

# Optimización de la Calidad Visual en Imágenes de Baja Iluminación: Un Estudio Comparativo de Técnicas de Mejora

G. Graus<sup>1,\*</sup>

**Palabras clave:** *Mejora de imágenes, Baja iluminación, Ajuste de intensidad, Procesamiento del histograma, Operadores aritméticos*

## 1 Resumen

La mejora de imágenes es esencial para su utilidad en diversas aplicaciones. Este artículo se centra en cómo aplicando técnicas de operaciones punto a punto e experimentando la combinación entre ellas, se puede mejorar la identificación de la información relevante en imágenes con poca iluminación.

Para evaluar estas técnicas, se emplearon imágenes de baja iluminación de la base de datos [1]The Dark Face. Los objetivos del estudio son mejorar estas imágenes utilizando técnicas de procesado de imágenes e identificar las limitaciones de estas. Este enfoque proporciona una visión clara de las capacidades y restricciones de cada técnica en el contexto de la mejora de imágenes en condiciones de [2]baja iluminación. Los resultados y discusiones presentados en este artículo ofrecen información útil para el desarrollo de futuras investigaciones en este campo.

Las técnicas de procesamiento de imágenes como la transformación lineal, logarítmica y la [3] corrección de gamma mejoran la visibilidad de detalles, pero con riesgo de pérdida de calidad y generación de ruido. Operaciones como suma, multiplicación y división pueden ajustar la luminosidad, pero el histograma ecualizado puede generar ruido, especialmente en imágenes con baja luminosidad.

## 2 Introducción

En la actualidad, es común que las imágenes que capturamos presenten problemas como ruido, falta de nitidez o contraste, entre otros. Estos inconvenientes afectan negativamente su calidad y la interpretación de la información que contienen. Por este motivo, la mejora de imágenes se ha convertido en un área de investigación vital para mejorar la calidad visual y la interpretación de la información contenida en las imágenes.

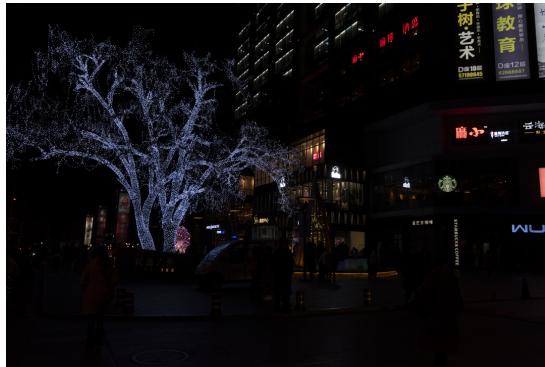
La mejora de imágenes comprende una variedad de técnicas y algoritmos diseñados para corregir y mejorar la calidad de las imágenes digitales. En este artículo, se examina un conjunto de estas técnicas y algoritmos, con un enfoque particular en la identificación de la información relevante en las imágenes. Dentro de este grupo, nos centramos en las técnicas de transformación elemental o ajustes de intensidad, el procesamiento del histograma (ecualización o normalización del histograma) y operaciones aritméticas punto a punto de las imágenes. Se lleva a cabo la mejora de cuatro imágenes de la base de datos y se analiza cómo interactúa la configuración de estas técnicas en la mejora de imágenes,

identificando sus limitaciones y las posibles soluciones alcanzadas.

### 3 Material y métodos

#### 3.1 Muestras seleccionadas, origen “The Dark Face”

Se han seleccionado imágenes del conjunto de datos debido a su baja luminosidad, característica que comparten y que resulta en una dificultad inherente para la identificación precisa de la información contenida en ellas:



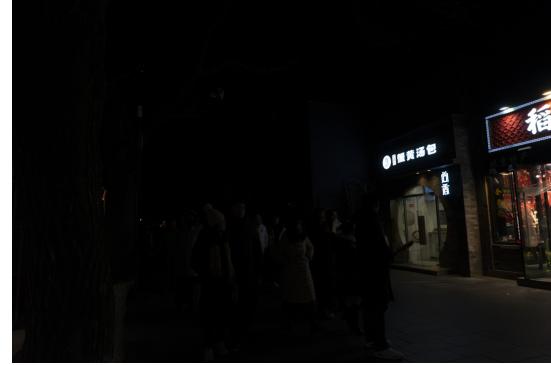
**Figure 1:** Imagen ID: 1002



**Figure 2:** Imagen ID: 4391



**Figure 3:** Imagen ID: 4353



**Figure 4:** Imagen ID: 5996

#### 3.2 Aplicación de las técnicas

Para aplicar las técnicas de ajustes de intensidad a las imágenes de baja iluminación, se seguirá un enfoque de procesamiento de imágenes pixel por pixel. Cada píxel de la imagen será modificado según la técnica específica seleccionada, lo que alterará su valor de intensidad. Este proceso se llevará a cabo utilizando operaciones matemáticas que transforman los valores de intensidad de los píxeles de acuerdo con las fórmulas correspondientes a cada técnica. Cabe destacar que las imágenes solo serán tratadas en escalas de grises para centrar los resultados con el objetivo del artículo.

En el procesamiento de imágenes, la intensidad se representa mediante un valor  $r$  en el punto  $(x, y)$  de las coordenadas de la imagen. Este valor refleja las diversas intensidades presentes en la imagen y se puede expresar como:

$$s = T(r)$$

Aquí,  $r$  y  $s$  representan respectivamente los niveles de intensidad de la imagen original y la imagen transformada. Adicionalmente, se aplica la forma general de la transformación en el dominio espacial:

$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$

En este contexto,  $f(x, y)$  es la imagen original,  $g(x, y)$  es la imagen resultante después de aplicar la transformación  $T$ , y  $x$  e  $y$  indican las coordenadas espaciales de los píxeles en la imagen.

Las siguientes técnicas muestran cómo los valores de intensidad de los píxeles en una imagen pueden ser alterados a través de transformaciones específicas, lo que permite la modificación y mejora de la visualización de la información contenida en las imágenes.

### 3.3 Transformación Elemental o Ajustes de Intensidad

Conjunto de técnicas empleadas para el tratamiento pixel a pixel de las imágenes, que de forma individual y en conjunto de ellas se buscara la mejora en la identificación de información en las imágenes.

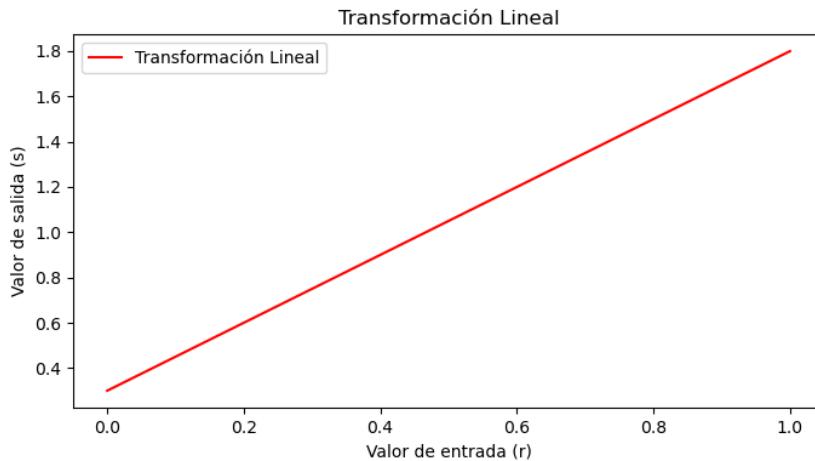
#### 3.3.1 Transformación Lineal

La transformación lineal es una técnica comúnmente utilizada en el procesamiento de imágenes para ajustar el contraste y la luminosidad. Esta técnica se define matemáticamente como:

$$s = a \cdot r + b$$

Donde:

- $r$  es el valor de intensidad de entrada.
- $s$  es el valor de intensidad de salida.
- $a$  es el factor de escala que controla el contraste.
- $b$  es el término de desplazamiento que controla el brillo.



