

# Ecualización Bi-Histograma Usando Dos Límites de Plateau

Pabla Belén Aquino Morínigo  
Facultad Politécnica  
Universidad Nacional de Asunción  
Email: pabla.aqui@gmail.com

Freddy René Lugo Solis  
Facultad Politécnica  
Universidad Nacional de Asunción  
Email: decamper@gmail.com

**Abstract**—La ecualización de histograma (HE) es un método efectivo para la mejora del contraste en las imágenes, pero sufre de ciertos problemas como la tendencia a cambiar el brillo medio, la pérdida de información y la introducción de niveles de saturación ocasionando una apariencia poco natural en la imagen resultante. Debido a los problemas expuestos anteriormente una variedad de métodos de ecualización de histogramas han sido desarrollados con el objetivo de preservar el brillo medio de la imagen y así evitar los niveles de saturación que ocasionan la pérdida de información. De la misma manera se desea buscar un nuevo método de preservación del brillo medio que ecualice imágenes dentro de un tiempo de cómputo razonable. Este paper propone el Bi-Histogram Equalization Using Two Plateau Limits (BHE2PL) para la ecualización de histogramas. BHE2PL divide el histograma global en dos sub-histogramas, luego cada sub-histograma es modificado por dos límites de plateau con el fin de evitar la sobre-mejora de la imagen. Los resultados experimentales realizados muestran que el método propuesto presenta una mejor preservación del brillo medio comparado con otros métodos basados en la preservación del brillo medio que se encuentran en el estado del arte.

**Keywords**—*Mejora de Imagen, Mejora de Contraste, Preservación del Brillo, Ecualización de Histograma, Límite de Plateau, Métodos basados en bisección.*

## I. INTRODUCTION

La ecualización global de histograma (GHE), es uno de los métodos más populares para la mejora de imágenes digitales, pero su implementación no es adecuada en los productos electrónicos de consumo como televisiones, cámaras digitales, y cámaras de video, debido a la introducción de los efectos de saturación de nivel en pequeñas áreas visualmente importantes [10]. Estos efectos de saturación no solo degradan la apariencia de la imagen, sino que también conducen a la pérdida de información [11]. El excesivo cambio en el nivel de brillo introducido por el GHE conduce a una mejora poco natural de la imagen, es decir al aumentar el nivel de brillo de manera excesiva en la imagen, la calidad de la misma tiende a degradarse significativamente [12]. Por tanto, la preservación del brillo medio de la imagen es importante para preservar la calidad de la misma.

La idea de mantener el brillo medio de una imagen para los productos electrónicos de consumo fue introducido por primera vez por Kim [1]. Preservando el brillo medio de la imagen se reducen los efectos de saturación y además se evita la mejora poco natural de la imagen.

Los métodos de preservación del brillo medio (MBPHE) básicamente pueden dividirse en dos grupos principales: (a)

MBPHE mediante bisección y (b) MBPHE mediante multisección [18], [19], [20] y [21]. Los MBPHE basados en bisección representan el grupo más simple de los métodos MBPHE. Fundamentalmente, estos métodos dividen el histograma global en dos secciones. Estas dos secciones luego son ecualizadas de manera independiente. La mayor diferencia entre los métodos de esta familia es el criterio utilizado para dividir el histograma global.

Los MBPHE basados en bisección pueden preservar el brillo medio solo hasta un cierto grado. Además los MBPHE basados en bisección solo pueden preservar el brillo medio original si el histograma de entrada posee una distribución casi-simétrica alrededor del punto de separación, pero la mayoría de los histogramas de entrada no poseen esta propiedad. Esta característica conduce al fracaso de los MBPHE basados en bisección a la hora de preservar la intensidad del brillo medio en las aplicaciones de la vida real.

El primer método basado en la preservación del brillo medio, Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization (BBHE) fue propuesto por Kim [1] y consiste en dividir el histograma global utilizando como punto de división el brillo medio, una vez dividido el histograma global cada sub-histograma es ecualizado en forma independiente. De manera similar a BBHE, Wang et al. presetan un método de ecualización denominado DSIHE [2], usando como punto de separación la intensidad mediana en vez de la media propuesta por BBHE. En el 2003 Chen y Ramli [3] presentan el Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization (MMBEBHE). El objetivo de este método es proveer la máxima preservación de brillo en la mejora de imagen. MMBEBHE separa el histograma global usando como punto de separación aquel que produzca la menor diferencia de brillo entre la imagen de entrada y la imagen resultante. Por ejemplo, dada una imagen de 8-bits, MMBEBHE requiere de 256 repeticiones de manera a encontrar el punto de división que obtenga la menor diferencia de brillo entre la imagen de entrada y la imagen resultante.

