

# Análisis Comparativo de Técnicas de Mejora de Imagen: HE, CLAHE, DSIHE y BBHE

Pilar Ruiz Diaz — Mathias Chaparro — Tanya Godoy

## CONTENTS

<b>I</b>	<b>Introducción</b>	1
<b>II</b>	<b>Problemática y Metodología</b>	1
II-A	Implementación de Algoritmos . . . . .	1
II-B	Análisis Cuantitativo con Métricas Clave . . . . .	1
II-C	Análisis Cualitativo . . . . .	1
<b>III</b>	<b>Resultados y Análisis de las Técnicas</b>	1
<b>IV</b>	<b>Análisis e Interpretación</b>	1
IV-A	Ecualización de Histograma (HE) . . . . .	2
IV-B	CLAHE . . . . .	2
IV-C	DSIHE y BBHE . . . . .	2
<b>V</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	2
	<b>References</b>	3

## LIST OF FIGURES

1	Comparación de la imagen original con sus versiones mejoradas. Al usar el entorno ‘subfigure’ con anchos iguales (0.70, las imágenes se presentan con un tamaño uniforme y sin distorsión. . . . .	2
2	Resultados visuales para la imagen ‘8049.jpg’ y sus histogramas. Se mantiene la uniformidad de tamaño. . . . .	2
3	Comparación visual para la imagen ‘100075.jpg’ y sus histogramas. Mismo tamaño y sin deformación. . . . .	2

## LIST OF TABLES

I	Resultados promediados de las métricas para las tres imágenes. . . . .	2
---	--	---

# Análisis Comparativo de Técnicas de Mejora de Imagen: HE, CLAHE, DSIHE y BBHE

**Abstract**—Este estudio presenta un análisis exhaustivo y comparativo de cuatro técnicas de mejora de imagen basadas en la ecualización de histogramas: la Ecualización de Histograma tradicional (HE), la Ecualización de Histograma Adaptativa con Límite de Contraste (CLAHE), la Ecualización de Histograma de Sub-Imágenes Dualistas de Área Igual (DSIHE) y la Ecualización de Bi-Histograma con Preservación de Brillo (BBHE). El objetivo principal es evaluar y contrastar el rendimiento de estas técnicas en términos de mejora de contraste, fidelidad visual, y la capacidad de preservar el brillo original de la imagen. La metodología empleada incluye la implementación de los algoritmos en Python, el cálculo de métricas cuantitativas clave (AMBE, PSNR, Contraste, Entropía), y un riguroso análisis cualitativo mediante la inspección de imágenes y sus histogramas. Los hallazgos revelan que la HE, DSIHE y BBHE, aunque efectivas para maximizar el contraste, a menudo comprometen la apariencia natural de la imagen. En contraste, CLAHE se posiciona como el método más robusto y equilibrado, proporcionando una mejora significativa y localizada sin introducir artefactos o distorsiones notorias. Este informe concluye con recomendaciones prácticas sobre la aplicación de cada técnica según el objetivo específico del procesamiento.

## I. INTRODUCCIÓN

El realce de imágenes digitales es un pilar fundamental en la visión por computadora y el procesamiento de señales, esencial para mejorar la calidad visual y la interpretabilidad del contenido. Las técnicas de ecualización de histograma son ampliamente reconocidas por su capacidad para ajustar dinámicamente el contraste. Sin embargo, la aplicación de la Ecualización de Histograma (HE) tradicional a menudo resulta en artefactos, pérdida de detalles y un cambio indeseado en el brillo promedio de la imagen. Para contrarrestar estas limitaciones, se han desarrollado métodos más sofisticados.

Este informe se centra en un análisis comparativo y detallado de cuatro técnicas clave: la HE estándar, que sirve como punto de referencia; el CLAHE (Ecualización de Histograma Adaptativa con Límite de Contraste), que mejora el contraste de manera local y controlada; y dos algoritmos de bi-histograma, DSIHE y BBHE, diseñados específicamente para preservar el brillo de la imagen original.

## II. PROBLEMÁTICA Y METODOLOGÍA

La principal problemática radica en la necesidad de elegir la técnica de mejora de imagen más adecuada para una tarea específica. No todas las técnicas ofrecen el mismo rendimiento ni los mismos resultados, y la idoneidad de cada una depende de un equilibrio entre el contraste deseado, la preservación del brillo original y la evitación de artefactos.

Para abordar esta problemática, se estableció una metodología rigurosa y reproducible:

### A. Implementación de Algoritmos

Se desarrolló un conjunto de funciones en Python para cada técnica de mejora.

`aplicar_ecualizacion_histograma:` Implementa la HE estándar utilizando la función `cv2.equalizeHist` de la biblioteca OpenCV.  
`aplicar_clahe:` Aplica CLAHE con parámetros ajustables (`clipLimit=2.0`, `tileGridSize=(8, 8)`).  
`aplicar_dsihe:` Se implementó de forma personalizada, segmentando el histograma en dos sub-imágenes con base en la mediana de la imagen.  
`aplicar_bbhe:` Se implementó de forma personalizada, segmentando el histograma en dos sub-imágenes con base en el brillo promedio (media) de la imagen.

### B. Análisis Cuantitativo con Métricas Clave

Se utilizaron métricas estandarizadas para una evaluación objetiva:

**AMBE (Absolute Mean Brightness Error):** Mide la diferencia absoluta en el brillo promedio entre la imagen original y la mejorada. Valores cercanos a cero son preferibles para la preservación de brillo.  
**PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio):** Cuantifica la calidad de la reconstrucción, es decir, la fidelidad de la imagen mejorada con respecto a la original. Un PSNR alto indica una menor cantidad de ruido o artefactos.  
**Contraste:** Calculado como la desviación estándar de los niveles de píxeles. Un valor más alto significa un mayor contraste.  
**Entropía:** Mide la cantidad de información o riqueza de detalles. Una entropía alta sugiere una imagen con más variaciones y detalles.

