Manipulación del contraste

Extracto de “Visión por Computador. Fundamentos y métodos”. Arturo de la Escalera. Prentice Hall, 2001

5.1. Manipulación del contraste.

La obtención de una imagen ideal se basa en dos supuestos:

- La iluminación es uniforme.
- La ganancia entre la luz de entrada y la imagen resultante es lineal.

Ya se vio en el capítulo correspondiente a las diversas técnicas de iluminación que conseguir una uniformidad en la iluminación no siempre es posible, y desde luego no lo será en entornos naturales. La linealidad quiere decir que si un píxel recibe el doble de luz que otro, su valor también será el doble. Sin embargo esto no es cierto, bien porque la ganancia no es lineal, bien porque se necesita una iluminación mínima, por ello para algunos valores de la entrada la salida es cero, y a partir de un cierto valor de la iluminación el sensor está saturado con lo que la salida es constante (figura 5.1).

El contraste muestra las variaciones locales del brillo. Su manipulación busca favorecer unas zonas en perjuicio de otras, y así distanciar más los pixeles con valores bajos o a la inversa. A continuación veremos dos casos distintos dependiendo de si los valores de los pixeles de la imagen representan un pequeño intervalo o no, dentro de los posibles valores (lo que puede conocerse mediante el análisis del histograma de la imagen).

5.1.1. Amplitud de la escala.

En el histograma representado en la figura 5.2 puede observarse que toma unos valores limitados, por lo que el contraste de su imagen es bajo y apenas se aprecian los detalles. Lo que se pretende es encontrar una función que produzca una nueva imagen que sí cubra todo el conjunto de valores posibles. Así, siendo a y b los valores mínimos y máximos, puede definirse la función T(c) que asigna los nuevos niveles de gris a partir de los antiguos:

$$y = T(c) = A\frac{c-a}{b-a}$$

siendo:

- a y b los límites inferior y superior.
- c, el valor de gris de la imagen original.
- A, el valor máximo que se desea que tengan los pixeles de la imagen.

En la figura 5.3 puede observarse el resultado de aplicar a la imagen la función descrita anteriormente. El contraste (separación entre los niveles de gris) ha mejorado y ahora se aprecian mejor los detalles de la imagen. En el nuevo histograma puede verse cómo la separación entre los distintos niveles de gris es mayor, siendo dicha separación igual para todos los niveles de gris (ya que la transformación ha sido lineal). Hay que hacer notar que, aunque la apariencia de la imagen sea mejor, la información es la misma en ambas imágenes. Lo único que se ha hecho es asignar nuevos niveles de gris, pero los pixeles que tenían un nivel de gris determinado en la imagen antigua distinto a los de nivel de gris inferior y superior, son los mismos en la imagen nueva. Sin embargo, si lo que se desea después es la detección de los bordes de los objetos (que se estudiará en el tema siguiente), será más fácil localizarlos en la nueva imagen que en la antigua. También se ha logrado una cierta independencia de la iluminación

Para un caso más general la función buscada tendría la forma (figura 5.4):

$$y = T(x) = \begin{cases} \alpha x & 0 \le x \le a \\ \beta(x-a) + y_a & a \le x \le b \\ \gamma(x-b) + y_b & b \le x \le L \end{cases}$$

donde:

- y,x son los niveles de gris de las imágenes resultante y original.
- α, β, γ son las ganancias de cada tramo.
- a, b, y L son los intervalos de ganancia.

Con esta operación se resaltan aquellos valores de niveles de gris que se desee.

5.1.2. Modificación del contraste.

De manera similar al caso anterior la modificación del contraste consiste en aplicar una función a cada uno de los pixeles de la imagen.

Un primer grupo de funciones toman la forma:

$$p=m^a$$

donde:

- m es el valor de gris de la imagen original.
- p es el nuevo valor de gris en la imagen resultante.
- a es la potencia a la que se eleva.

Las transformaciones más usuales son:

- Función inversa $p = 255 - m$
- Función cuadrada $p = \dfrac{m^2}{255}$
- Función cúbica $p = \dfrac{m^3}{255^2}$
- Función raíz cuadrada $p = \sqrt{255m}$
- Función raíz cúbica $p = \sqrt[3]{255^2 m}$
- Función logarítmica $p = 255\dfrac{\ln(1+m)}{\ln(1+255)}$

Fórmulas en las que aparece 255 para normalizar los valores entre 0 y 255. Si los niveles de gris no fueran de ocho bits habría que poner el nuevo valor máximo.

En las figuras 5.5, 5.6 y 5.7 pueden observarse la imagen original y los resultados de las transformaciones. La transformación inversa (figura 5.5) no añade nada nuevo a la imagen. Con las funciones cuadrada y cúbica (figura 5.6) las imágenes resultantes son más oscuras que la original. A diferencia de la amplitud de la escala estudiada antes, ahora la función no es lineal. Además la información contenida en la imagen resultante es menor que en la original. Así, si aplicamos la función cuadrada el nivel de gris original 128 sería el 64 en la imagen nueva. Por ello los pixeles oscuros de la imagen original son el 25% en la imagen nueva. Por ello la imagen resultante es más oscura ya que ahora los pixeles claros se reparten el 75% de los niveles de gris y no el 50%. El contraste por tanto entre ellos es mejor. Con las funciones raíz cuadrada, cúbica y logarítmica (figura 5.7) ocurre el efecto contrario. Si eligiésemos la raíz cuadrada el nivel de gris 128 sería el 180. Los pixeles oscuros son ahora el 70% de los posibles niveles de gris. Por ello el resultado es una imagen más clara, donde el contraste entre los pixeles de nivel de gris bajo es mayor.