Más tarde es presentado un método denominado BHEPL [4] que combina las mejores características de las técnicas de preservación de brillo con el Clipped Histogram Equalization (CHE) de modo a mejorar satisfactoriamente los objetos que ocupan pequeñas porciones de la imagen y que quizás pueden ser de interés. BHEPL separa el histograma global usando como punto de separación la intensidad media del histograma de entrada. Luego un proceso de acotado de histograma es llevado a cabo para cada sub-histograma usando la media de las apariciones de las respectivas intensidades

dentro de cada sub-histograma. Por último la ecualización es aplicada de forma independiente a cada sub-histograma. Similar a BHEPL, Bi-Histogram Equalization with Median Plateau Limit (BHEPL-D) [5] es propuesto, el límite de plateau impuesto por este método para cada sub-histograma utiliza la mediana de las respectivas intensidades dentro de cada sub-histograma en vez de la media como en el caso del BHEPL. En el 2013 Lim et al. [6] presentan un método de ecualización que como los anteriores divide el histograma global en dos sub-histogramas, pero en este caso se aplican tres límites de plateau a cada sub-histograma. Dichos límites vienen dados por los valores de las intensidades medias del histograma global y las intensidades medias de los sub-histogramas. El histograma global es dividido usando la intensidad media como punto separación, luego se modifica los sub-histogramas usando los tres límites calculados y para finalizar cada sub-histograma es ecualizado en forma independiente. Vale destacar que al método propuesto por en [6] se le denominará en las siguientes secciones como BHE3PL.

A pesar de no ser de nuestro interés, pero a modo de complementar la información de técnicas de ecualización de histogramas que usan dos límites de plateau, en el 2008 Yan-feng et al. [16] presentan un método de ecualización de histogramas para imágenes infrarrojas, donde los límites de plateau para el histograma global de la imagen son calculados en base a la cantidad de píxeles en la imagen; 20-30% del total de píxeles de la imagen para el límite superior y 5-10% para el límite inferior haciendo que imágenes del mismo tamaño posean los mismos límites sin importar su información local. De manera similar a [16], pero teniendo en cuenta la información local de la imagen en vez de la cantidad total de píxeles existentes en la misma, en el 2012 Liang et al. [17] presentan un método de ecualización para imágenes infrarrojas donde los límites de plateau son calculados buscando el máximo local y prediciendo el menor intervalo de gris en el histograma. El método propuesto por Liang et al. será denominado a partir de ahora como IRHE2PL.

En este trabajo se propone una versión modificada del método presentado por Lim et al. [6] denominado Bi-Histogram Equalization Using Two Plateau Limits (BHE2PL), el mismo obtiene una mejor preservación del brillo medio de la imagen en comparación a los algoritmos descritos anteriormente.

El resto del paper se encuentra organizado como sigue, en la Sección II se presenta la formulación formal para HE así como una pequeña explicación del CHE, ambas técnicas son la base fundamental para la propuesta dada. En la Sección III se presenta y discute acerca del BHE2PL. Los resultados experimentales son presentados en la Sección IV y para finalizar la Sección V presenta la conclusión del trabajo.

## II. ECUALIZACIÓN DE HISTOGRAMA

En esta sección se presenta la formulación formal para la ecualización de histograma usada a lo largo de este paper, así también se dará a conocer lo que es CHE y como la utilización del mismo ayuda a mejorar los objetos pequeños en la imagen que podrían resultar visualmente importantes para el observador.

### A. Función de Transformación para la Ecualización de Histograma

Para una imagen dada  $X$  de dimensión  $M \times N$  píxeles, donde  $X(i, j)$  representa a un píxel dentro de la imagen y siendo  $(i, j)$  las coordenadas espaciales del píxel dentro de la imagen, el histograma  $H$  asociado a la imagen que describe la frecuencia de los valores de intensidades  $k$  que aparecen en la misma, donde  $k = 0, 1, \dots, L - 1$ , es definido como:

$$H(k) = n_k \quad (1)$$

donde  $L$  representa el nivel máximo de gris en una imagen y  $n_k$  representa el número de ocurrencia de la intensidad  $k$  en la imagen.

