

Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	18/12/2024
	Nombre: Araceli	

Mejora de imagen: operaciones elementales

Resumen

Para llevar a cabo esta actividad se han utilizado diferentes técnicas para la mejora visual de imágenes tomadas en condiciones de muy baja iluminación, dentro de estos métodos se encuentran operaciones de *transformación de intensidad*, *procesamiento del histograma* y *operaciones aritméticas*.

Las fotos utilizadas para este estudio fueron tomadas de la base de datos *Dark Face* (*Dark Face Dataset*, s.f.), que se caracterizan por tener una gran cantidad de píxeles concentrados en colores oscuros. Los resultados demuestran como las técnicas de **corrección gamma** y **CLAHE** han sido las mejores para poder mejorar la visibilidad y el contraste de las fotos. Sin embargo, también se han utilizado otros métodos que no han proporcionado mejoras tan significativas, como la **umbralización**, el **negativo**. Por otro lado, la **ecualización del histograma**, la **transformación logarítmica** y las funciones aritméticas, en este caso la **multiplicación**, han proporcionado buenos resultados, pero con ciertas limitaciones y con cierta adición de ruido en algunas, empeorando en cierta medida la calidad de la imagen.

A modo de conclusión, se recomienda seguir explorando otras técnicas diferentes para poder investigar la posibilidad de obtener mejores resultados en condiciones extremas de iluminación. Algunas técnicas a explorar serían las redes neuronales convolucionales (CNNs) (*Learning to See-in-the-Dark Using Convolutional Neural Network*, s.f.), así como la combinación de varias técnicas aplicadas a este estudio.

Introducción

El procesamiento de imágenes digitales es una herramienta fundamental en el análisis de datos visuales, esencialmente en contextos donde las condiciones de iluminación son extremas.

En este laboratorio se han utilizado imágenes cogidas de la base de datos *Dark Face*. Estas imágenes representan escenas nocturnas reales con una iluminación insuficiente, lo que las convierte en imágenes ideales para ser objeto de estudio para

probar las diversas técnicas de procesamiento digital adquiridas.

El objetivo de esta actividad ha sido comparar la efectividad de las diferentes técnicas aprendidas sobre *operaciones de transformación de intensidad*, *procesamiento del histograma* y *operaciones aritméticas* sobre este tipo de imágenes. Además, sobre los resultados obtenidos con estas técnicas se ha podido identificar las limitaciones y desafíos de las mismas en situaciones reales.

Material y métodos

Base del código

El punto de partida para este laboratorio fue el código proporcionado por **Eduardo Muñoz Lorenzo**, profesor de la asignatura de *Visión Artificial* en la *Universidad Internacional de la Rioja (UNIR)*. El cuaderno titulado "*T6_Ajuste_Intensidad.ipynb*", sirvió como referencia principal para el desarrollo de la actividad. Este código fue adaptado, de tal forma que algunas técnicas en lugar de mostrar su resultado en escala de grises, se mostrara con un *formato RGB*, así como que se pudiese mostrar el resultado para las 4 imágenes en una misma ejecución, facilitando así realizar un análisis comparativo global de manera más exhaustiva.

Entorno de trabajo

Para la realización de este trabajo se ha utilizado un entorno basado en la nube utilizando **Google Colab**, la cuál es considerada como una de las plataformas más utilizadas en el ámbito de la investigación debido a su capacidad para ejecutar código en tiempo real y con acceso a recursos computacionales avanzados. Se empleó la versión de **Python 3.10.12**, que se encuentra configurada de forma predeterminada en el entorno. Además, para una mejor estructura del código y la visualización de los resultados, se ha utilizado un **notebook interactivo**.

Bibliotecas utilizadas

Se han utilizado las siguientes bibliotecas para realizar las operaciones de procesamiento de imágenes y visualización de resultados:

- **NumPy**: utilizada para realizar operaciones matriciales y manipulación de datos numéricos. Es muy útil, ya que las imágenes están representadas como una matriz de píxeles.

Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	18/12/2024
	Nombre: Araceli	

- **Matplotlib:** empleada para la generación de gráficos e histogramas, así como la representación visual de las imágenes procesadas.
- **OpenCV (cv2):** biblioteca principal para el procesamiento y transformación de imágenes.
- **PIL (Python Imaging Library):** utilizada para la manipulación básica de imágenes, como la conversión entre formatos y su lectura.
- **Google Colab Files:** facilitó la carga de las imágenes desde el entorno local al entorno online de colab.