Con las funciones anteriores se favorecían los niveles claros en perjuicio de los oscuros o viceversa. Si lo que se quiere es modificar la relación entre los niveles centrales respecto a los valores extremos se utilizan las funciones sigmoides (por tener forma de S). Dos de ellas son:

$$f(x) = \frac{255}{2}\left(1 + \frac{1}{\operatorname{sen}\left(\alpha\frac{\pi}{2}\right)}\operatorname{sen}\left(\alpha\pi\left(\frac{x}{255} - \frac{1}{2}\right)\right)\right)$$

estando los valores de alfa entre cero y uno, según se quiera que la función sea más pronunciada o no. De nuevo 255 es el nivel de gris más alto de la imagen. Con esta función se favorecen los valores intermedios respecto a los más claros y oscuros. Si se quiere el efecto contrario se puede utilizar:

$$f(x) = \frac{255}{2}\left(1 + \frac{1}{tan\left(\alpha\frac{\pi}{2}\right)}tan\left(\alpha\pi\left(\frac{x}{255} - \frac{1}{2}\right)\right)\right)$$

En la figura 5.8 se ve el efecto sobre la imagen.

5.1.3. Modificación del histograma.

Los métodos anteriores modifican cada nivel de gris y dependen únicamente de su valor; son por tanto métodos locales. Si se quiere tomar una información global de toda la imagen, la manera más sencilla es analizar y modificar el histograma. Con ello se pretende que éste se ajuste lo máximo posible a una forma predeterminada. La forma más usual es la llamada ecualización del histograma, en la que se pretende que éste sea horizontal, es decir, que para todos los valores de gris se tenga el mismo número de pixeles. En la figura 5.9 pueden observarse los histogramas de una imagen clara, otra oscura y una última ecualizada.

La ecualización del histograma se realiza trabajando sobre el histograma acumulado:

$$H(i) = \sum_{k=0}^{i} h(k)$$

Si el histograma fuese totalmente plano, el histograma acumulado para cada nivel de gris sería:

$$G(i') = (i' + 1)\frac{NM}{256}$$

Donde N y M son las dimensiones de la imagen y 256 el número de niveles de gris de la imagen.

Idealmente se quiere que $G(i') = H(i)$, luego:

$$(i' + 1)\frac{NM}{256} = H(i)$$

Luego:

$$i' = \frac{256}{NM}H(i) - 1$$

Como lo niveles de gris son valores enteros, se realiza un cambio en los niveles de gris siguiendo la ecuación:

$$i_{nuevo} = parte\_entera\left(\frac{256}{NM} H(i_{antiguo}) - 1\right)$$

La aplicación de la ecualización del histograma queda reflejada en la figura 5.10. Así, en el histograma de la imagen de la izquierda se aprecia que predominan los pixeles oscuros. Esto mismo se observa en el histograma acumulado, donde el crecimiento es más rápido para niveles de gris bajos que altos. Una vez ecualizado el histograma se observa como el acumulado sigue una línea recta. Obviamente el histograma de la imagen no es constante.

Sin embargo, para que esta transformación sea útil, toda la imagen debe reunir las mismas propiedades. Así, por ejemplo, toda debe ser oscura o clara. Sin embargo, si la mayoría de las zonas son oscuras pero hay algunas que están bien, la ecualización del histograma mejorará algunas estropeando las otras. Por eso se desarrolló una modificación consistente en ecualizar el histograma, pero no en toda la imagen en su conjunto, sino por ventanas. Así, se toma una subimagen, se ecualiza su histograma y se toma el nuevo nivel de gris que corresponde al píxel central de la ventana, substituyéndose su valor en la imagen original. Esto se realiza para todos los pixeles de la imagen (figura 5.11).

Existen otros tipos de distribuciones además de la que intenta una representación uniforme de los niveles de gris:

Exponencial:

El histograma de la nueva imagen vendría dado por:

$$g(i) = \alpha\, e^{-\alpha(i - i_{min})}$$

por lo que el paso de los niveles antiguos a los nuevos viene dado por:

$$i_{nuevo} = i_{min} - \frac{1}{\alpha}\ln(H(i_{antiguo}) + 1)$$

donde el factor α permite variar el crecimiento de la exponencial

Rayleigh:

El histograma de la nueva imagen vendría dado por:

$$g(i) = \frac{i - i_{min}}{\alpha^2}\, e^{-\frac{(i - i_{min})^2}{2\alpha^2}}$$

por lo que el paso de los niveles antiguos a los nuevos viene dado por:

$$i_{nuevo} = i_{min} + \left(2\alpha^2 \ln\frac{1}{1 - H(i_{antiguo})}\right)^{\frac{1}{2}}$$

donde el factor α permite variar el crecimiento de la distribución

Raíz cúbica:

El histograma de la nueva imagen vendría dado por:

$$g(i)=\frac{1}{3}\frac{i^{-\frac{2}{3}}}{i^{\frac{1}{3}}{}_{max}-i^{\frac{1}{3}}{}_{min}}$$

por lo que el paso de los niveles antiguos a los nuevos viene dado por:

$$i_{nuevo}=\left[\left(i^{\frac{1}{3}}{}_{max}-i^{\frac{1}{3}}{}_{min}\right)H(i_{antiguo})+i^{\frac{1}{3}}{}_{min}\right]^{3}$$

Logaritmo:

El histograma de la nueva imagen vendría dado por:

$$g(i)=\frac{1}{i(\ln i_{max}-\ln i_{min})}$$

por lo que el paso de los niveles antiguos a los nuevos viene dado por:

$$i_{nuevo}=i_{min}\left(\frac{i_{max}}{i_{min}}\right)^{H(i_{antiguo})}$$

Los resultados pueden observarse en las figuras 5.12 y 5.13.

5.1.4. Las tablas de consulta.

Todas estas transformaciones tomarían mucho tiempo si se tuviera que leer cada píxel, realizar la operación matemática, normalizar el valor a 255 y escribirlo en una nueva imagen. Para acelerar este proceso (y para otros usos que se verán a lo largo del libro) están las *tablas de consulta* (en inglés *look up tables* o LUTs). Son tablas en las que su índice es el nivel de gris antiguo del píxel y su valor el nuevo nivel de gris que le corresponde. Así, todos los cálculos se realizan en la parte de inicialización del algoritmo para poder después trabajar en tiempo real (figura 5.14).