**Figure 5:** Transformación lineal donde  $a$  y  $b$ , toman los valores 1.5 y 0.3 respectivamente. Rango de valores de intensidad de entrada  $r$  de 1 a 100

**Listing 1:** Definición la función de transformación lineal en python

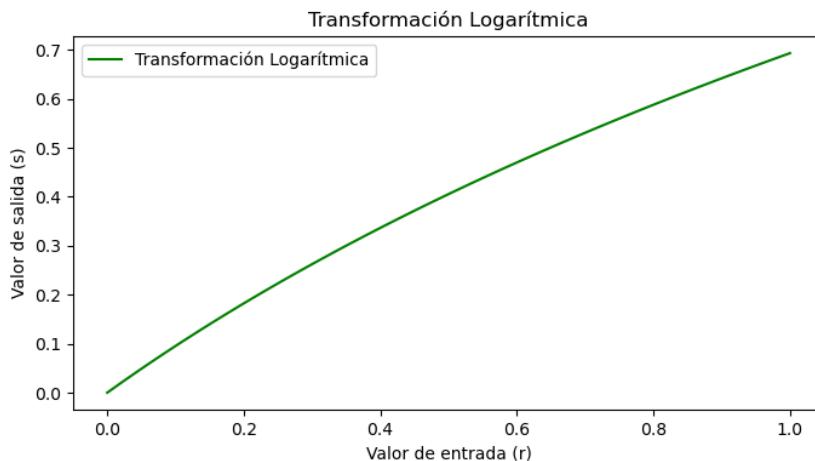
```
def transformacion_lineal(r , a , b):
    return a * r + b
```

### 3.3.2 Transformación Logarítmica

La transformación logarítmica se utiliza para expandir el rango dinámico de las intensidades de las imágenes, especialmente útil cuando hay una alta concentración de intensidades en un rango estrecho. Su fórmula es:

$$s = c \cdot \log(1 + r)$$

Donde  $r$  y  $s$  tienen el mismo significado que en la transformación lineal, y  $c$  es una constante de ajuste.



**Figure 6:** Transformación logarítmica donde  $c$ , toman los valore 1. Rango de valores de intensidad de entrada  $r$  de 1 a 100

**Listing 2:** Definición de la función de transformación logarítmica

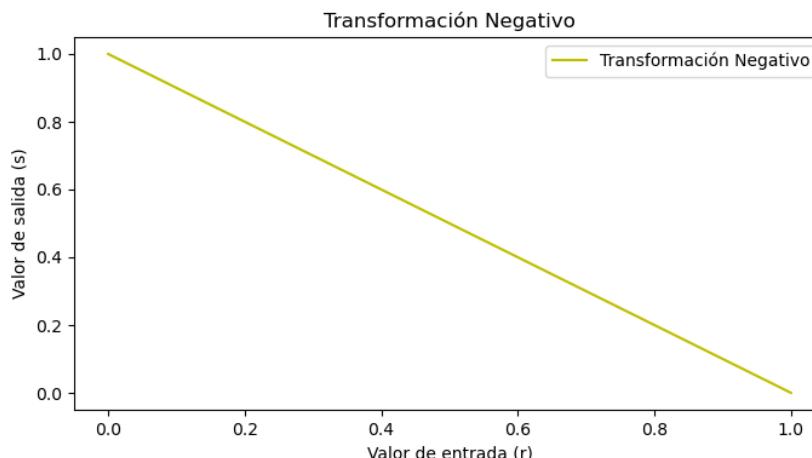
```
def transformacion_logaritmica(r, c):
    return c * np.log(1 + r)
```

### 3.3.3 Negativo

La técnica de negativo invierte los valores de intensidad de una imagen, convirtiendo los píxeles más oscuros en más claros y viceversa. Matemáticamente, se define como:

$$s = 1 - r$$

Donde  $r$  y  $s$  representan los valores de intensidad de entrada y salida, respectivamente.



