<code>opening_r2</code>	24	1056	0.862

4.4. Observaciones cualitativas

Las Figuras 2–4 muestran patrones recurrentes: **Sobel/Laplace/Canny** resaltan bordes pero amplifican ruido; **Gaussiano** reduce grano pero atenúa microdetalles; **Mediana** preserva mejor las discontinuidades; **Unsharp** destaca defectos finos pero introduce halos en zonas uniformes. En **morfología**, radios grandes simplifican pero pueden deformar contornos; el cierre conecta regiones pero puede llenar huecos no deseados.

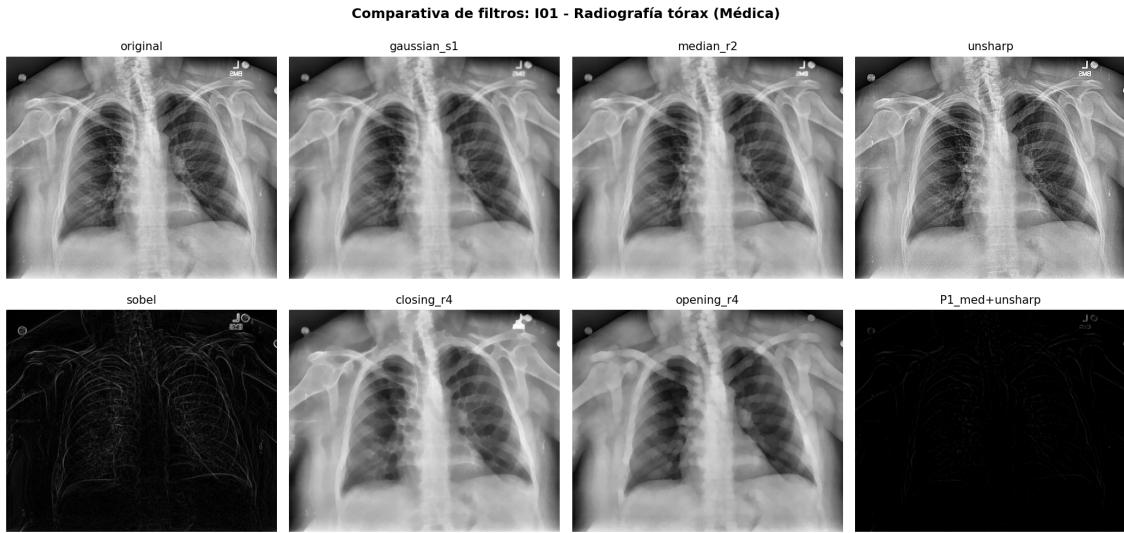


Figura 2: Comparativa visual en radiografía (I01): original y efectos de filtros espaciales/morfológicos.

5. Conclusiones

El estudio experimental confirma que la eficacia de filtros espaciales y morfológicos depende críticamente del dominio de aplicación y la escala de las estructuras de interés:

- **Suavizado Gaussiano** con σ bajo (1–2 píxeles) ofrece el mejor compromiso entre reducción de ruido y preservación estructural en radiografías y escenas satelitales, alcanzando SSIM > 0,90 en la mayoría de casos.
- **Filtro Mediana** preserva mejor los bordes en texturas industriales con patrones repetitivos, evitando el emborronamiento característico del suavizado lineal y siendo especialmente efectivo contra ruido impulsivo.
- **Unsharp masking** resulta eficaz para resaltar defectos finos y aumentar el contraste local, aunque con el riesgo inherente de amplificar ruido residual y generar artefactos de halo en transiciones abruptas.
- En **operaciones morfológicas**, la apertura reduce fragmentación en imágenes con fondos dominantes (SSIM > 0,85); el cierre conecta estructuras discontinuas como ríos y caminos en escenas satelitales.

Líneas futuras de investigación:

1. Selección adaptativa multiescala basada en contenido local de la imagen.
2. Optimización de parámetros orientada a tarea específica (clasificación, segmentación semántica).