Datos utilizados

Partiendo de la base de datos **Dark Face**, se han seleccionado cuatro imágenes, caracterizadas por su baja iluminación y su relevancia en el análisis para aplicar técnicas de mejora visual en entornos oscuros. Su procesado ha supuesto un reto dada su alta concentración de píxeles oscuros, los cuales tienden a la zona de color cero, complicando así la diferenciación de detalles y elementos en las imágenes.

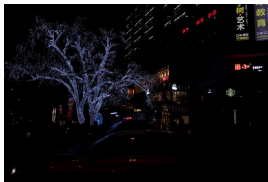


Imagen 1

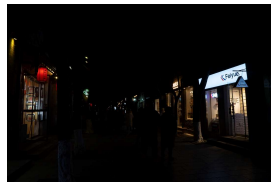


Imagen 2

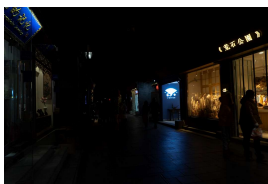


Imagen 3

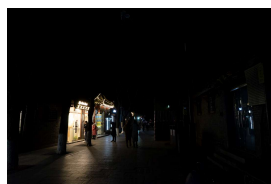


Imagen 4

Figura 1: Selección de las imágenes para realizar su procesamiento

Técnicas aplicadas

En este estudio se han utilizado tres tipos de técnicas diferentes.

Las primeras se encuentran relacionadas con las **transformaciones de intensidad:**

- **Umbralización:** es un método de segmentación de imágenes que consiste en *dividir una imagen en regiones según un valor umbral* (threshold) establecido, pero aplicado en este caso de manera

independiente a los canales de color. Esta técnica es muy útil cuando se busca resaltar objetos o regiones con características cromáticas específicas. Sin embargo, en imágenes oscuras donde apenas se pueden discernir los detalles que la componen esta técnica puede verse limitada. (*Aplicación de umbrales en imágenes (thresholding), con Python y 'scikit-image', 2022*), (*Color Threshold*)

Para aprovechar el potencial de esta técnica, se han aplicado a las imágenes diferentes umbrales (2,6,8,12), dado que los niveles de intensidad varían según las características de cada una.

- **Negativo de una imagen:** se refiere a la transformación de la imagen original para *invertir los valores de los píxeles en cada canal de color* (RGB), es decir, la intensidad de la imagen de salida disminuye conforme la intensidad de la imagen de entrada aumenta. Esto se logra mediante la aplicación de una función de transformación que cambia el rango dinámico de los niveles de color de la imagen. (*Procesamiento digital de imágenes, s.f.*), (*Wikipedia: Negative (photography)*)

- **Transformación logarítmica:** se emplea cuando se pretende expandir el rango de intensidad de los píxeles oscuros, al mismo tiempo que se equiparan entre sí los píxeles más claros, permitiendo así el realce de intensidades más bajas. En imágenes oscuras es una muy buena técnica, ya que mejora de forma significativa las áreas que se encuentran bajo poca iluminación. (*Logarithmic Transformation of an image using Python and Pillow, s.f.*)

Para su implementación se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$T(r) = c * \log(1 + r)$$

$$c = \frac{L - 1}{\log(1 + r_{\max})} \quad (\text{constante de escala})$$

r_{\max} = valor del píxel de entrada

L = intensidad máxima de salida

- **Corrección gamma:** La corrección gamma es una técnica en el procesamiento de imágenes utilizada para *ajustar el brillo y el contraste de una imagen de manera no lineal*. Se basa en la manipulación de los valores de intensidad de los píxeles a través de una transformación matemática, que utiliza una función de potencia para redistribuir los niveles de gris o de color en una imagen. (*How to Use Gamma Correction for Image Processing with OpenCV, s.f.*)

Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	18/12/2024
	Nombre: Araceli	

En este caso se probaron diferentes valores gamma (0.25, 0.35 y 0.5) inferiores a 1, ya que permiten aumentar las diferencias de contraste entre píxeles más oscuros.