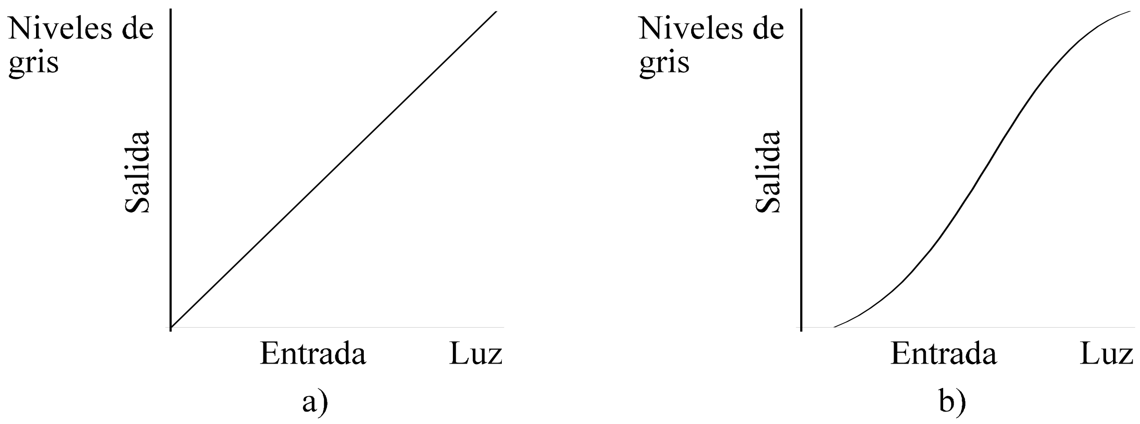


Figura 5.1. No linealidad y saturación de las cámaras.

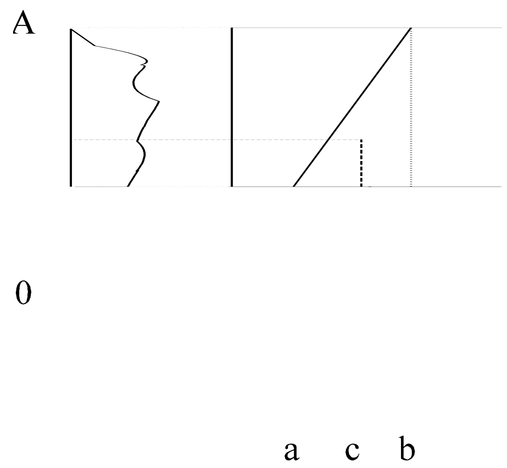
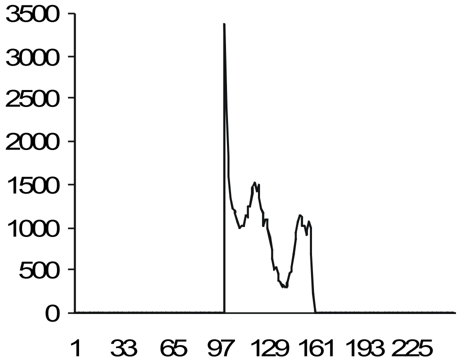


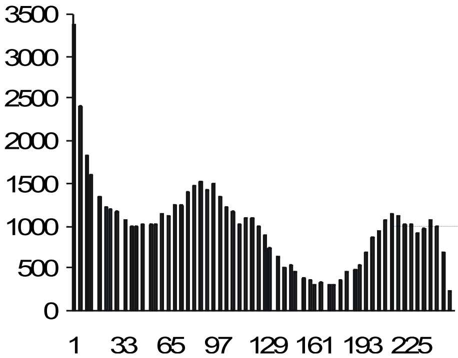
Figura 5.2. Amplitud de la escala.

Figur escala. (a) imagen original (b) su histograma (c) nueva distri l contraste.

(a)



(b)



(c)

(d)

v_b

Imagen Mejorada

v_a

a b L

Imagen Original

Figura 5.4. Caso general de amplitud de la escala.