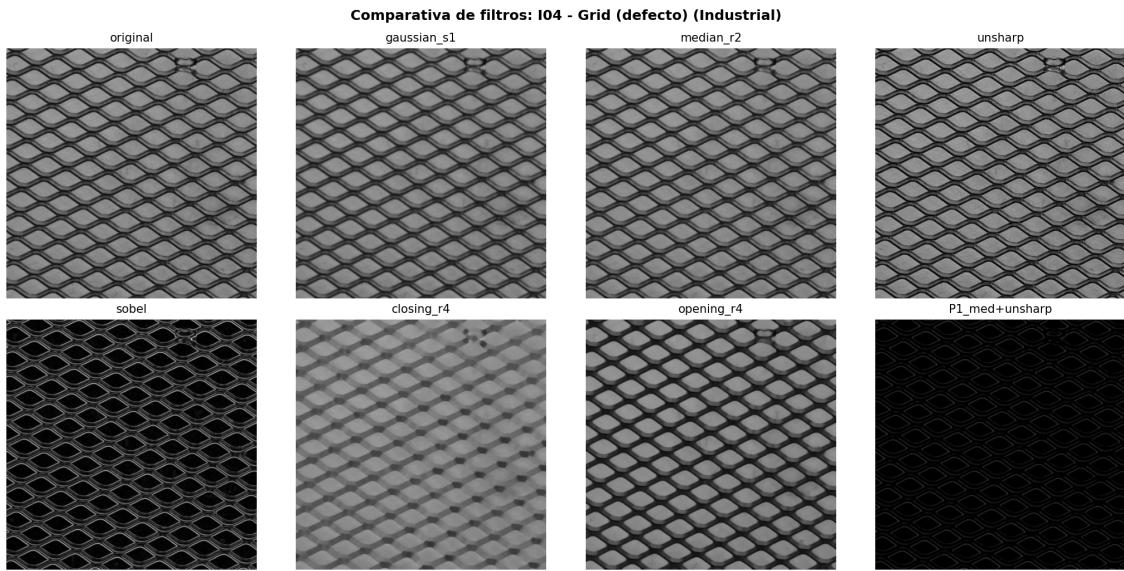


Figura 3: Comparativa visual en imagen industrial (I04): original, filtros espaciales y operaciones morfológicas.

3. Combinación con técnicas de aprendizaje profundo para realce guiado por características aprendidas.
4. Evaluación en datasets más extensos con ground truth para métricas de rendimiento en tareas downstream.

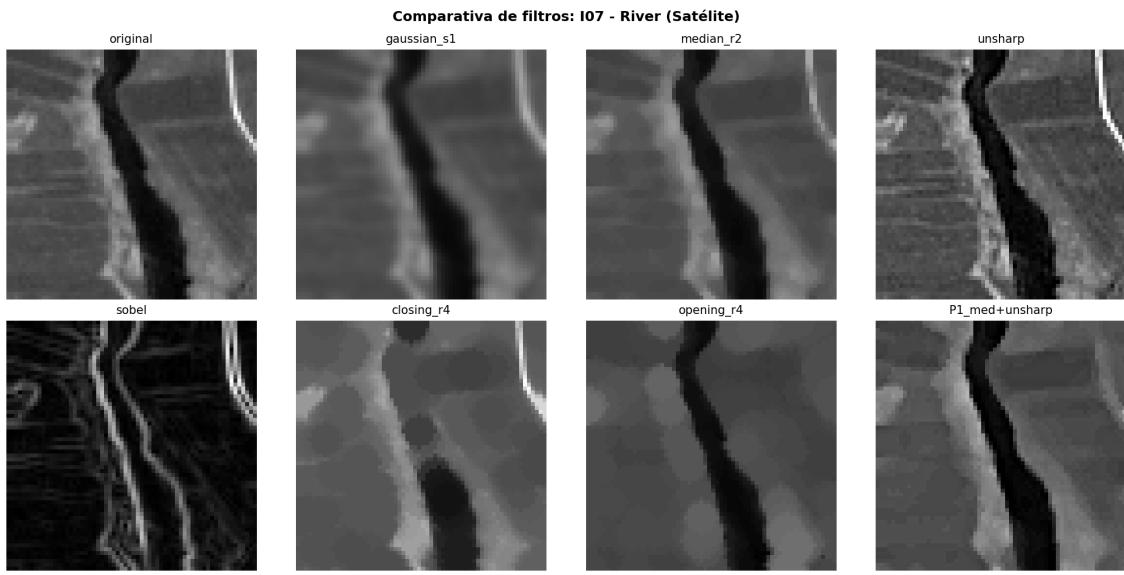


Figura 4: Comparativa visual en escena satelital fluvial (I07, River de EuroSAT): efectos de suavizado y realce sobre el cauce y vegetación.