Para este caso la fórmula aplicada es similar a la anterior, pero en lugar de utilizar logaritmos, se utilizan potencias:

$$T(r) = c * u^{\gamma}(c, \gamma > 0)$$

c = constante de escala

u = valor del píxel de entrada

γ = parámetro gamma

Las siguientes tienen que ver con el **procesado sistemático del histograma**:

- **Ecualización del histograma**: es una técnica de procesamiento de imágenes que mejora el contraste de una imagen *ajustando la distribución de los niveles de intensidad de los píxeles*. Transforma una imagen para que tenga una *distribución uniforme* de intensidades, mejorando así la visibilidad de detalles en imágenes de gran oscuridad o mal contrastadas. (Lorenzo, Tema 6: Procesamiento de Imagen: Operaciones Elementales, s.f.)

- **CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization)**: *variante adaptativa de la ecualización del histograma*. Consiste en dividir la imagen en varias regiones (se utiliza la definición de *ventana*, en este caso de 8x8) a las que se le aplica de manera individual la ecualización del histograma. (CLAHE Histogram Equalization – OpenCV, s.f.) Además, se le ha aplicado un *límite de contraste de 10.0* permitiendo así mejorar la calidad y visibilidad de la imagen.

Por último, se han utilizado **operaciones aritméticas**, donde la única que se ha utilizado ha sido la **multiplicación**, ya que su funcionalidad es la de *modificar el brillo de la imagen*, haciéndola objeto de estudio para el procesamiento de imágenes de este laboratorio. Por otro lado, **la suma y la resta** no tienen mucha cabida en esta actividad dada su falta de utilidad para el propósito de dicho estudio. Cabe destacar que para definir algunas de estas técnicas se utilizó algunas definiciones de las diapositivas y temario del tema 6 de la asignatura *Visión Artificial* de la UNIR.

Resultados

A partir de los resultados obtenidos se ha podido comprobar como dependiendo de la imagen, las técnicas serán mejores o peores y necesitarán unos parámetros específicos u otros.

Transformaciones de intensidad

- **Umbralización**: esta técnica permite segmentar la imagen de tal forma que la diferencie entre áreas claras y áreas oscuras, permitiendo así resaltar detalles que con las imágenes originales no se pueden distinguir. Según la foto a la que se aplique se ha utilizado un umbral diferente, dado que cada imagen posee unas características diferentes.

A la primera imagen se le ha aplicado el umbral más pequeño (*umbral = 2*), ya que posee una menor concentración de píxeles oscuros en comparación a las otras tres imágenes. Al resto de imágenes se le aplicó un *umbral mayor que 5*, dado que al hallar el aplanado del histograma de cada imagen, se pudo observar cómo estas últimas tres fotos poseen una mayor concentración de este tipo de píxeles. También cabe destacar, que *no se cogieron umbrales mayores a 12*, dado que los colores empezaban a mezclarse entre sí, además aumentaba el brillo considerablemente impidiendo la buena visualización y distinción de los objetos en las imágenes.

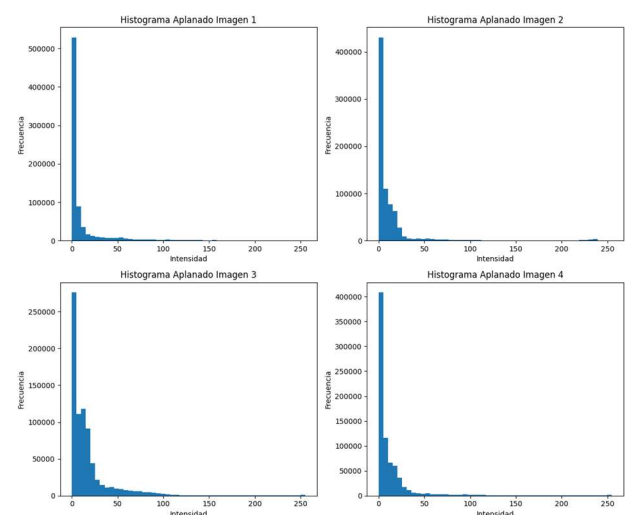


Figura 2: Histogramas aplanados de las imágenes para su umbralización

La umbralización ha sido una buena primera técnica de acercamiento para poder discernir ciertos detalles de las fotografías y mejorar la visibilidad de las mismas. Sin embargo, no es la mejor técnica de todas las aplicadas.

Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	18/12/2024
	Nombre: Araceli	



Figura 3: Imágenes aplicadas umbralización

- **Negativo de una imagen:** aunque invierte la intensidad de entrada en la escala de color, esta técnica ha sido la que peores resultados ha dado. Es cierto que permite vislumbrar ciertos detalles que con las imágenes originales no, pero como estas últimas son tan oscuras, las imágenes resultantes poseen un brillo excesivo (invierte oscuridad extrema por brillo extremo), dificultando la visibilidad de la imagen. Por tanto, esta técnica en esta situación no proporciona buenos resultados.



Figura 4: Imágenes aplicadas el negativo

- **Transformación logarítmica:** esta técnica busca ampliar el rango de intensidades en las áreas más oscuras de la imagen, permitiendo resaltar los detalles en las zonas menos iluminadas. Como se puede observar en la Figura 5, ha proporcionado unos resultados con una mejora bastante notable en visibilidad. En esta se puede apreciar prácticamente al completo todos los detalles de las fotos, aunque su calidad sigue siendo limitada.



Figura 5: Imágenes aplicadas la transformación logarítmica

- **Corrección gamma:** para el caso de esta técnica se utilizaron varios valores gamma: 0.25, 0.35 y 0.5.

Como se puede observar en la Figura 6, un gamma con valor de 0.25 aclara de manera significativa la imagen en comparación con la imagen original. Este valor permite realzar las zonas más oscuras que anteriormente pasaban desapercibidas haciéndolas de tal forma visibles y una imagen más luminosa. Sin embargo, suele añadir ruido adicional a la imagen.

Por otro lado, un gamma de 0.5 genera un equilibrio entre el realce de sombras y la perseverancia de los detalles en las zonas más claras. La imagen se aclara lo suficiente como para visualizar detalles importantes sin sobresaturar demasiado las regiones brillantes.

Podemos observar como en las imágenes con una gamma de 0.25 se pueden ver prácticamente todos los detalles, aunque con un ruido añadido, saturando además las zonas claras. Por otro lado, con un gamma de 0.5 se ve una imagen más natural, con un equilibrio entre los diferentes colores, sin embargo, con este valor hay detalles que pasan casi desapercibidos ya que no hace un realce tan notable como el gamma anterior de las zonas oscuras. Por ello se valoró buscar un valor de gamma intermedio como 0.35, en este se puede observar que hay un mayor equilibrio y menos saturación que con el gamma de 0.25, aunque sigue habiendo presencia de algo ruido. En comparación con la de 0.5, se pueden apreciar algunos detalles en las zonas oscuras que antes no se llegaban a distinguir del todo, aunque, se ve más saturación y ruido.

Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	18/12/2024
	Nombre: Araceli	

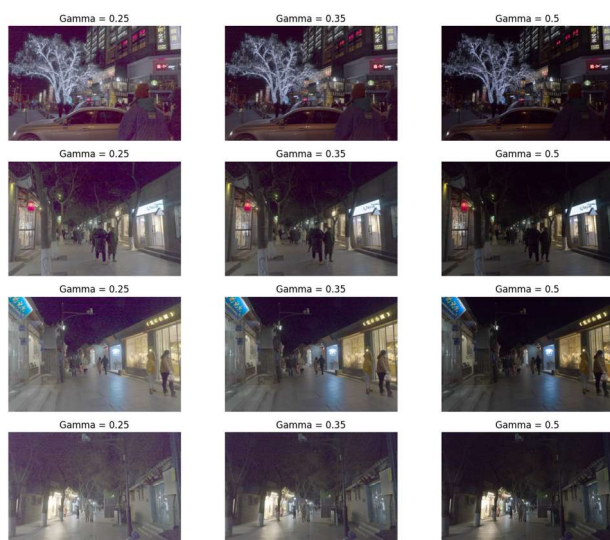


Figura 6: Imágenes aplicadas la corrección gamma con valores de 0.25, 0.35 y 0.5

Procesado sistemático del histograma

- **Ecuación del histograma y CLAHE:** si observamos la *Figura 7*, podemos ver que se muestra una de las cuatro imágenes originales, junto a su imagen aplicada la ecuación del histograma y por último CLAHE, además por cada una podemos ver su correspondiente histograma.