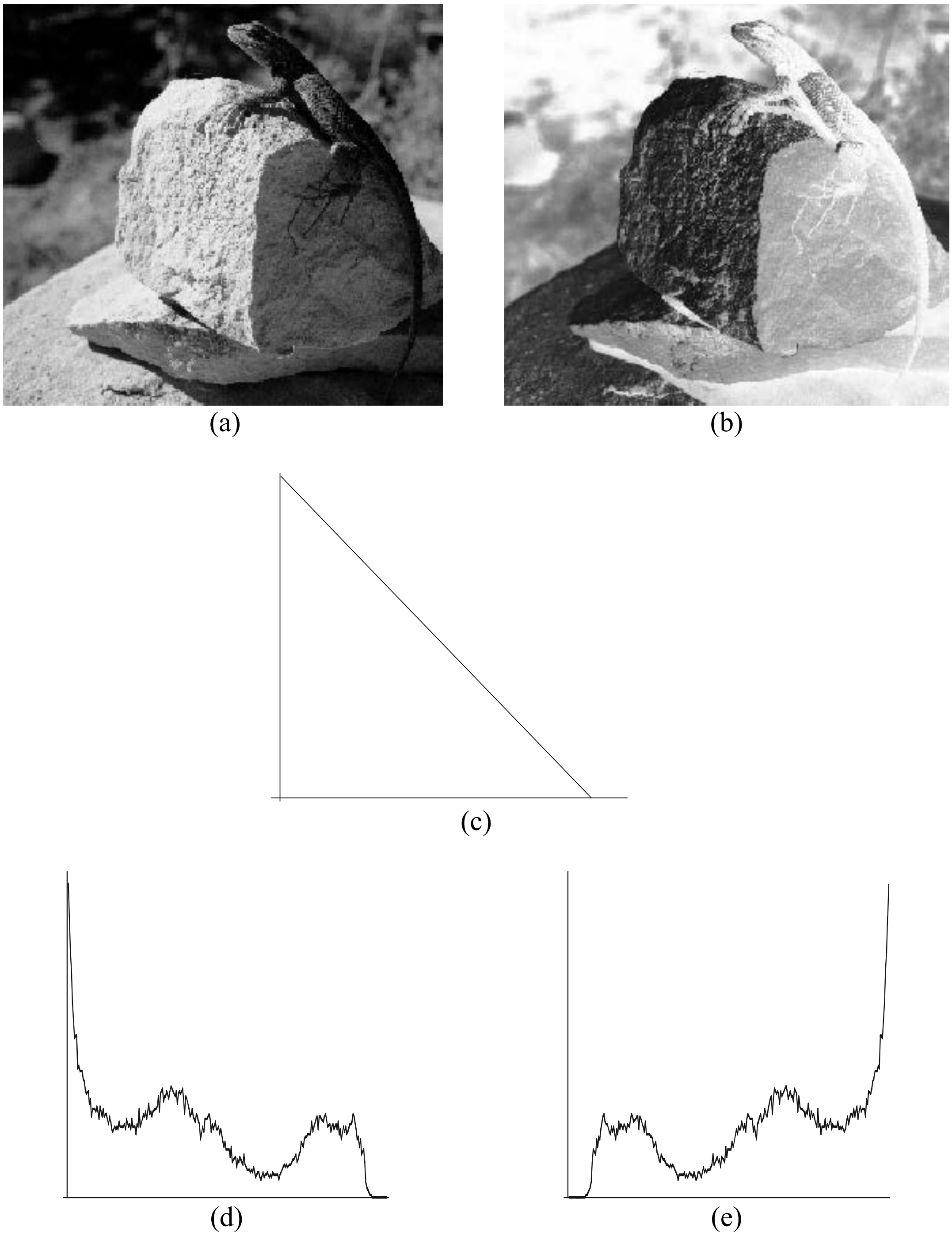


Figura 5.5. Modificación del contraste. (a) Imagen original (b) Imagen inversa (c) Nueva distribución de los niveles de gris siguiendo la función inversa (d) (e) histogramas de la imagen original y de la transformada.

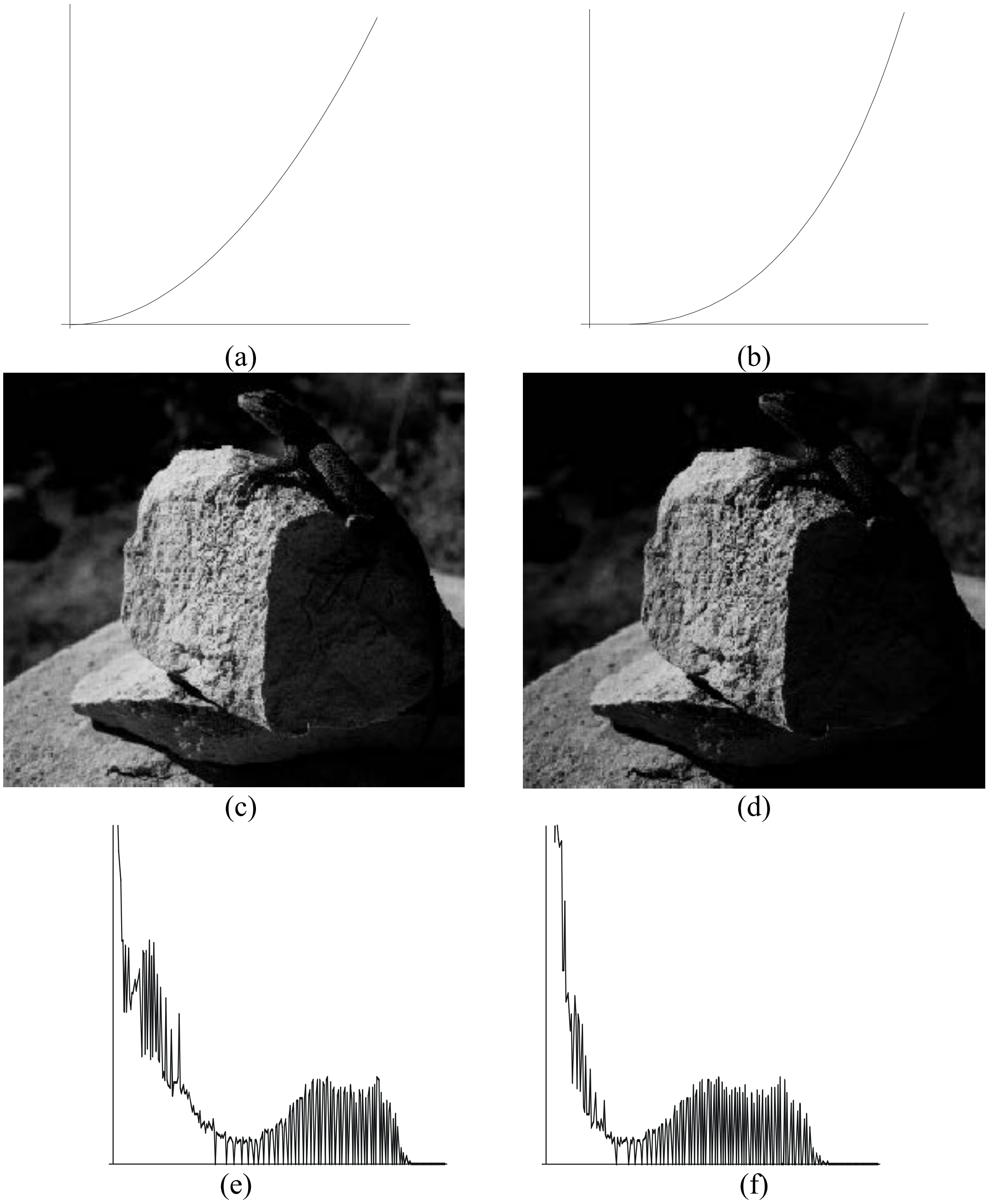


Figura 5.6. Modificación del contraste.(a) Nueva distribución de los niveles de gris siguiendo la función cuadrada (b) Nueva distribución de los niveles de gris siguiendo la función cúbica (c)(d) Resultados (e)(f) Nuevos histogramas (NOTA: Para poderlos comparar con otros resultados los valores inferiores han sido truncados a un décimo de su valor real).