**Figure 7:** Transformación Negativo. Rango de valores de intensidad de entrada  $r$  de 1 a 100

**Listing 3:** Definición de la función de transformación negativa

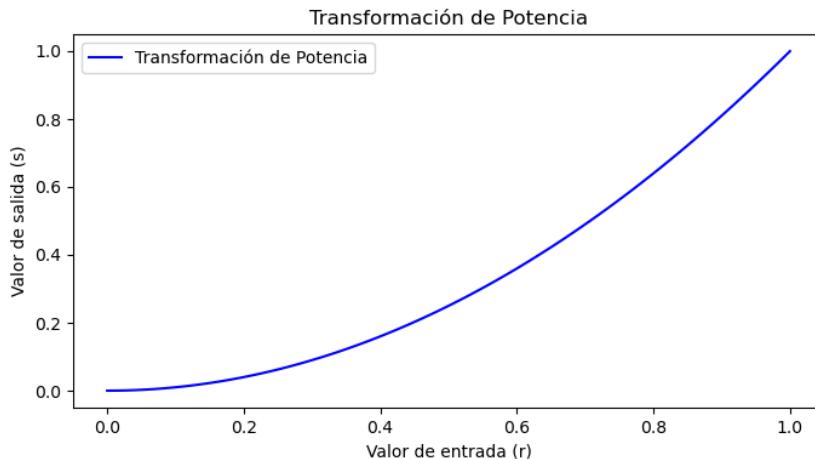
```
def transformacion_negativa(r):
    return 1 - r
```

### 3.3.4 Corrección de Gamma

La corrección de gamma ajusta el contraste de una imagen utilizando una función no lineal. Su fórmula es:

$$s = r^\gamma$$

Donde  $r$  y  $s$  son los valores de intensidad de entrada y salida, respectivamente, y  $\gamma$  es un parámetro que controla la relación de contraste.



**Figure 8:** Corrección de gamma donde  $\gamma$ , toman el valor 2. Rango de valores de intensidad de entrada  $r$  de 1 a 100

**Listing 4:** Definición de la función de transformación de potencia

```
def transformacion_potencia(r, gamma):
    return np.power(r, gamma)
```

## 3.4 Procesamiento del Histograma

### 3.4.1 Histograma Ecualizado

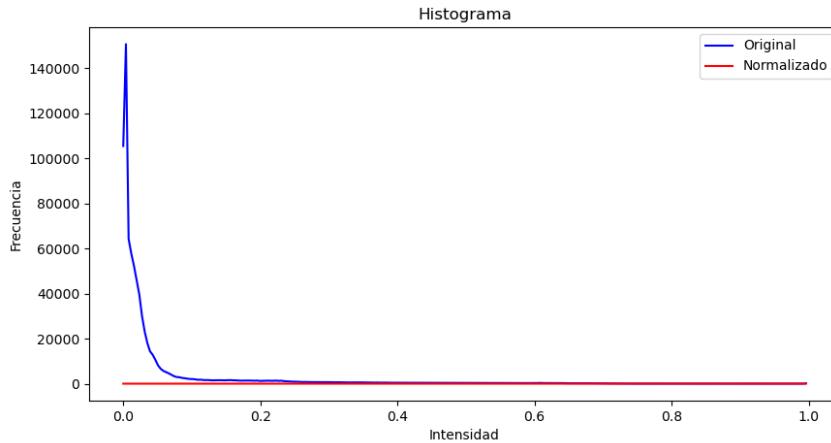
La ecualización del histograma es una técnica que redistribuye las intensidades de una imagen para mejorar su contraste. Consiste en ajustar el histograma de la imagen de modo que tenga una distribución más uniforme. Matemáticamente, se expresa como:

$$s = T(r)$$

Donde  $r$  es el valor de intensidad de entrada,  $s$  es el valor de intensidad de salida y  $T(r)$  es la función de transformación que ajusta el histograma. La función  $T(r)$  es calculada de la siguiente manera:

$$T(r) = \sum_{j=0}^r \frac{n_j}{n}$$

Donde  $n_j$  es la frecuencia acumulada del valor de intensidad  $r$  y  $n$  es el número total de píxeles en la imagen.