En primer lugar, podemos observar como en el histograma de la imagen original hay picos muy elevados en los niveles de intensidad cercanos al cero, indicando que la imagen posee una alta concentración de píxeles oscuros. En el momento en el que se le aplica a esta imagen la *ecuación del histograma* podemos ver como la imagen muestra un incremento en el brillo y contraste general, sin embargo, se observan efectos de saturación y ruido en ciertas áreas. Por otro lado, en el histograma ecualizado, se puede ver como las barras de los niveles de intensidad están más dispersas y uniformes, lo que supone una correcta redistribución de niveles para así aumentar el contraste general.

Por último y no menos importante, con CLAHE la imagen presenta un contraste más natural y adaptativo en comparación con la ecualización global que hace la ecualización del histograma. Esta técnica ayuda a traer más brillo a la imagen sin que estas zonas se lleguen a saturar y además proporcionan mucho menos ruido, pudiendo visualizar mejor los detalles. En cuanto al histograma, se puede apreciar que posee una apariencia más suave y balanceada que con el histograma ecualizado.



Figura 7: Imágenes original, aplicada ecualización del histograma, CLAHE y sus respectivas gráficas

Por tanto, se puede concluir que CLAHE es una mejor técnica que la ecualización del histograma, ya que al aplicarse por zonas en toda la imagen (con una ventana, en este caso de 8x8 y un límite de contraste de 10.0), conseguimos obtener mejores resultados que aplicando una ecualización de forma global a la imagen. (En el anexo se encontrarán las imágenes ecualizadas y con CLAHE de las otras tres fotos.)

Operaciones aritméticas

De las operaciones aritméticas posibles se ha utilizado **la multiplicación y su normalización**, ya que consiste en modificar el brillo de la imagen. Las otras dos técnicas, **la suma y la resta**, no aparecen en este estudio ya que no tienen cabida en él.

Podemos ver en la *Figura 8* la imagen original tomada, su imagen aplicada la multiplicación y su normalización. Normalmente, la *multiplicación normalizada* es una mejor técnica que la *multiplicación sin normalizar*, dado que esta última puede causar una cierta saturación. En este caso al aplicar cada una de las dos técnicas, según los resultados obtenidos se ha podido comprobar, que, aunque la imagen multiplicada muestra un cierto factor de saturación en ciertos puntos de la imagen, se puede visualizar mejor que la imagen normalizada, ya que al haber aplicado un *factor de 2.7*, la normalización se ha aplicado de forma muy sutil, de tal forma que apenas se aprecia el cambio.

Como solución, se intentó probar con un factor más alto, pero en ambas imágenes de la multiplicación los reflejos y zonas más luminosas empezaban a sobresaturarse, empeorando la calidad de la imagen.

Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	18/12/2024
	Nombre: Araceli	

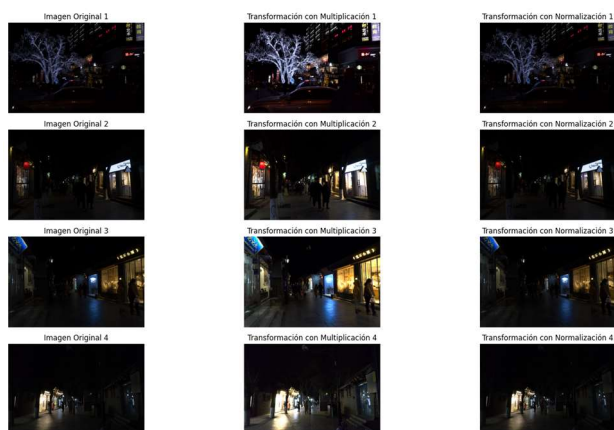


Figura 8: Imágenes originales, aplicada multiplicación y su normalización

Conclusiones

En este trabajo se ha realizado un análisis de las diferentes técnicas adquiridas para el procesamiento de imágenes tomadas en bajas condiciones de iluminación, como las obtenidas de la base de datos *Dark Face*. Utilizando métodos de *transformaciones de intensidad*, *procesamiento del histograma* y *operaciones aritméticas*, se han obtenido diferentes resultados, donde se ha podido comprobar la efectividad y limitaciones de cada técnica.