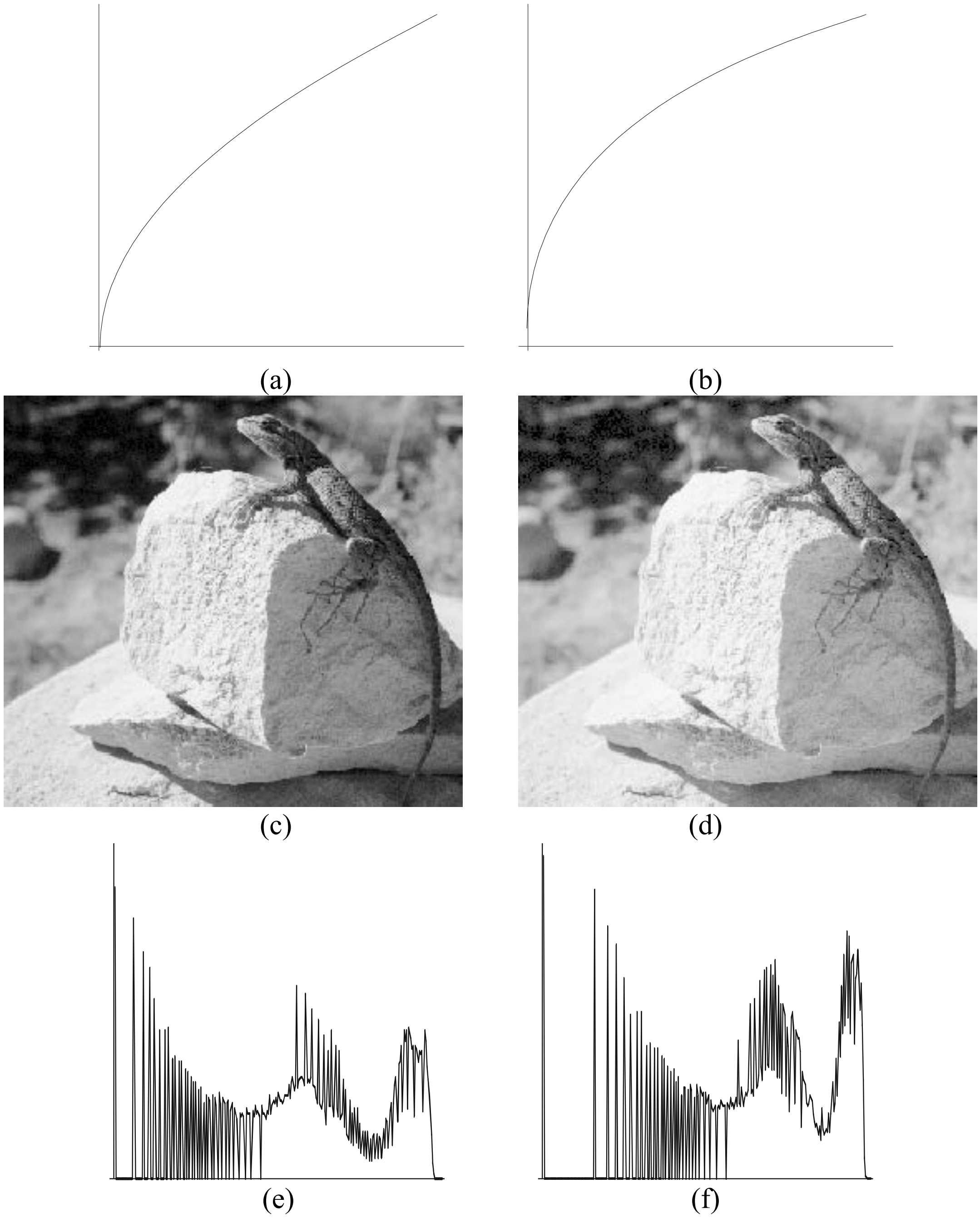
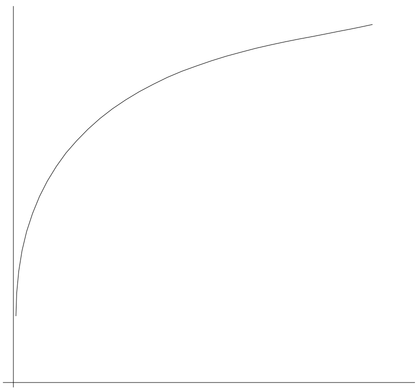
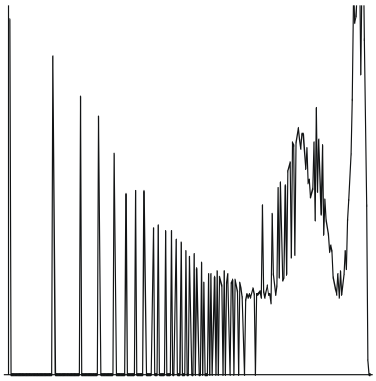


Figura 5.7. Modificación del contraste. (a) Nueva distribución de los niveles de gris siguiendo la función raíz cuadrada (b) Nueva distribución de los niveles de gris siguiendo la función raíz cúbica (c) (d) Resultado (e) (f) Nuevos histogramas.



(a)

(b)



(c)

Figura 5.7. (Cont) Modificación del contraste. (a) Nueva distribución de los niveles de gris siguiendo la función logarítmica (b) Resultado (c) Nuevo histograma.