La función de densidad de probabilidad,  $p(k)$  es dada por:

$$p(k) = \frac{H(k)}{M \times N} \quad (2)$$

donde  $M \times N$  es el número total de píxeles en la imagen. Luego, la función de densidad acumulada,  $c(k)$  es dada por:

$$c(k) = \sum_{i=X_0}^k p(i) \quad (3)$$

La función de transformación  $f(k)$  para la ecualización de histograma estándar mapea la imagen de entrada al rango dinámico  $[X_0, X_{L-1}]$ , usando  $c(k)$ ; para el caso particular del GHE,  $X_0 = 0$  y  $X_{L-1} = 255$ . La función está dada por la siguiente ecuación:

$$f(k) = X_0 + (X_{L-1} - X_0) \times c(k) \quad (4)$$

Así, la imagen resultante producida por la ecualización del histograma,  $Y = \{Y(i, j)\}$ , puede ser expresada como:

$$Y = \{Y(i, j)\} = \{f(X(i, j)) | \forall X(i, j) \in X\} \quad (5)$$

Sin embargo, para nuestras implementaciones se usará la función de ecualización modificada presentada por Ibrahim et al. [8] en vez de la presentada en (4); esto se debe a que la misma presenta mejores resultados en la mejora de la imagen acorde a [8]. La función viene dada por:

$$f(k) = X_0 + (X_{L-1} - X_0) \times [c(k) - 0.5 \times p(k)] \quad (6)$$

La ecualización de histograma estira el contraste de las regiones altas del histograma, y comprime el contraste en las regiones bajas del mismo [14]. Como consecuencia, cuando el objeto de interés en una imagen solo ocupa una pequeña porción de la imagen, este objeto no será mejorado correctamente por la ecualización de histograma. Este método además empuja extremadamente las intensidades hacia la derecha o hacia la izquierda del histograma, causando efectos de saturación de nivel. En la siguiente sub-sección se introduce el concepto de CHE de modo a dar solución a estos problemas.

### B. Clipped Histogram Equalization

Los métodos basados en Clipped Histogram Equalization (CHE) tratan de solucionar los problemas asociados al GHE mencionados en la subsección anterior restringiendo la tasa de mejoramiento. Para los métodos de ecualización de histograma, el mejoramiento es obtenido a partir de la función de transformación como la presentada en (4) o (6). En ellas se puede apreciar que la ecualización de histograma depende

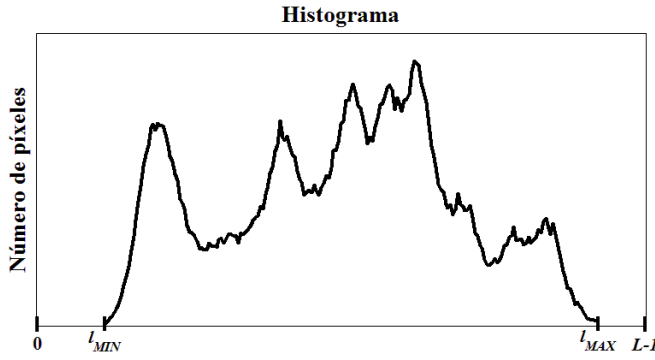


Fig. 1: Histograma global de una imagen arbitraria.

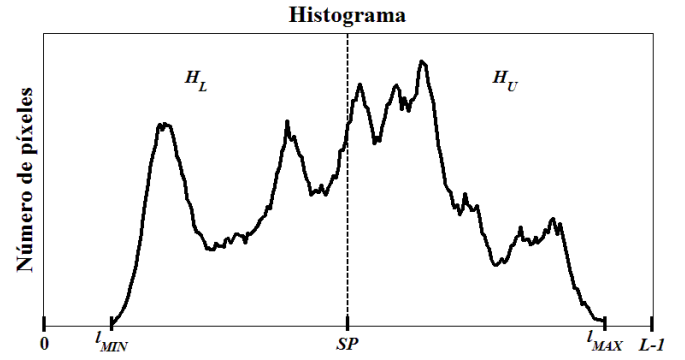


Fig. 2: Histograma global luego de la división.

fuertemente de  $c(k)$ , por lo tanto la tasa de mejoramiento es proporcional a la tasa de cambio de  $c(k)$  que está dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{d}{dk}c(k) = p(k) \quad (7)$$

Entonces para limitar la tasa de mejoramiento se debe limitar el valor de  $p(k)$ , o  $H(k)$  [13]. CHE modifica la forma del histograma reduciendo o incrementando los valores en los contenedores del histograma basado en un límite de plateau, que consiste en elegir un valor umbral para limitar la tasa de mejora, antes que la ecualización se lleve a cabo. Las porciones acotadas pueden ser redistribuidas de vuelta al histograma como se menciona en [15].

El CHE presenta dos grandes problemas:

- 1) La mayoría de los métodos necesitan que el usuario introduzca el límite de plateau de forma manual, lo que no es adecuado para sistemas automáticos.
- 2) Algunos métodos colocan un peso al histograma modificado, y que ese factor de peso también es dependiente del usuario.

En la siguiente sección se presenta una modificación al método presentado por Lim et al. [6], que como tal es un método híbrido que toma las características de los métodos basados en la preservación del brillo medio así como los métodos basados en CHE. Esto constituye el principal aporte de éste trabajo.