Siguiendo el orden descrito en los resultados:

Transformaciones de intensidad:

- La **umbralización** ha resultado ser una técnica útil para segmentar la imagen y resaltar áreas claras y oscuras, permitiendo discernir detalles que no eran visibles en las imágenes originales. La elección del umbral ha dependido de la distribución de los niveles de intensidad en cada imagen, evitando valores excesivos que provocan mezcla de colores y pérdida de visibilidad.
- La técnica del **negativo** ha sido la menos efectiva debido a la extrema inversión de intensidades en imágenes muy oscuras, que resultó en un brillo excesivo y en la pérdida de detalles importantes.
- La **transformación logarítmica** ha mostrado mejoras significativas al ampliar el rango de intensidades en las zonas oscuras, permitiendo visualizar detalles con mayor claridad, aunque con una calidad limitada.

- La **corrección gamma**, aplicada con valores de 0.25, 0.35 y 0.5, ha demostrado que un valor intermedio como 0.35 ofrece un equilibrio adecuado entre la mejora de las zonas oscuras y la preservación de los detalles, aunque con algo de ruido añadido. Mientras que un gamma de 0.25 realza considerablemente las zonas oscuras, pero añade ruido y saturación, un gamma de 0.5 proporciona una imagen más natural, aunque menos efectiva en el realce de detalles oscuros.

Procesado sistemático del histograma:

- La **ecualización del histograma** ha incrementado el brillo y contraste general de las imágenes, pero a costa de añadir saturación y ruido en ciertas áreas.
- Por su parte, **CLAHE** ha demostrado ser una técnica con una mejora notable al aplicar un ajuste adaptativo del contraste por zonas. CLAHE proporciona un mayor equilibrio en el contraste, evitando saturaciones y reduciendo notablemente el ruido, lo que permite visualizar los detalles de manera más clara y natural.

Operaciones aritméticas:

- En cuanto a la **multiplicación** y su **normalización**, se ha observado que la *multiplicación simple* mejora la visibilidad al incrementar el brillo, aunque puede generar saturación en áreas luminosas. La **multiplicación normalizada** reduce este problema, pero, al aplicarse de forma muy sutil (con un factor de 2.7), el cambio ha sido apenas perceptible. Al aumentar el factor, ambas técnicas provocaron sobresaturación, lo que afectó negativamente a la calidad de la imagen.

En conclusión, los resultados obtenidos reflejan que no existe una única técnica para mejorar la visibilidad en imágenes oscuras. La elección de la técnica más adecuada dependerá de las características de la imagen y del objetivo específico del procesamiento. Técnicas como **CLAHE** y la **corrección gamma** han demostrado ser las más efectivas al ofrecer un equilibrio entre el realce de detalles, la mejora del contraste y la preservación de la calidad visual. Además, la combinación de varias técnicas podría ser una línea interesante para estudios futuros,

Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	18/12/2024
	Nombre: Araceli	

permitiendo abordar las limitaciones individuales de cada método y lograr una mejora más considerable y adaptativa en la visibilidad de imágenes oscuras. Asimismo, el uso de redes neuronales convolucionales (CNN) podría representar un enfoque avanzado, permitiendo automatizar y optimizar el procesamiento mediante el aprendizaje profundo, adaptándose mejor a condiciones extremas de iluminación.

Referencias

1. *Dark Face Dataset*. (s.f.). Obtenido de <https://www.kaggle.com/datasets/soumikrakshit/dark-face-dataset?resource=download>
2. *Learning to See-in-the-Dark Using Convolutional Neural Network*. (s.f.). Obtenido de <https://medium.com/@arijitdey3410/learning-to-see-in-the-dark-using-convolutional-neural-network-4c03766bfd8>
3. *Aplicación de umbrales en imágenes (thresholding), con Python y 'scikit-image'*. (13 de Diciembre de 2022). Obtenido de <https://programacionpython80889555.wordpress.com/2022/12/13/imágenes-de-umbrales-en-imágenes-thresholding-con-python-y-scikit-image>
4. *Color Threshold*. (s.f.). Obtenido de https://www.roborealm.com/help/Color_Threshold.php
5. *Procesamiento digital de imágenes*. (s.f.). Obtenido de https://www.wikiwand.com/es/articles/Procesamiento_digital_de_im%C3%A1genes
6. *Wikipedia: Negative (photography)*. (s.f.). Obtenido de [https://en.wikipedia.org/wiki/Negative_\(photography\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Negative_(photography))
7. *Logarithmic Transformation of an image using Python and Pillow*. (s.f.). Obtenido de <https://pythontic.com/image-processing/pillow/logarithmic%20transformation>
8. Lorenzo, E. M. (s.f.). *Tema 6: Procesamiento de Imagen: Operaciones Elementales*.
9. *How to Use Gamma Correction for Image Processing with OpenCV*. (s.f.). Obtenido de <https://www.dynamsoft.com/codepool/image-processing-opencv-gamma-correction.html>