**Figure 9:** Transformación de la intensidad por actualización del histograma

**Listing 5:** Secuencia de normalización del histograma

```
# Obtener el histograma de la imagen
hist , bins = np.histogram(imagen_gris.flatten() , bins=256 , range=(0,1))

# Calcular la función de distribución acumulada (CDF)
cdf = hist.cumsum()

# Normalizar la CDF para ajustarla al rango [0, 1]
cdf_normalized = cdf / float(cdf.max())

# Mapear los valores de intensidad originales a los nuevos valores normalizados
imagen_normalizada = np.interp(imagen_gris.flatten() , bins[:-1] , cdf_normalized)

# Reformar la imagen con los nuevos valores normalizados
imagen_normalizada = imagen_normalizada.reshape(imagen_gris.shape)
```

El CLAHE (Ecualización Adaptativa del Histograma con Límite) es una técnica de procesamiento de imágenes que mejora el contraste local al dividir la imagen en bloques y aplicar la ecualización del histograma de forma adaptativa, evitando la saturación al limitar el contraste dentro de cada bloque (createCLAHE de la librería CV2).

$$\hat{f}(x, y) = \begin{cases} f(x, y) & \text{si } bin_{min} < f(x, y) < bin_{max} \\ bin_{min} & \text{si } f(x, y) \leq bin_{min} \\ bin_{max} & \text{si } f(x, y) \geq bin_{max} \end{cases} \quad (1)$$

- $\hat{f}(x, y)$ : Representa el valor del píxel modificado en la posición  $(x, y)$  de la imagen.
- $f(x, y)$ : Es el valor original del píxel en la posición  $(x, y)$  de la imagen.
- $bin_{min}$ : Indica el límite inferior del histograma local.
- $bin_{max}$ : Indica el límite superior del histograma local.

### 3.5 Operaciones Aritméticas Punto a Punto

#### 3.5.1 Suma

La suma de imágenes consiste en sumar los valores de intensidad de cada píxel de dos imágenes para obtener una nueva imagen. Matemáticamente, se representa como:

$$s = r_1 + r_2$$

Donde  $r_1$  y  $r_2$  son los valores de intensidad de los píxeles de las dos imágenes de entrada, y  $s$  es el valor de intensidad del píxel correspondiente en la imagen de salida.

**Listing 6:** Suma aritmética en cada píxel de la imagen

```
def suma_aritmetica(imagen, valor_a_sumar):
    # Sumar el valor a cada pixel de cada canal de color
    resultado = imagen + valor_a_sumar
    return resultado
```

### 3.5.2 Multiplicación

La multiplicación de imágenes implica multiplicar los valores de intensidad de cada píxel de dos imágenes para obtener una nueva imagen. Su expresión matemática es:

$$s = r_1 \cdot r_2$$

Donde  $r_1$  y  $r_2$  son los valores de intensidad de los píxeles de las dos imágenes de entrada, y  $s$  es el valor de intensidad del píxel correspondiente en la imagen de salida.

**Listing 7:** Multiplicación aritmética en cada píxel de la imagen

```
def multiplicacion_escalar(imagen, escala):
    # Multiplicar la imagen por el valor de escala
    resultado = imagen * escala
    return resultado
```

### 3.5.3 División

La división de imágenes se lleva a cabo dividiendo los valores de intensidad de cada píxel de una imagen entre los valores correspondientes de otra imagen. Matemáticamente, se expresa como:

$$s = \frac{r_1}{r_2}$$

Donde  $r_1$  y  $r_2$  son los valores de intensidad de los píxeles de las dos imágenes de entrada, y  $s$  es el valor de intensidad del píxel correspondiente en la imagen de salida.

**Listing 8:** División aritmética en cada píxel de la imagen

```
def division_aritmetica(imagen, valor):
    # Sumar el valor a cada pixel de cada canal de color
    resultado = imagen / valor
    return resultado
```

## 4 Resultados

	Rango de mejora	Valor seleccionado
Trans. Lineal	( $a = 5, b = 0.2$ ) ... ( $a = 15, b = 0.1$ )	$a = 9, b = 0.1$
Trans. Logarítmica	( $c = 4, \sigma = 0.7$ ) ... ( $c = 20, \sigma = 1$ )	$c = 15, \sigma = 0.7$
Correc. Gamma	Gamma = 0.4 ... Gamma = 0.6	Gamma = 0.5
Suma	40 ... 80	50
Multiplicación	2.4 ... 3.3	2.9
División	0.3...0.6	0.4

