



Computación Gráfica

MG. R. Jesús Cárdenas Talavera

Procesamiento de imágenes

Procesamiento de imágenes

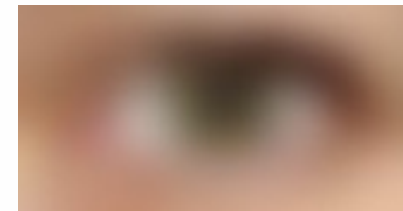
Operaciones de procesamiento global:

- Cada píxel es tratado de forma independiente, ya sea con una o con varias imágenes



Filtros y convoluciones:

- Se considera la vecindad local de los píxeles



Procesamiento de imágenes

Transformaciones geométricas:

- Se modifica el tamaño y forma de las matrices

Transformaciones lineales:

- Fourier, wavelets, etc.



Operaciones de procesamiento global

Aritméticas:

- Sumar, restar, multiplicar, máximo, etc.
- *Unarias*: una sola imagen y un valor constante
- *Binarias*: con dos imágenes

Booleanas:

- And, or, not, etc.
- *Unarias*: una sola imagen y una constante
- *Binarias*: con dos imágenes

Operaciones de procesamiento global

Otras transformaciones generales:

- Transformaciones de histograma
 - Transformaciones de color
 - Binarización, etc.
-
- Cada operación tendrá un significado, utilidad y aplicaciones específicos

Operaciones de procesamiento global

- Supongamos una imagen de *entrada* A y una imagen *resultado* R
- Una operación global (píxel a píxel) se puede expresar como una función:

$$R(x, y) := f(A(x, y)) \longrightarrow$$

El valor del píxel resultante es función de (y sólo de) el píxel correspondiente de entrada.

- Ejemplo. Invertir. $R(x, y) := 255 - A(x, y)$

Imagen
 A



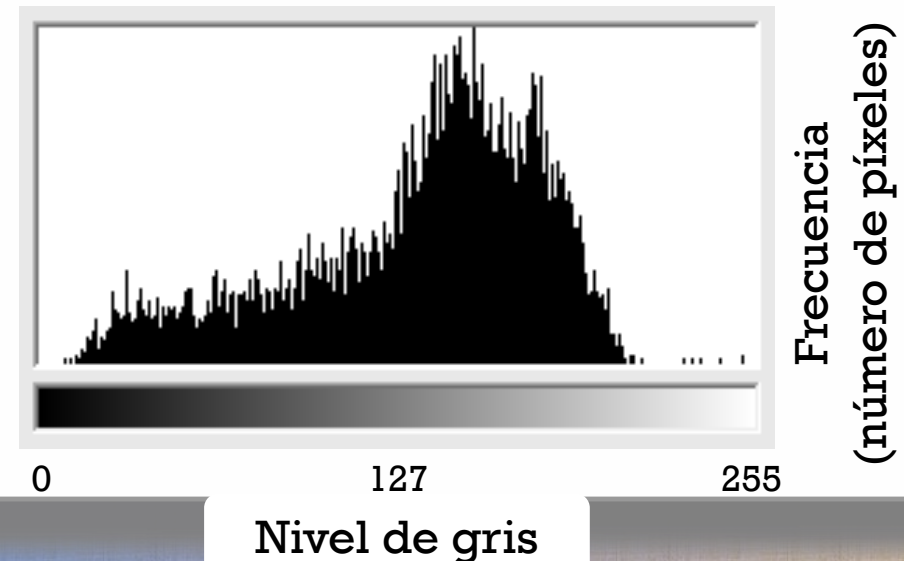
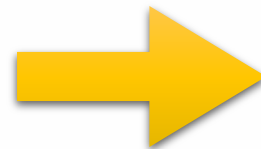
Imagen
 R



Histogramas

Histogramas

- Para comprender el significado de muchas transformaciones y saber cuál conviene aplicar se usan histogramas
- Un **histograma** representa gráficamente una distribución de frecuencias
- **Histograma de una imagen:** representa las frecuencias de los diferentes valores de gris en la imagen



Histogramas

Algoritmo: Cálculo de un histograma

- **Entrada:** A: imagen de *ancho* \times *alto*
- **Salida:** Histograma: array $[0, \dots, 255]$ de enteros