### III. MÉTODO PROPUESTO

La idea del nuevo método de ecualización es utilizar un total de cuatro límites de plateau, dos por sub-histograma en vez de los seis límites de plateau utilizados en [6], tres por cada sub-histograma. Con la supresión de estos dos límites lo que se quiere lograr es disminuir la diferencia de brillo entre la imagen de entrada y la imagen resultante, logrando de igual manera una mejora en el contraste de la imagen.

Como primer paso se procede a calcular la intensidad media esperada  $SP$  del histograma global de la imagen (ver Figura 1) dada por la ecuación:

$$SP = \sum_{k=0}^{L-1} p(k) \times k \quad (8)$$

donde  $p(k)$  es la probabilidad aparición de la  $k$ -ésima intensidad y  $L$  representa el nivel máximo de gris en una imagen.

Una vez calculado el valor de  $SP$  usando la ecuación (8), el histograma es separado en dos sub-histogramas, el sub-histograma de la parte inferior  $H_L$  y el sub-histograma de la parte superior  $H_U$ .  $H_L$  contiene los valores de intensidades que se encuentran a partir del nivel mínimo de gris en la imagen  $l_{MIN}$  hasta la intensidad media  $SP$ , mientras que  $H_U$  contiene los valores de intensidades que se encuentran a partir de  $SP + 1$  hasta el nivel máximo de gris en la imagen  $l_{MAX}$  (ver Figura 2).  $l_{MIN}$  es la menor intensidad efectiva dentro de la imagen, es decir la menor intensidad dentro del histograma que aparece por lo menos una vez en la imagen, así también  $l_{MAX}$  representa la máxima intensidad efectiva encontrada en la imagen, es decir la mayor intensidad dentro del histograma que aparece por lo menos una vez en la imagen. Luego que el histograma global ha sido dividido, los límites de plateau  $PL$ 's para cada sub-histograma resultante son calculados.

Básicamente, cada límite de plateau es calculado usando la siguiente fórmula:

$$PL = R \times Pk \quad (9)$$

donde  $R$  es un coeficiente con valor entre 0 y 1, y  $Pk$  representa el pico máximo en el histograma dado por:

$$Pk = \max\{H(k) | k = 0, \dots, L-1\} \quad (10)$$

En este trabajo se seleccionarán los valores de los  $PL$ 's usando la información local obtenida del histograma de entrada. Una manera de extraer información a partir del histograma de entrada es usar la proporción de nivel de gris  $GR$  para cada sub-histograma obtenido. Dado que  $GR$  es un valor entre 0 y 1 reemplazará a  $R$  en la ecuación (9), siendo  $GR$  el valor usado para representar el nivel mejoramiento que necesita ser aplicado. Los porcentajes bajos de mejoras son aplicados a tasas bajas de grises, así mismo, los porcentajes altos de mejoras son aplicados a tasas altas de grises. Dado el uso de los  $GR$ 's como coeficientes, los límites de plateau pueden calcularse como:

$$PL_{L1} = GR_{L1} \times Pk_L \quad (11)$$

$$PL_{L2} = GR_{L2} \times Pk_L \quad (12)$$

$$PL_{U1} = GR_{U1} \times Pk_U \quad (13)$$

$$PL_{U2} = GR_{U2} \times Pk_U \quad (14)$$

donde  $Pk_L$  es el pico máximo de intensidad para el sub-histograma de la parte inferior,  $PL_{L1}$  y  $PL_{L2}$  son los límites inferior y superior del sub-histograma de la parte inferior,

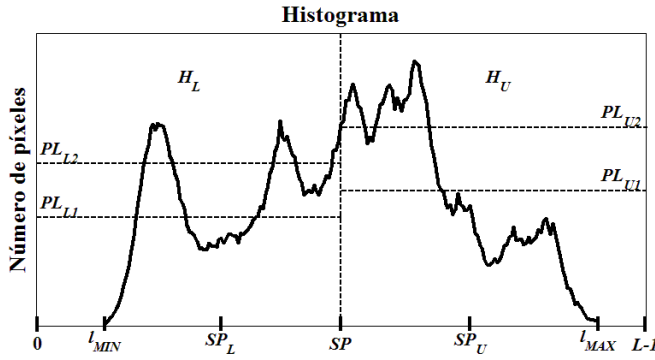


Fig. 3: Histograma con los límites de plateau calculados.