**Table 1:** Tabla de parámetros de la imagen 1002

Resultados de las mejoras:



**Figure 10:** Imagen ID: 1002



**Figure 11:** Transformación Lineal



**Figure 12:** Imagen ID: 1002



**Figure 13:** Transformación Logarítmica



**Figure 14:** Imagen ID: 1002



**Figure 15:** Corrección de Gamma



**Figure 16:** Imagen ID: 1002



**Figure 17:** Histograma Ecualizado



**Figure 18:** Imagen ID: 1002



**Figure 19:** Sumatorio



**Figure 20:** Imagen ID: 1002



**Figure 21:** Multiplicación



Figure 22: Imagen ID: 1002



Figure 23: División



Figure 24: Imagen ID: 1002



Figure 25: Negativo

	Rango de mejora	Valor seleccionado
Trans. Lineal	( $a = 2, b = 0.4$ ) ... ( $a = 10, b = 0.3$ )	$a = 5, b = 0.4$
Trans. Logarítmica	( $c = 7, \sigma = 0.4$ ) ... ( $c = 19, \sigma = 0.6$ )	$c = 10, \sigma = 0.7$
Correc. Gamma	Gamma = 0.4 ... Gamma = 0.6	Gamma = 0.5
Suma	32...55	40
Multiplicación	2.5 ... 3.4	2.8
División	0.2...0.6	0.3

Table 2: Tabla de parámetros de la imagen 4391



Figure 26: Imagen ID: 4391



Figure 27: Transformación Lineal



Figure 28: Imagen ID: 4391



Figure 29: Transformación Logarítmica



Figure 30: Imagen ID: 4391



Figure 31: Corrección de Gamma



**Figure 32:** Imagen ID: 4391



**Figure 33:** Histograma Ecualizado



**Figure 34:** Imagen ID: 4391



**Figure 35:** Sumatorio



**Figure 36:** Imagen ID: 4391



**Figure 37:** Multiplicación



**Figure 38:** Imagen ID: 4391



**Figure 39:** División



**Figure 40:** Imagen ID: 4391



**Figure 41:** Negativo

	Rango de mejora	Valor seleccionado
Trans. Lineal	( $a = 2, b = 0.4$ ) ... ( $a = 7, b = 0.3$ )	$a = 5, b = 0.4$
Trans. Logarítmica	( $c = 5, \sigma = 0.4$ ) ... ( $c = 14, \sigma = 0.7$ )	$c = 7, \sigma = 0.7$
Correc. Gamma	Gamma = 0.4 ... Gamma = 0.6	Gamma = 0.5
Suma	10 ... 50	27
Multiplicación	2.8 ... 3.6	3.1
División	0.2 ... 0.6	0.3

**Table 3:** Tabla de parámetros de la imagen 4353



Figure 42: Imagen ID: 4353



Figure 43: Transformación Lineal



Figure 44: Imagen ID: 4353



Figure 45: Transformación Logarítmica



Figure 46: Imagen ID: 4353



Figure 47: Corrección de Gamma



Figure 48: Imagen ID: 4353



Figure 49: Histograma Ecualizado



Figure 50: Imagen ID: 4353



Figure 51: Sumatorio



Figure 52: Imagen ID: 4353



Figure 53: Multiplicación



**Figure 54:** Imagen ID: 4353



**Figure 55:** División



**Figure 56:** Imagen ID: 4353



**Figure 57:** Negativo

	Rango de mejora	Valor seleccionado
Trans. Lineal	( $a = 4, b = 0.1$ ) ... ( $a = 10, b = 0.2$ )	$a = 8, b = 0.1$
Trans. Logarítmica	( $c = 6, \sigma = 0.4$ ) ... ( $c = 17, \sigma = 0.6$ )	$c = 10, \sigma = 0.5$
Correc. Gamma	Gamma = 0.5 ... Gamma = 0.7	Gamma = 6
Suma	30 ... 52	40
Multiplicación	2 ... 3.5	2.8
División	0.1 ... 0.4	0.2