- **Algoritmo:**

Histograma[] = 0

para $y = 0, \dots, \text{alto}-1$ **hacer**

para $x = 0, \dots, \text{ancho}-1$ **hacer**

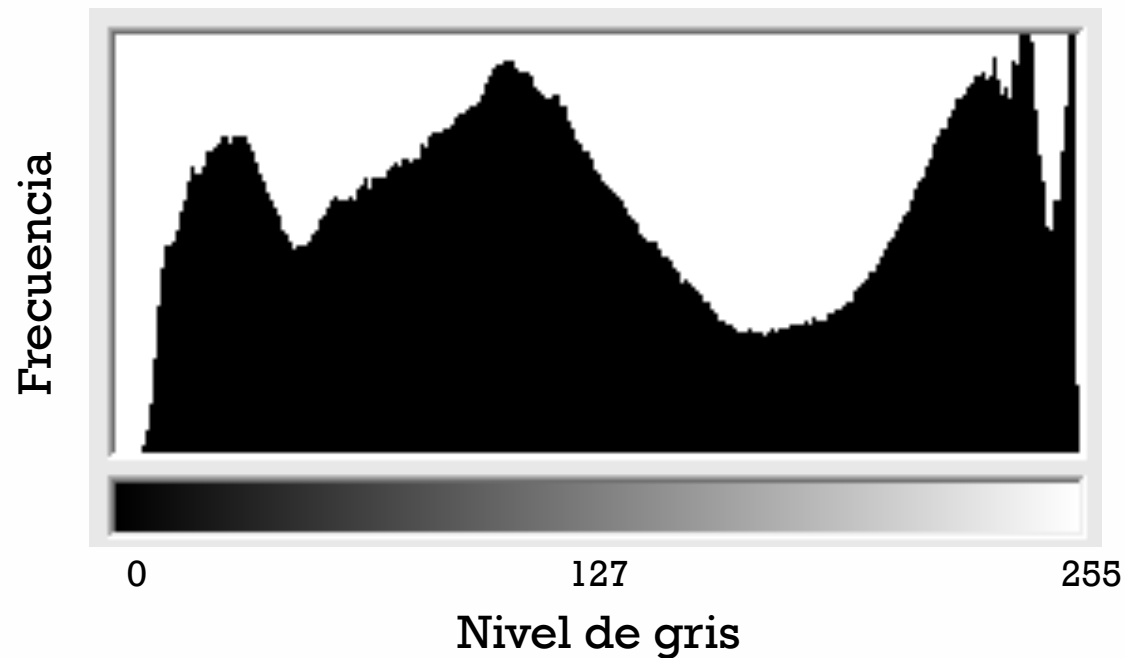
 Histograma[A(x, y)] = Histograma[A(x, y)] + 1

Histogramas

- Los histogramas son una herramienta importante en análisis de imágenes:
 - ¿Es buena la calidad de una imagen?
 - ¿Sobra luz?
 - ¿Falta contraste?
- Ayudan a decidir cuál es el procesamiento más adecuado para mejorar la calidad de una imagen...
 - Tanto cualitativamente (qué operación aplicar)
 - Como cuantitativamente (en qué cantidad)

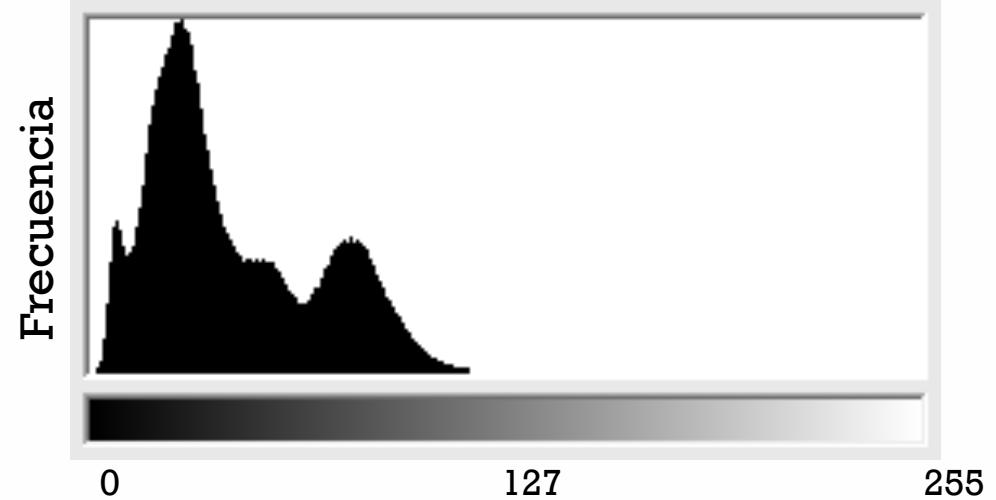
Histogramas

- Una buena imagen debe producir un histograma más o menos uniforme y repartido en todo el rango de valores