de la misma manera  $Pk_H$  es el pico máximo de intensidad para el sub-histograma de la parte superior,  $PL_{U1}$  y  $PL_{U2}$  son los límites inferior y superior del sub-histograma de la parte superior. Las proporciones de niveles de gris del sub-histograma de la parte inferior  $GR_{L1}$  y  $GR_{L2}$ , así como las proporciones de niveles de gris del sub-histograma de la parte superior  $GR_{U1}$  y  $GR_{U2}$  están definidas como:

$$GR_{L1} = \frac{SP - SP_L}{SP - l_{MIN}} \quad (15)$$

$$GR_{L2} = GR_{L1} + D_L \quad (16)$$

$$GR_{U1} = \frac{l_{MAX} - SP_U}{l_{MAX} - SP} \quad (17)$$

$$GR_{U2} = GR_{U1} + D_U \quad (18)$$

donde  $SP_L$  y  $SP_U$  son las intensidades medias de los sub-histogramas de la parte inferior y superior respectivamente,  $D_L$  y  $D_U$  son las diferencias de las proporciones de niveles de gris para el sub-histograma de la parte inferior y superior respectivamente.  $SP_L$  y  $SP_U$  son calculados como:

$$SP_L = \frac{\sum_{k=l_{MIN}}^{SP} k \times H(k)}{N_L} \quad (19)$$

$$SP_U = \frac{\sum_{k=SP+1}^{l_{MAX}} k \times H(k)}{N_U} \quad (20)$$

donde  $N_L$  y  $N_U$  corresponden a la cantidad total de píxeles que se encuentran en el sub-histograma de la parte inferior y superior respectivamente.  $D_L$  y  $D_U$  pueden calcularse como:

$$D_L = \begin{cases} \frac{1-GR_{L1}}{2} & \text{Si } GR_{L1} > 0.5 \\ \frac{GR_{L1}}{2} & \text{Si } GR_{L1} \leq 0.5 \end{cases} \quad (21)$$

$$D_U = \begin{cases} \frac{1-GR_{U1}}{2} & \text{Si } GR_{U1} > 0.5 \\ \frac{GR_{U1}}{2} & \text{Si } GR_{U1} \leq 0.5 \end{cases} \quad (22)$$

En la Figura 3 se puede observar el histograma con los respectivos límites de plateau hallados. Luego se procede a modificar la forma del histograma, para el sub-histograma de la parte inferior ( $l_{MIN} \leq k \leq SP$ ), de la siguiente manera:

$$H_L = \begin{cases} PL_{L1}, & \text{Si } H_L(k) \leq PL_{L2} \\ PL_{L2}, & \text{Si } H_L(k) > PL_{L2} \end{cases} \quad (23)$$

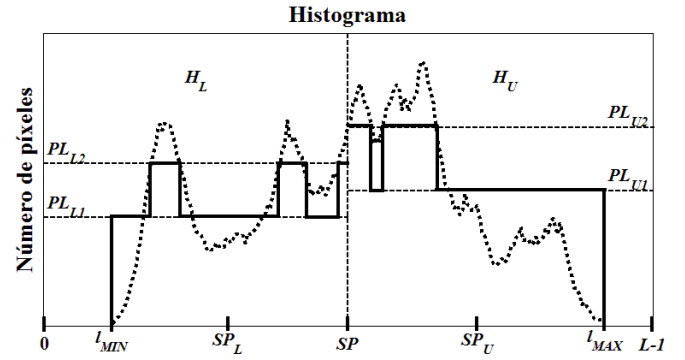


Fig. 4: Histograma luego de las modificaciones realizadas por los límites calculados.

Es decir que para valores en el sub-histograma de la parte inferior que son menores o igual a  $PL_{L2}$  se modifica el sub-histograma con el valor de  $PL_{L1}$ , y si dicho valor es mayor entonces se usa el valor de  $PL_{L2}$ .

De la misma manera para el sub-histograma de la parte superior ( $SP + 1 \leq k \leq l_{MAX}$ ), el sub-histograma es modificado de la siguiente manera:

$$H_U = \begin{cases} PL_{U1}, & \text{Si } H_U(k) \leq PL_{U2} \\ PL_{U2}, & \text{Si } H_U(k) > PL_{U2} \end{cases} \quad (24)$$

El histograma modificado se muestra en la Figura 4. Una vez que el proceso de modificación del histograma ha terminado se procede a ecualizar cada sub-histograma de manera independiente según la ecuación (6). En la siguiente sección se presentan los resultados experimentales, realizando un análisis comparativo entre los métodos existentes en el estado del arte y el método propuesto.

#### IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se realizó un análisis comparativo del método propuesto con los algoritmos: HE, BBHE [1], DSIHE [2], MMBEBHE [3], BHEPL [4], BHEPL-D [5], IRHE2PL [17] y BHE3PL [6]. El análisis comparativo incluye cinco métricas de manera a mostrar la validez del algoritmo para aplicaciones de tiempo real, mejoramiento de contraste y preservación de brillo medio. Durante el experimento fueron usadas 100 imágenes de 8 bits cada una, obtenidas de un repositorio de internet pertenecientes a [9] con tamaños de 481x321 y 321x481 píxeles. Las imágenes fueron convertidas a escala de grises, obteniendo sus intensidades, de manera a poder realizar los experimentos.