10. *CLAHE Histogram Equalization – OpenCV*. (s.f.). Obtenido de <https://www.geeksforgeeks.org/clahe-histogram-equalization-opencv/>

Anexo

En este anexo, se va a mostrar la *ecualización del histograma* y la *aplicación de CLAHE* a las imágenes restantes que no se mostraron en el artículo.

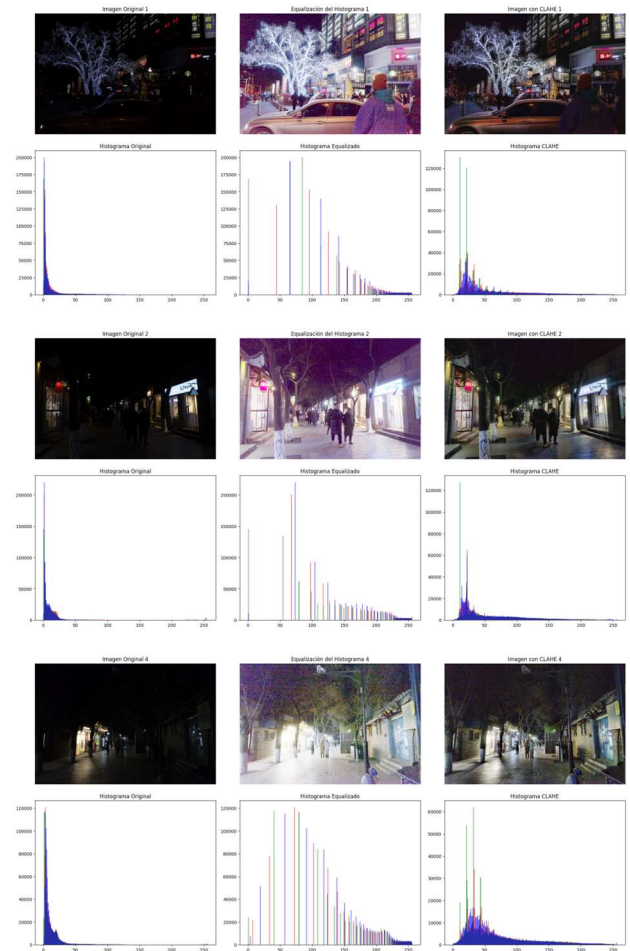


Figura 9: Imágenes original, aplicada ecualización del histograma, CLAHE y sus respectivas gráficas para el resto de las imágenes

En estas tres imágenes restantes se puede comprobar como la aplicación de las técnicas y su resultado varía según el tipo de imagen. Es evidente que en este caso entre la ecualización del histograma y CLAHE, la mejor técnica es la segunda. Sin embargo, si se estuviese haciendo solo un estudio de la primera imagen, se ve como con la ecualización del histograma nos saca una imagen bastante clara, con ruido, pero sin notarse de manera excesiva, al contrario que con la última foto, que es muy notable el ruido obtenido. Es claro que CLAHE muestra una foto más oscura, pero con

Asignatura	Datos del alumno	Fecha
Visión Artificial	Apellidos: Ruiz Vallecillo	18/12/2024
	Nombre: Araceli	

una naturalidad mayor y prácticamente sin ruido adicional, aunque en función de la imagen el aumento del brillo será mayor o no.

Por tanto, se puede comprobar con esta comparativa con la aplicación de una técnica u otra puede provocar diferentes resultados, ya que depende de las características específicas de la imagen.