Histogramas

- *Ejemplo 1*
- La imagen es muy oscura, falta luz

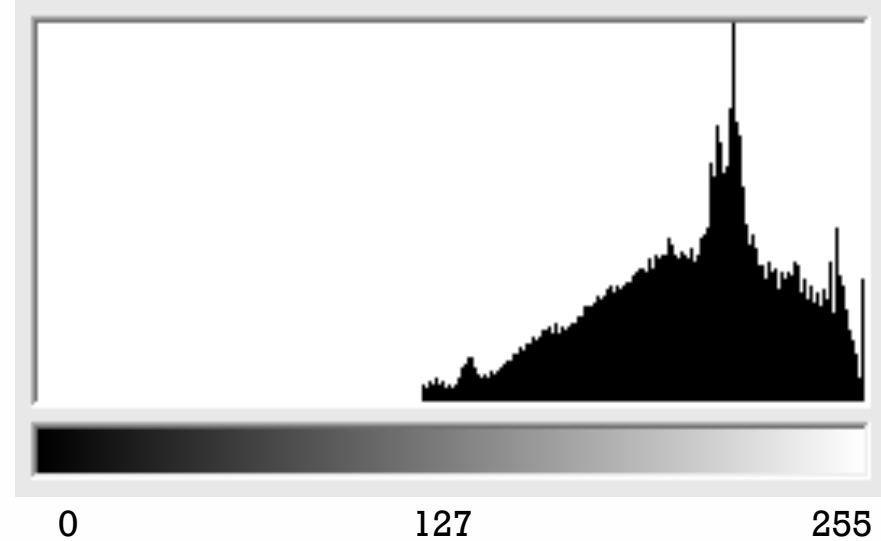


Histogramas

- *Ejemplo 2*
- La imagen es muy clara. Sobra brillo



Frecuencia

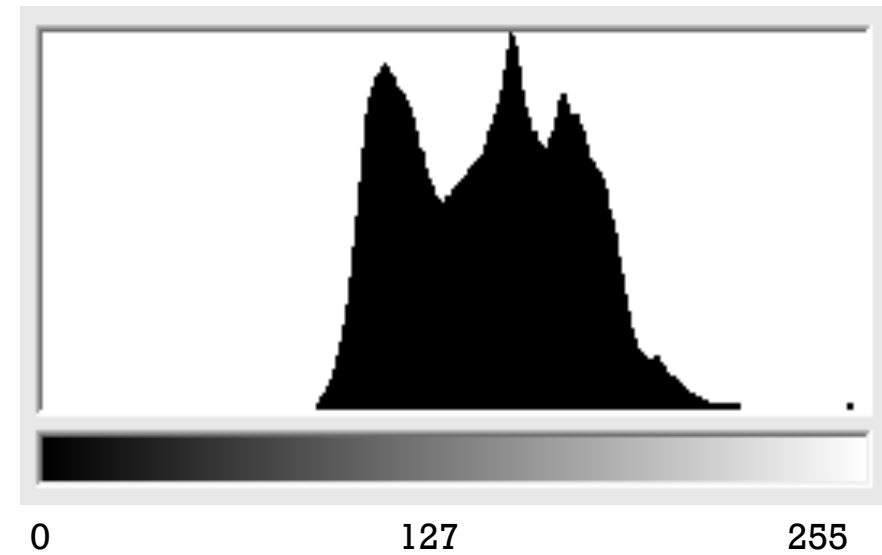


Histogramas

- *Ejemplo 3*
- La imagen tiene poco contraste



Frecuencia

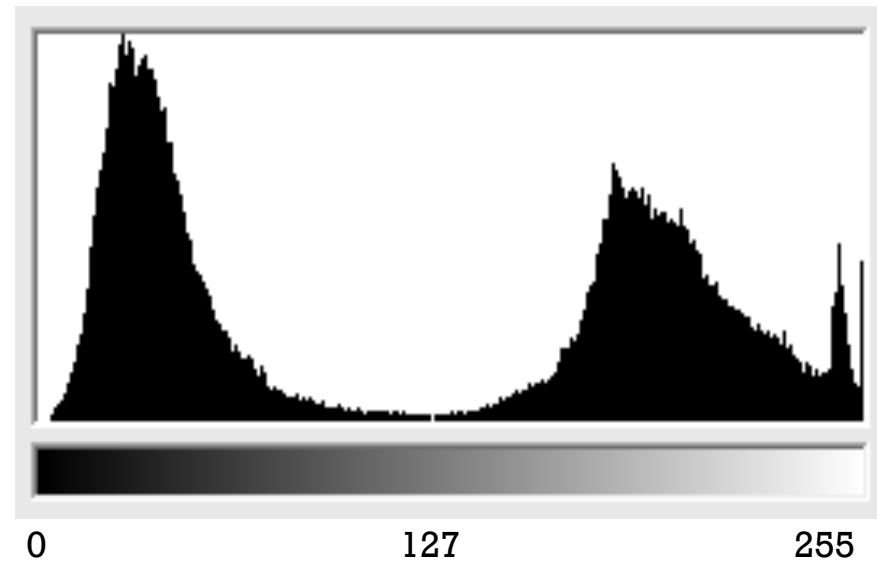


Histogramas

- *Ejemplo 4*
- Hay mucho contraste, pocos medios tonos



Frecuencia