Las métricas utilizadas fueron:

- 1) El tiempo de ejecución de cada método, que está dado en milisegundos.
- 2) El Absolute Mean Brightness Error (AMBE), que es definido como la diferencia absoluta entre el brillo medio de la imagen de entrada y la imagen resultado, mide el desempeño en la preservación del brillo original [7] y esta dada por:

$$AMBE = |E(X) - E(Y)| \quad (25)$$

donde  $X$  e  $Y$  representan la imagen de entrada y la imagen resultado respectivamente, y  $E(.)$  representa

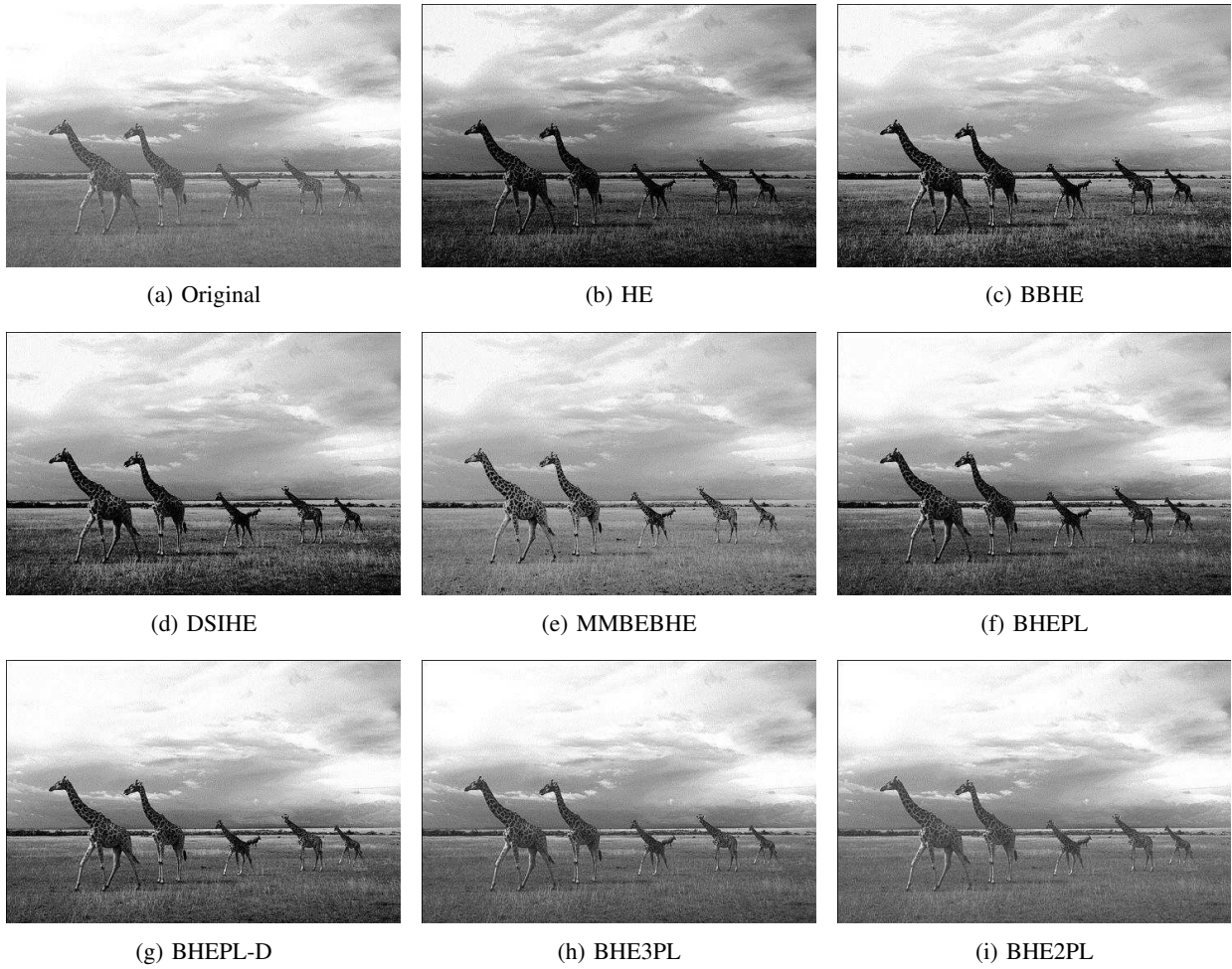


Fig. 5: Imagen tomada de la base de datos de Berkeley con sus respectivas ecualizaciones.