**Table 4:** Tabla de parámetros de la imagen 5996



Figure 58: Imagen ID: 5996



Figure 59: Transformación Lineal



Figure 60: Imagen ID: 5996



Figure 61: Transformación Logarítmica



Figure 62: Imagen ID: 5996



Figure 63: Corrección de Gamma



Figure 64: Imagen ID: 5996



Figure 65: Histograma Ecualizado



Figure 66: Imagen ID: 5996

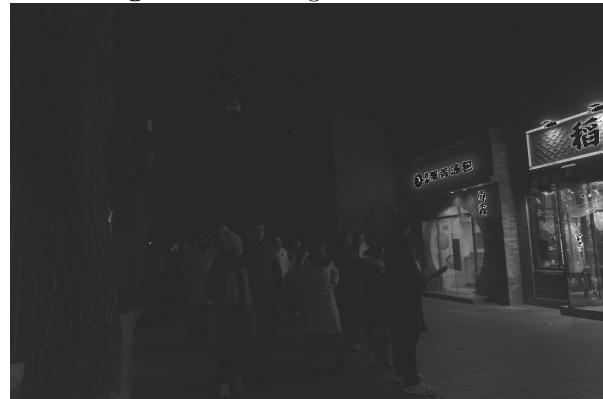


Figure 67: Sumatorio



Figure 68: Imagen ID: 5996



Figure 69: Multiplicación



**Figure 70:** Imagen ID: 5996



**Figure 71:** División



**Figure 72:** Imagen ID: 5996



**Figure 73:** Negativo

#### 4.1 Análisis de los resultados

**Transformación Lineal:** Al aumentar el brillo de toda la imagen, las áreas inicialmente más luminosas son las primeras en alcanzar los niveles máximos de intensidad, resultando en una pérdida de detalles y texturas en esas regiones

**Transformación Logarítmica:** Se esperaba que al comprimir los valores de píxeles oscuros y expandir los valores más claros, se resaltarían los detalles en áreas de baja luminosidad sin saturar las áreas claras. En este sentido, el resultado alcanza las expectativas previstas. Sin embargo, en comparación con la transformación lineal, se percibe un cierto nivel de ruido en la imagen, lo que conlleva una pérdida de calidad en el resultado final.

**Corrección de Gamma:** Al modular el contraste en diversos niveles de intensidad, se logra potenciar la visibilidad de los detalles en áreas de baja luminosidad sin comprometer significativamente las regiones más claras. Esta técnica muestra un rendimiento notable, ya que preserva la calidad en las zonas luminosas, lo que facilita la observación detallada de la información contenida en las imágenes.

**Suma:** Al buscar mejorar la visibilidad de los detalles en áreas de baja luminosidad, es crucial considerar el límite de los píxeles, dado que superar el valor máximo puede resultar en la generación de zonas oscuras donde anteriormente existía una alta luminosidad.

**Multiplicación:** Al emplear una constante mayor que 1 en la multiplicación, se incrementa el brillo de toda la imagen, lo que facilita aumentar la luminosidad en las áreas de baja intensidad sin saturar las zonas más claras. Este enfoque ha demostrado producir resultados satisfactorios, ya que no se compromete la claridad de los detalles en las áreas

luminosas, cumpliendo así con las expectativas previstas.

**División:** Del mismo modo que en la multiplicación, al dividir por una constante menor a 1 se incrementa la luminosidad en las áreas de baja intensidad sin comprometer la saturación en las zonas ya claras.

**Histograma Ecualizado:** La técnica del histograma ecualizado implica redistribuir los valores de intensidad en el histograma de una imagen para cubrir todo el rango de valores posibles. Sin embargo, este proceso conduce a la generación de un significativo ruido en las imágenes resultantes. Este efecto se manifiesta al tratar con imágenes con una baja luminosidad, ya que al tratar de distribuir las intensidades para equilibrar las áreas oscuras, se produce una saturación luminosa en toda la imagen.