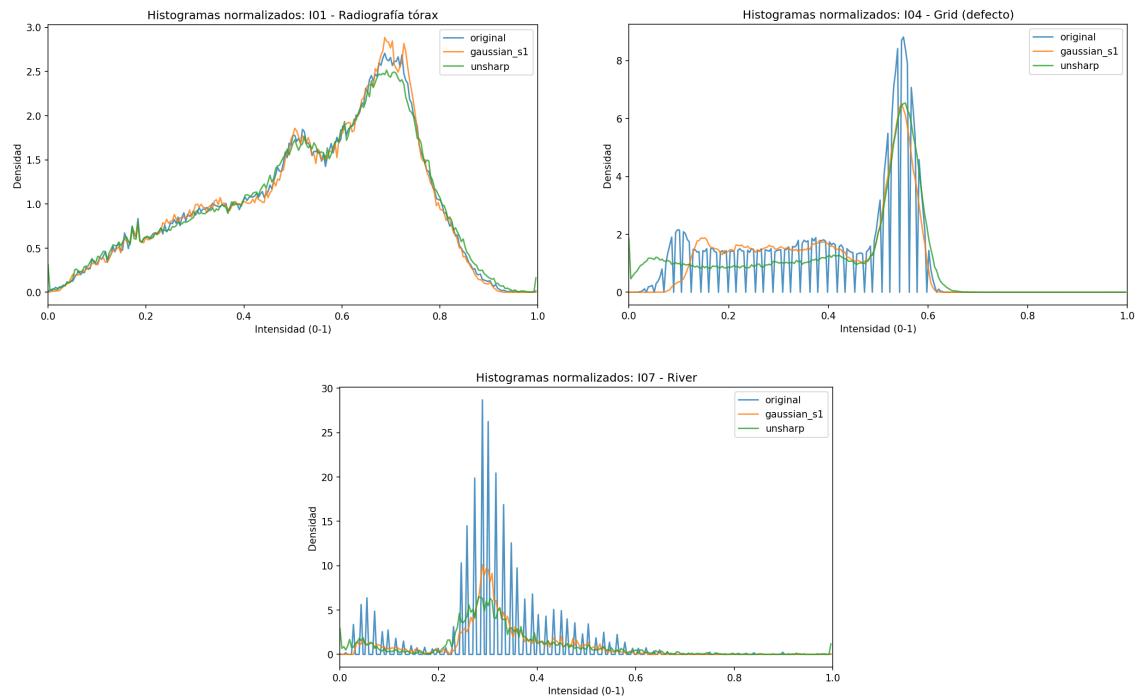


Figura 5: Histogramas normalizados por dominio: (arriba-izq.) I01 radiografía con distribución bimodal; (arriba-der.) I04 industrial con pico dominante; (abajo) I07 satélite fluvial (River) con distribución característica de zonas acuáticas. El Gausiano conserva la forma global mientras unsharp expande el rango dinámico.

Referencias

- Bergmann, P., Fauser, M., Sattlegger, D., and Steger, C. (2019). Mvtec ad – a comprehensive real-world dataset for unsupervised anomaly detection. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.
- Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-8(6):679–698.
- Demner-Fushman, D. et al. (2005). Open-i: An open access biomedical search engine for images and text. National Library of Medicine (NLM).
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2008). *Digital Image Processing*. Prentice Hall, 3 edition.
- Helber, P., Bischke, B., Dengel, A., and Borth, D. (2018). Eurosat: A novel dataset and deep learning benchmark for land use and land cover classification. In *IGARSS*.
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1):62–66.
- Serra, J. (1982). *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Academic Press.
- Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., and Simoncelli, E. P. (2004). Image quality assessment: From error visibility to structural similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(4):600–612.

A. Declaración de uso de IA generativa

Para la redacción y mejora de estilo de esta memoria se utilizó apoyo de una herramienta de IA generativa (ChatGPT, OpenAI) como asistente lingüístico (reescritura, estructuración y clarificación de texto). Las decisiones metodológicas, el diseño experimental, el cálculo de métricas y la interpretación de resultados fueron realizados y verificados por el equipo, revisando críticamente todas las salidas propuestas por la IA y corrigiendo posibles imprecisiones. No se empleó la IA para inventar datos, alterar resultados ni sustituir el análisis experimental.