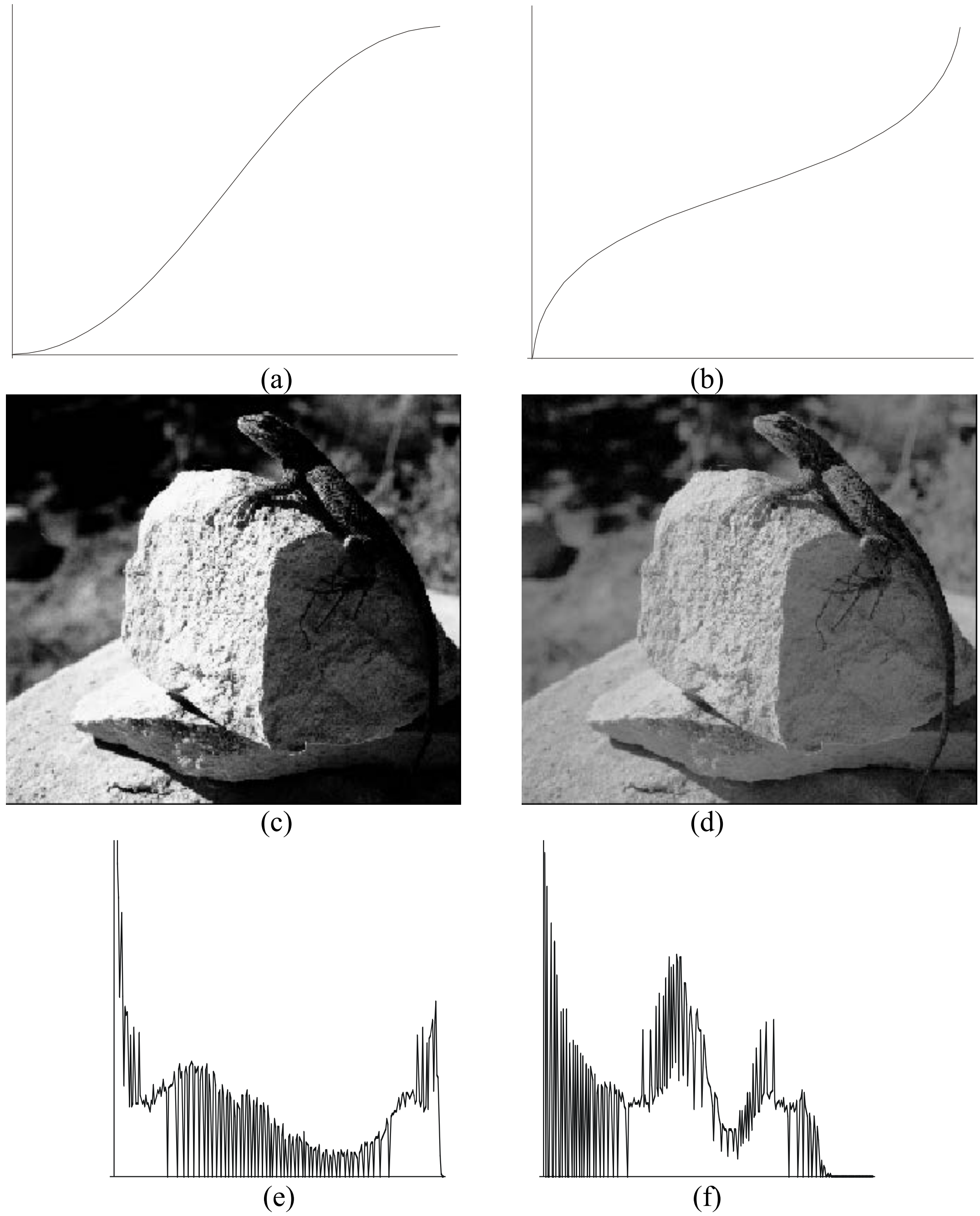
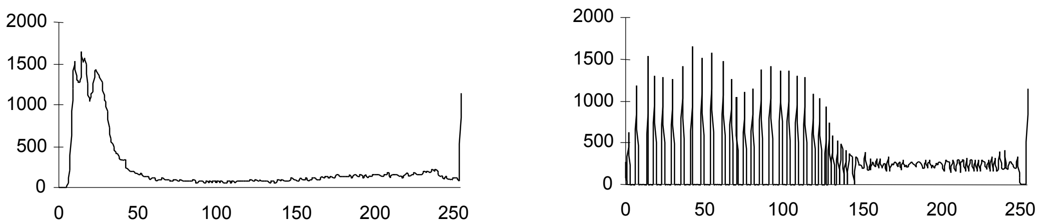


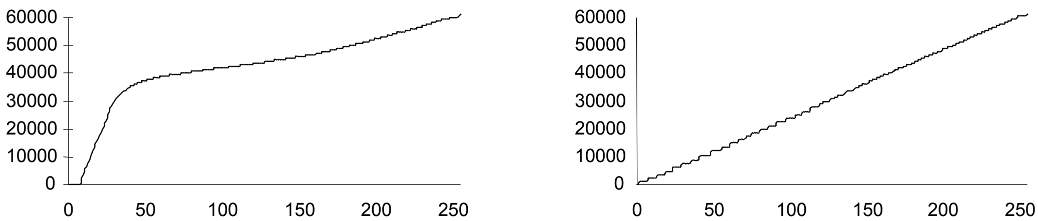
Figura 5.8. Modificación del contraste. (a) Nueva distribución de los niveles de gris siguiendo la función senoidal (b) Nueva distribución de los niveles de gris siguiendo la función tangencial (c) (d) Resultado (e) (f) Nuevos histogramas.

Figura 5.9. Imagen clara, oscura y contrastada.

(a)



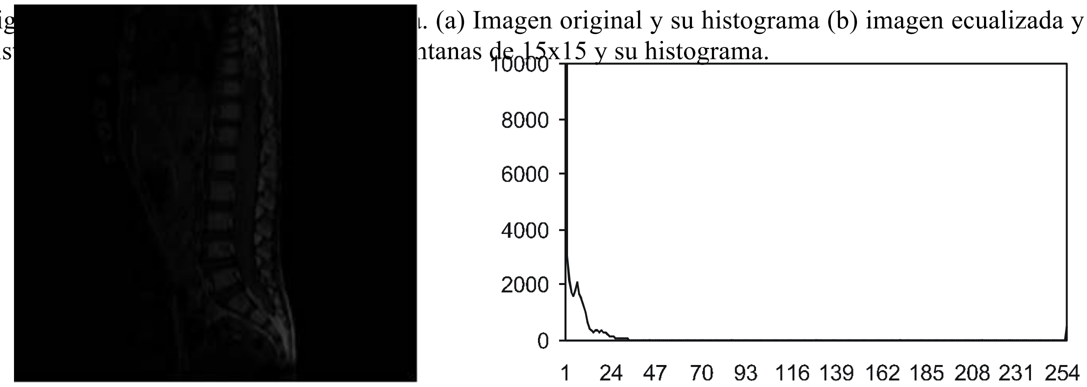
(b)