## 4.2 Combinación de las técnicas para mejorar la aplicación de la ecualización del histograma

A través de la [4] combinación de técnicas de procesamiento de imágenes se adapta la imagen con poca iluminación para que de esta forma el histograma no genere tanto ruido. La transformación logarítmica expande el rango dinámico de las intensidades de píxeles, lo que mejora la visibilidad de detalles en áreas de baja luminosidad. La corrección de gamma ajusta el contraste de la imagen, mejorando la visibilidad tanto en áreas brillantes como oscuras. Finalmente, la ecualización adaptativa del histograma con límite (CLAHE) se aplica para mejorar el contraste local, especialmente en áreas con diferentes niveles de iluminación. Esta combinación de técnicas permite resaltar detalles y mejorar la calidad de las imágenes en situaciones de baja luminosidad.

- $c = 5$
- $\sigma = 0.5$
- $\gamma = 1.2$
- $clipLimit = 6.0$ : Define el límite de contraste para la ecualización adaptativa del histograma con límite
- $tileGridSize = (8, 8)$ : Define el tamaño de la cuadrícula para la ecualización adaptativa del histograma con límite



Figure 74: Ecualización Histograma ID: 5996



Figure 75: Combinación de técnicas



**Figure 76:** Ecualización Histograma ID: 1002



**Figure 77:** Combinación de técnicas



**Figure 78:** Ecualización Histograma ID: 4353



**Figure 79:** Combinación de técnicas



**Figure 80:** Ecualización Histograma ID: 4391



**Figure 81:** Combinación de técnicas

## 5 Conclusiones

La transformación lineal, aunque aumenta el brillo general, conlleva una pérdida de detalles en las regiones más luminosas. La transformación logarítmica muestra una mejora en la visibilidad de detalles en áreas oscuras, pero con cierto nivel de ruido. La corrección de gamma destaca por su capacidad para mejorar el contraste sin comprometer la calidad en áreas claras.

Las operaciones de suma, multiplicación y división permiten ajustar la luminosidad en áreas de baja intensidad sin saturar las zonas claras, con resultados satisfactorios si se manejan adecuadamente los límites de los píxeles. Sin embargo, el histograma ecualizado, mientras busca redistribuir los valores de intensidad para mejorar el contraste, puede generar ruido significativo, especialmente en imágenes con baja luminosidad.

La combinación de técnicas surge como una estrategia efectiva para enfrentar estos retos. La transformación logarítmica expande el rango dinámico de intensidades, mejorando la visibilidad en áreas de baja luminosidad. La corrección de gamma ajusta el contraste global de la imagen, resaltando tanto áreas brillantes como oscuras. Finalmente, la ecualización adaptativa del histograma con límite (CLAHE) se aplica para mejorar el contraste local, especialmente en áreas con diferentes niveles de iluminación. Esta integración permite resaltar detalles y mejorar la calidad de las imágenes con baja luminosidad. En conjunto, estas conclusiones respaldan la importancia de combinar técnicas de procesamiento de imágenes para obtener resultados óptimos en situaciones específicas.

## REFERENCES

- [1] Yang, Wenhan and Yuan, Ye and Ren, Wenqi and Liu, Jiaying and Scheirer, Walter J. and Wang, Zhangyang and Zhang, "Advancing Image Understanding in Poor Visibility Environments: A Collective Benchmark Study", vol.29, 2020, IEEE Transactions on Image Processing, doi: 10.1109/TIP.2020.2981922
- [2] W. Kim, "Low-Light Image Enhancement: A Comparative Review and Prospects," in IEEE Access, vol. 10, pp. 84535-84557, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3197629.
- [3] Jong Ju Jeon, Jun Young Park, Il Kyu Eom, "Low-light image enhancement using gamma correction prior in mixed color spaces", Pattern Recognition, Volume 146, 2024, 110001, ISSN 0031-3203, <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2023.110001>.
- [4] Banik, Partha Saha, Rappy Kim, Ki-Doo. (2018). Contrast enhancement of low-light image using histogram equalization and illumination adjustment. 1-4. 10.23919/ELINFOCOM.2018.8330564.