- el brillo medio de la imagen. Mientras menor sea el valor del AMBE, mejor será la preservación del brillo de la imagen.
- 3) El Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) que se usa para determinar la cantidad de ruido introducido en la imagen luego de su transformación, es decir dada una imagen de entrada  $X(i, j)$  que contiene  $M \times N$  píxeles y una imagen reconstruida  $Y(i, j)$ , indica la relación señal ruido de  $Y$  comparada con  $X$ . PSNR esta dada por:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{(L-1)^2}{MSE} \right) \quad (26)$$

donde  $L$  representa el mayor nivel de intensidad posible para la imagen y el Mean Squared Error (MSE) esta dado por:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [X(i, j) - Y(i, j)]^2}{M \times N} \quad (27)$$

El PSNR se mide en decibeles, y mientras mayor sea el valor, menor es el ruido introducido en la transformación de la imagen y por tanto es mejor la calidad de la imagen resultado.

- 4) La entropía que es una métrica muy útil que determina la riqueza de los detalles en la imagen resultado y viene dada por:

$$Entropia = - \sum_{k=0}^{L-1} p(k) \log_2(p(k)) \quad (28)$$

donde  $p(k)$  es la probabilidad de ocurrencia de la  $k$ -ésima intensidad y  $L$  representa el mayor nivel de intensidad posible para la imagen. Mientras mayor es la entropía mayor será la riqueza de los detalles en la imagen.

- 5) El contraste se define como:

$$C = \sqrt{\sum_{k=0}^{L-1} (k - E(Y))^2 \times p(k)} \quad (29)$$

donde  $E(Y)$  representa la intensidad media de la imagen. El valor del contraste de la imagen resultado debe ser mayor al de la imagen de entrada para suponer una mejora.

Para este experimento los algoritmos fueron implementados en ImageJ versión 1.48 y fueron ejecutados en una computadora

TABLE I: Resultados Promediados para las 100 imágenes de la base de datos de Berkeley

Métodos	T(ms)	AMBE	PSNR	Entr.	Cont.
Original				7.1570	51.0375
HE	1.1200	28.3828	15.9369	6.9642	73.5895
BBHE	2.6400	7.4699	20.5948	6.9856	69.1672
DSIHE	1.2200	7.1545	20.4092	6.9866	69.7018
MMBEBHE	3.1400	1.7206	22.4093	6.9741	65.3717
BHEPL	1.1500	5.5717	23.9575	7.0859	65.4411
BHEPL-D	1.4400	6.0140	25.5995	7.0805	63.1658
IRHE2PL	0.7900	53.1974	13.3459	6.3987	50.2485
BHE3PL	1.3300	2.0928	36.1428	7.1540	54.8227
BHE2PL	1.5000	1.0522	41.3540	7.1545	52.9320

personal con procesador Intel Core i7 de 2.4 GHz y 8 GB de RAM.

En la Figura 5 se puede observar la imagen elegida de la base de datos de Berkeley [9] con sus respectivas ecualizaciones de manera a demostrar de forma visual los resultados obtenidos para cada uno de los algoritmos implementados. La Tabla I muestra los resultados promediados de las 100 imágenes, en ella se puede observar los buenos resultados obtenidos por el método propuesto, demostrando una buena preservación del brillo medio a la par que mejora el contraste de la imagen. Vale destacar también que presenta el mayor PSNR y la mayor entropía garantizando una buena calidad en la imagen así como buenos detalles en la misma.

Para finalizar a modo de complementar el experimento y pese a no ser de nuestro interés se implementó IRHE2PL, método propuesto por Liang et al. [17], ya que se trata del mejor de los dos métodos para ecualización de imágenes infrarrojas mencionadas en la Sección I. El mismo no presenta buenos resultados como era de esperarse ya que no preserva el brillo medio de la imagen, esto puede observarse en la Tabla I.

## V. CONCLUSION

En este paper fue presentado un nuevo método de ecualización basado en la preservación del brillo medio denominado Bi-Histogram Equalization using Two Plateau Limits (BHE2PL).

El método es una modificación del método propuesto en [6], donde en lugar de modificar los sub-histogramas mediante el uso de tres límites de plateau solo se usan dos límites de plateau. Esto se realiza con la idea de contrastar la imagen a la par que se obtiene una mejor preservación del brillo medio con la eliminación de los límites inferiores de cada sub-histograma que introducen una mayor variación del brillo medio.