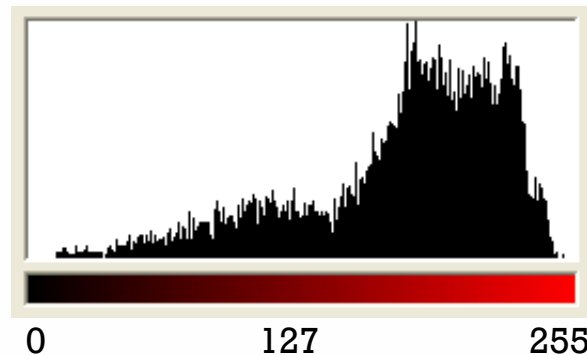
Histogramas

Histogramas de color

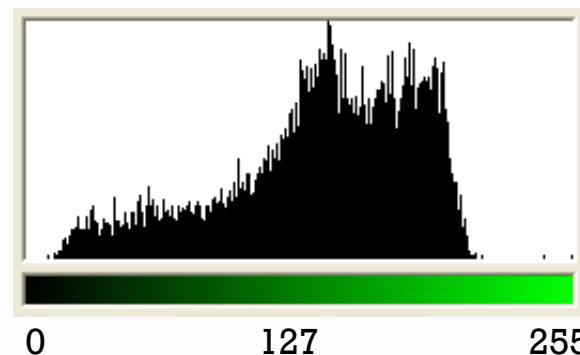
- En imágenes multicanal podemos obtener un histograma de cada canal por separado



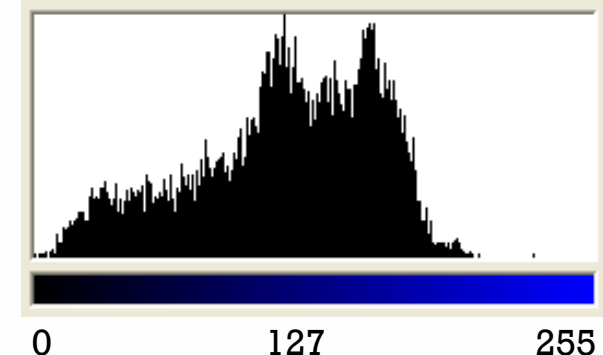
Canal Rojo



Canal Verde



Canal Azul

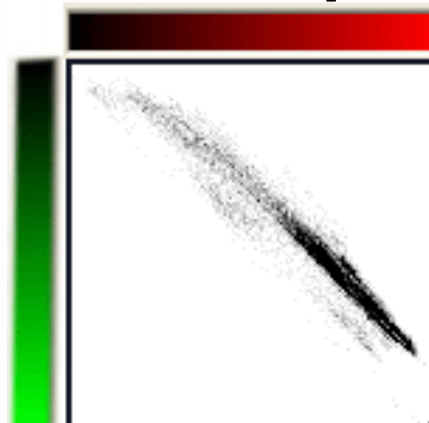


Histogramas

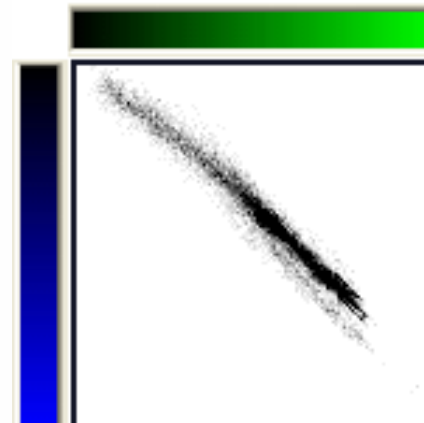
- También se puede calcular los histogramas en conjuntos, de 2 ó 3 dimensiones