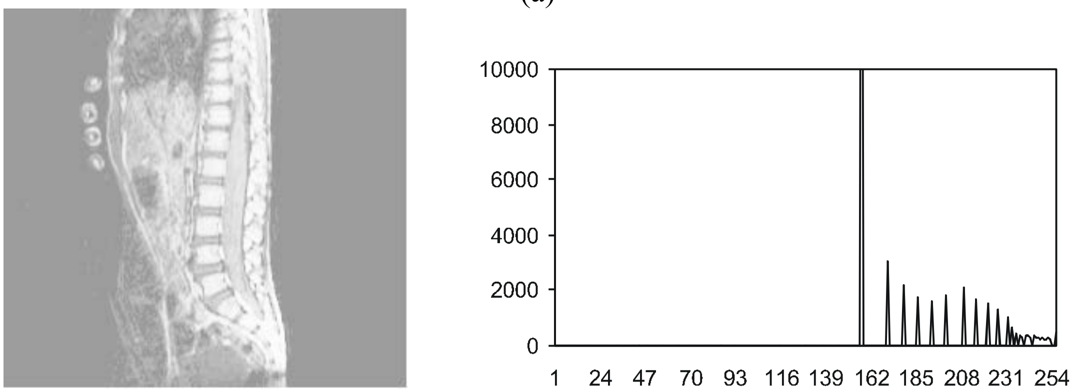
(c)

Figura: 5.10 Ecualización del histograma. Columna de la izquierda, imagen original; columna de la derecha, imagen ecualizada. (a) Imágenes (b) Histogramas (c) histogramas acumulados

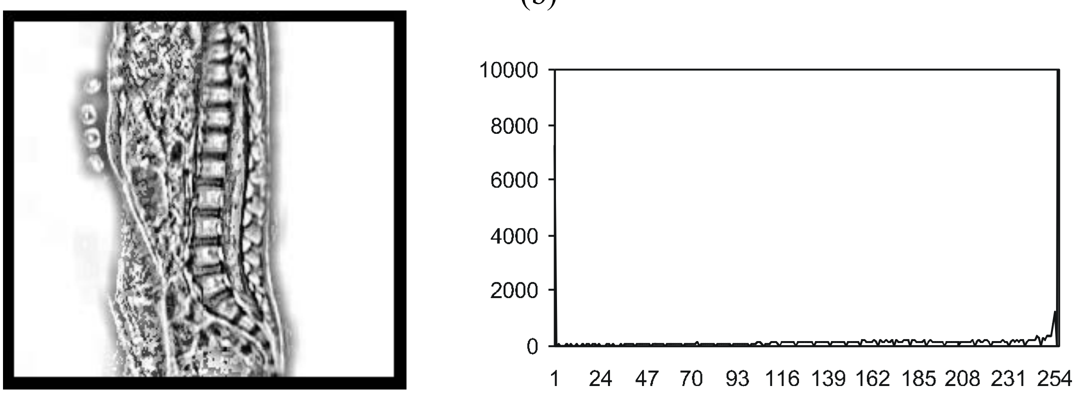
Fig a. (a) Imagen original y su histograma (b) imagen ecualizada y su his ntanas de 15x15 y su histograma.



(a)



(b)



(c)