Los resultados experimentales indican que el método propuesto presenta una mejor preservación del brillo medio en comparación a los métodos basados en bisección con los que se ha realizado la comparación, contrastando satisfactoriamente la imagen de entrada. Además presenta un buen tiempo de ejecución en promedio lo que posibilita su uso en aplicaciones de tiempo real.

## REFERENCES

- [1] Y.T. Kim, "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equation", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 43, no. 1, pp. 1-8, February 1997.
- [2] Y. Wang, Q. Chen and B. Zhang, "Image Enhancement Based on Equal Area Dualistic Sub-Image Histogram Equalization Method", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 45, no. 1, pp. 68-75, February 1999.
- [3] S.D. Chen and A.R. Ramli, "Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 49, no. 4, pp. 1310-1319, November 2003.
- [4] C.H. Ooi, N.S.P. Kong and H. Ibrahim, "Bi-histogram equalization with a plateau limit for digital image processing", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 55, no. 4, pp. 2072-2080, November 2009.
- [5] C.H. Ooi and N.A.M. Isa, "Adaptive contrast enhancement methods with brightness preserving", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 56, no. 4, pp. 2543-2551, November 2010.
- [6] S.H. Lim, N.A.M. Isa, C.H. Ooi and K.K.V. Toh, "A new histogram equalization method for digital image enhancement and brightness preservation", Springer Signal, Image and Video Processing, June 2013.
- [7] R. Aedla, D.G. Siddaramaiah and D.V. Reddy, "A Comparative Analysis of Histogram Equalization based Techniques for Contrast Enhancement and Brightness Preserving", International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, vol. 6, no. 5, pp. 353-366, 2013.
- [8] H. Ibrahim and N.S.P. Kong, "Image sharpening using sub-regions histogram equalization", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 55, no. 2, pp. 891-895, May 2009.
- [9] D. Martin, C. Fowlkes, D. Tal and J. Malik, "A Database of Human Segmented Natural Images and its Application to Evaluating Segmentation Algorithms and Measuring Ecological Statistics", Proc. 8th Int'l Conf. Computer Vision, vol. 2, pp. 416-423, July 2001.
- [10] Q. Wang and R.K. Ward, "Fast image/video contrast enhancement based on weighted thresholded histogram equalization", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 53, no. 2, pp. 757-764, May 2007.
- [11] M. Abdullah-Al-Wadud, M.H. Kabir, M.A. Akber Dewan and O. Chae, "A dynamic histogram equalization for image contrast enhancement", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 53, no. 2, pp. 593-600, May 2007.
- [12] C.H. Ooi, N.S.P. Kong, H. Ibrahim and D.C. Juinn Chieh, "Enhancement of color microscopic images using toboggan method", Proceedings of International Conference on Future Computer and Communications, pp. 203-205, April 2009.
- [13] S.M. Pizer, R.E. Johnston, J.P. Ericksen, B.C. Yankaskas and K.E. Muller, "Contrast-limited adaptive histogram equalization: speed and effectiveness", In Proceedings of the First Conference on Visualization in Biomedical Computing, pp. 337-345, May 1990.
- [14] N. Sengee and H.K. Choi, "Brightness preserving weight clustering histogram equalization", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 54, no. 3, pp. 1329-1337, August 2008.
- [15] T. Kim and J. Paik, "Adaptive contrast enhancement using gain-controllable clipped histogram equalization", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 54, no. 4, pp. 1803-1810, November 2008.
- [16] S. Yan-feng, S. Xiao-peng and X. Jun, "New enhancement algorithm for infrared image based on double plateaus histogram", Infrared and Laser Engineering, vol. 37, no. 2, pp. 308-311, 2008.
- [17] K. Liang, Y. Ma, Y. Xie, B. Zhou and R. Wang, "A new adaptive contrast enhancement algorithm for infrared images based on double plateaus histogram equalization", Infrared Physics and Technology, vol. 55, no. 4, pp. 309-315, July 2012.
- [18] S.D. Chen and A.R. Ramli, "Contrast Enhancement using Recursive Mean-Separate Histogram Equalization for Scalable Brightness Preservation", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 49, no. 4, pp. 1301-1309, November 2003.
- [19] K.S. Sim, C.P. Tso, Y.Y. Tan, "Recursive sub-image histogram equalization applied to gray scale images", Pattern recognition Letters, vol. 28, no. 10, pp. 1209-1221, July 2007.
- [20] M. Kim and M.G. Chung, "Recursively separated and weighted histogram equalization for brightness preservation and contrast enhancement", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 54, no. 3, pp. 1389-1397, August 2008.
- [21] M. Khan, E. Khan and Z.A. Abbasi, "Weighted average multi segment histogram equalization for brightness preserving contrast enhancement", IEEE International Conference on Signal Processing, Computer and Control, March 2012.