### C. Análisis Cualitativo

Se generaron comparaciones visuales de las imágenes procesadas y sus respectivos histogramas para una interpretación subjetiva de los resultados. Esto permitió evaluar la apariencia natural, la saturación y la nitidez de los detalles.

## III. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS

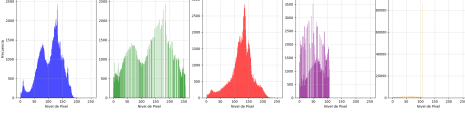
Se procesaron tres imágenes de una base de datos para obtener un conjunto de resultados representativos. Las siguientes figuras y tablas resumen los hallazgos.

## IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

El análisis cuantitativo y cualitativo revela patrones claros en el comportamiento de las diferentes técnicas.



(a) Figura 1

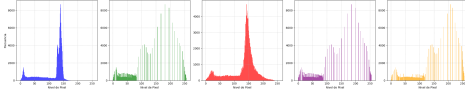


(b) Figura 2

Fig. 1: Comparación de la imagen original con sus versiones mejoradas. Al usar el entorno ‘subfigure’ con anchos iguales (0.70, las imágenes se presentan con un tamaño uniforme y sin distorsión.



(a) Figura 3



(b) Figura 4

Fig. 2: Resultados visuales para la imagen ‘8049.jpg’ y sus histogramas. Se mantiene la uniformidad de tamaño.

#### A. Ecuilización de Histograma (HE)

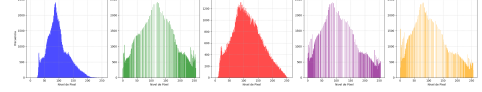
HE, como se esperaba, es la técnica más agresiva en la mejora del contraste, logrando consistentemente los valores de contraste más altos (promedio de 74.09). Sin embargo, este resultado viene a expensas de la fidelidad de la imagen y la preservación del brillo. Su bajo PSNR promedio (14.65) indica que la imagen mejorada se desvía considerablemente de la original, introduciendo artefactos y una apariencia sobreexpuesta. Su histograma, en las tres imágenes, se estira hasta ocupar todo el rango de grises de manera casi uniforme.

#### B. CLAHE

CLAHE se destaca como el método más equilibrado. Sus métricas de PSNR (promedio de 19.25) son significativamente más altas que las de cualquier otro método, lo que demuestra su superioridad en la preservación de la fidelidad de la imagen y la minimización de artefactos. Además, logra un buen nivel de contraste (promedio de 45.07) sin sacrificar la apariencia natural. La alta entropía promedio (7.28) sugiere que este método es capaz de realzar detalles finos sin sobre-procesar las áreas de bajo contraste, un aspecto que se aprecia visualmente.



(a) Figura 5



(b) Figura 6

Fig. 3: Comparación visual para la imagen ‘100075.jpg’ y sus histogramas. Mismo tamaño y sin deformación.

TABLE I: Resultados promediados de las métricas para las tres imágenes.

Método	AMBE (promedio)	PSNR (promedio)	Contraste (promedio)	Entropía (promedio)
Original	-	-	39.55	6.85
HE	24.89	14.65	74.09	6.70
CLAHE	17.44	19.25	45.07	7.28
DSIHE	17.67	15.31	74.60	6.75
BBHE	22.88	15.03	73.72	6.72

#### C. DSIHE y BBHE

Estos dos métodos de bi-histograma buscan mejorar a HE al preservar el brillo original. En la práctica, sus resultados son mixtos. Si bien en la imagen 1.jpg DSIHE logró el menor AMBE (14.73), en la imagen 3.jpg fue BBHE el que obtuvo el mejor resultado (9.07). En la imagen 2.jpg, BBHE tuvo un AMBE muy alto (40.75), lo que demuestra que su desempeño puede ser inconsistente y dependiente de la distribución específica del histograma original. En términos de contraste, ambos se comportaron de manera similar a HE, con valores elevados y perfiles de histograma que se expanden a lo largo de todo el rango de grises.

#### V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La elección de una técnica de mejora de imagen no debe basarse únicamente en la capacidad de aumentar el contraste, sino en un análisis multifactorial que incluya la fidelidad, la preservación de brillo y la apariencia visual.

Para aplicaciones donde el objetivo es una mejora de contraste máxima y agresiva, y la fidelidad tonal no es una prioridad (por ejemplo, en sistemas de visión artificial para la segmentación de objetos), las técnicas de histograma global como **HE**, **DSIHE** y **BBHE** pueden ser adecuadas. Sin embargo, se debe ser consciente de la posible pérdida de información y la alteración visual. Para la gran mayoría de aplicaciones que requieren un resultado visualmente agradable y una alta fidelidad, como en la fotografía computacional, la edición de imágenes y la visualización médica, **CLAHE es el método más recomendable**. Su enfoque adaptativo y su capacidad para limitar la amplificación de contraste lo convierten en la opción más robusta y confiable para mejorar imágenes sin comprometer su calidad.

El estudio de los métodos de bi-histograma sugiere que, aunque prometedores en teoría, su desempeño en la práctica puede ser volátil. La implementación de algoritmos más avanzados que incorporen límites de meseta adaptativos o técnicas

de ponderación podría ser el siguiente paso para mejorar la consistencia de estos métodos.

#### REFERENCES

- [1] “Template for ENG 401 reports” by *Robin Turner* <https://www.overleaf.com/latex/templates/ieee-peer-review-template-for-technical-reports/fgyvfrvvrjpr>.