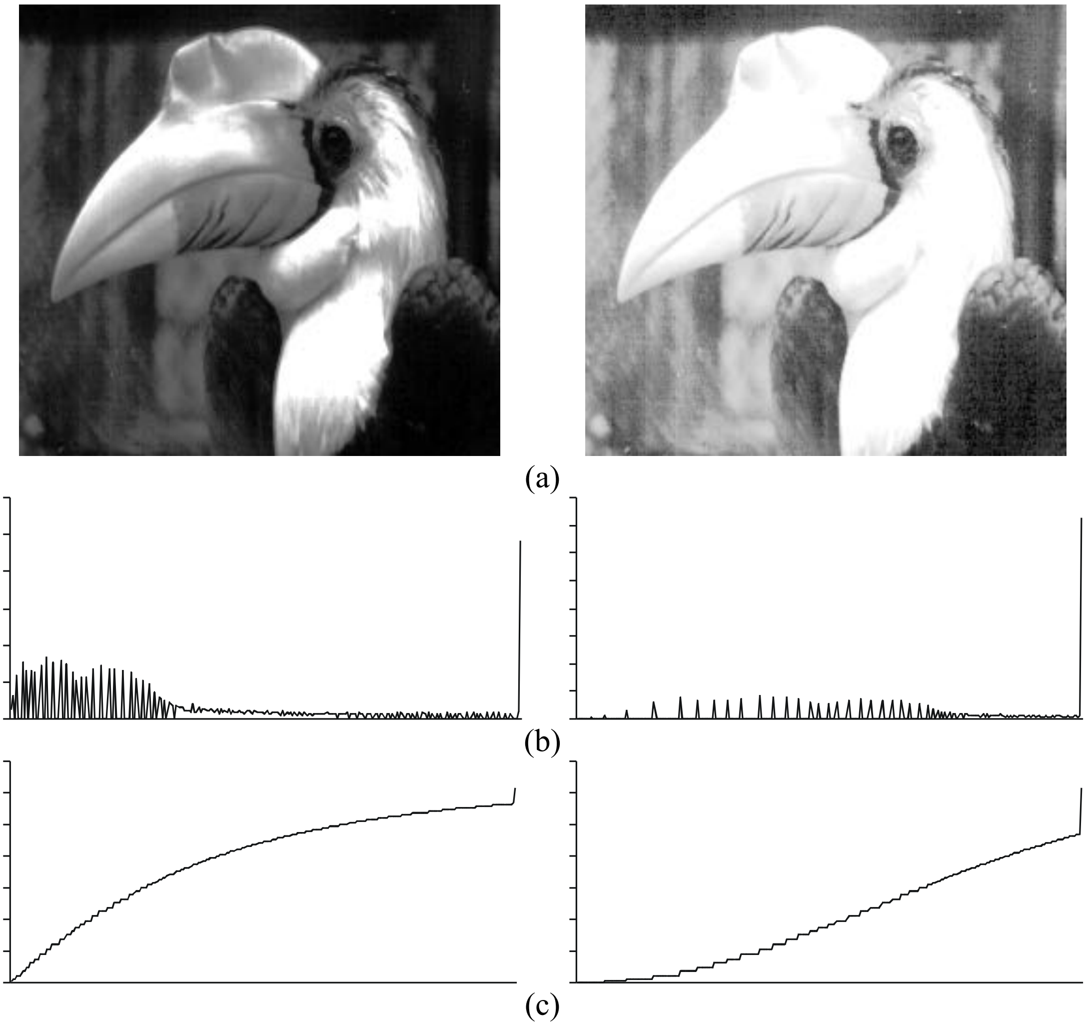


Figura: 5.12 Modificación del histograma del histograma. Columna de la izquierda distribución exponencial; columna de la derecha, distribución de Rayleigh. (a) Imágenes (b) Histogramas (c) histogramas acumulados

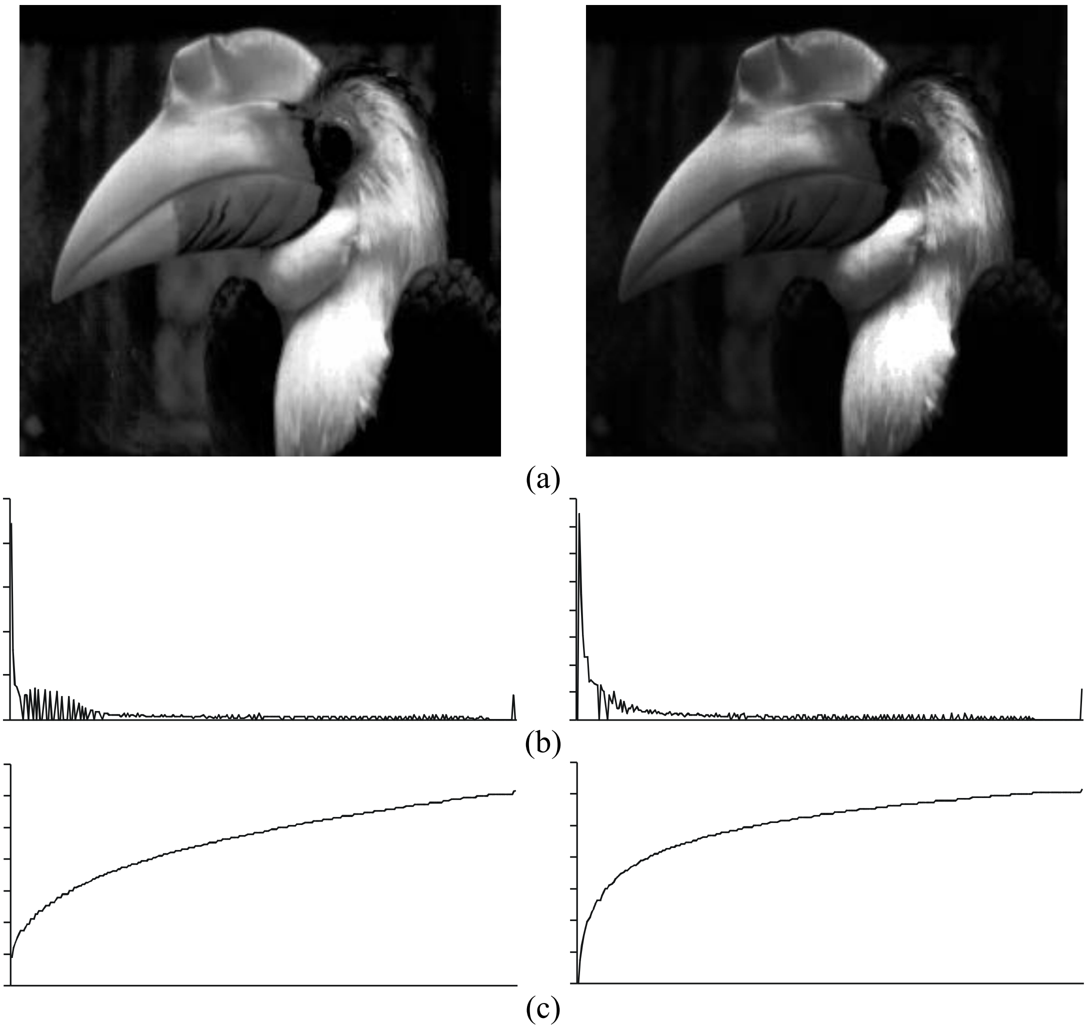


Figura: 5.13 Modificación del histograma del histograma. Columna de la izquierda distribución raíz cúbica; columna de la derecha, distribución logarítmica. (a) Imágenes (b) Histogramas (c) histogramas acumulados

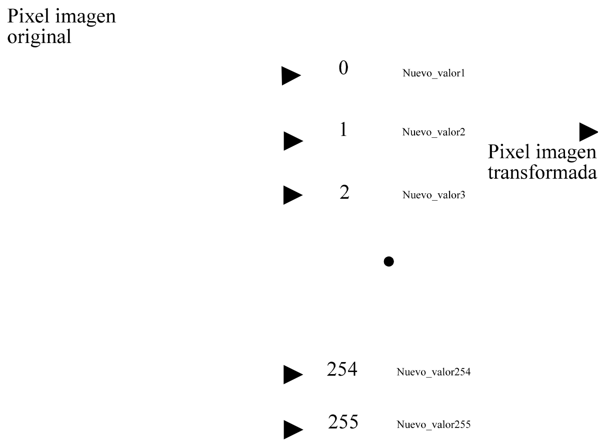


Figura 5.14. LUTs