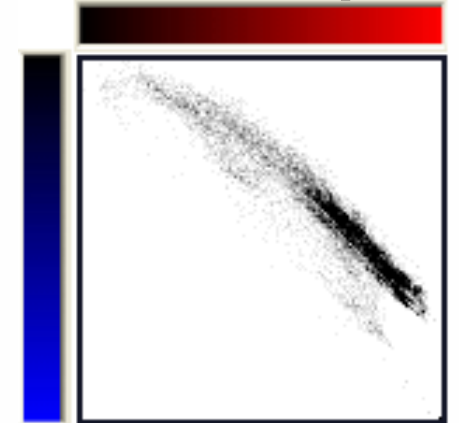
Canales R y G



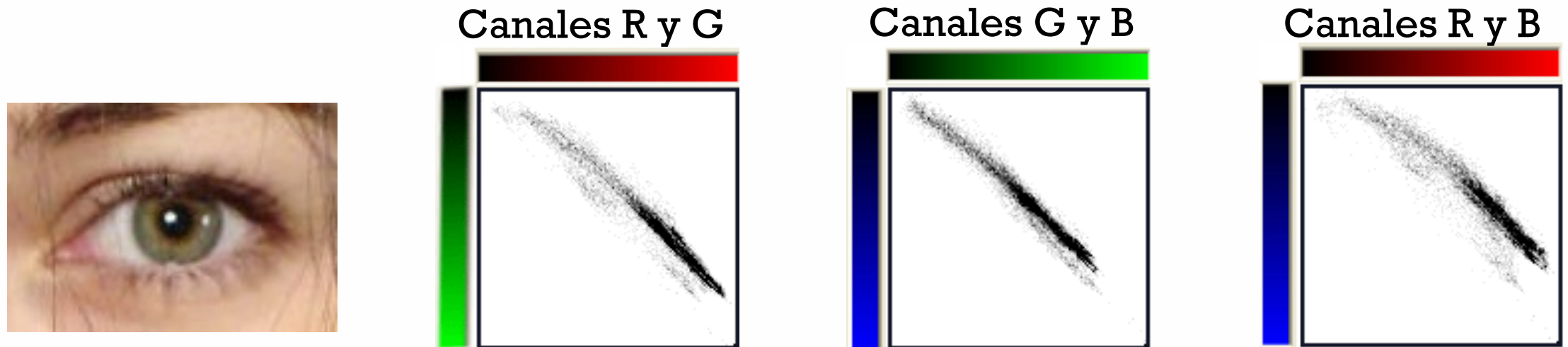
Canales G y B



Canales R y B



Histogramas



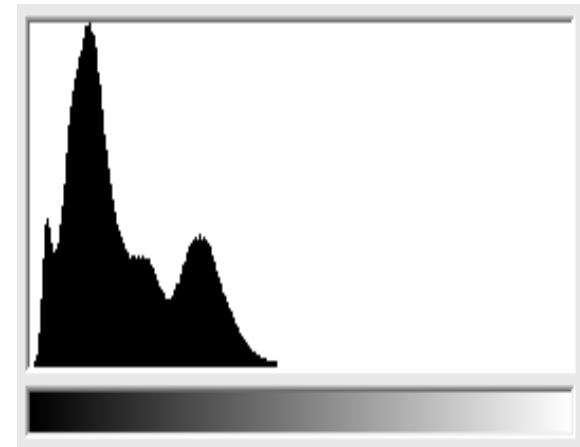
- Estos histogramas aportan información sobre los rangos de **colores más frecuentes** en la imagen
- En teoría, el histograma es de 256×256 celdas (*bins*)
- Pero, para obtener buenos resultados, mejor usar un **número reducido de celdas**. Por ejemplo: 64×64 o 32×32

Histogramas

- Uso de histogramas para mejorar la calidad de las imágenes

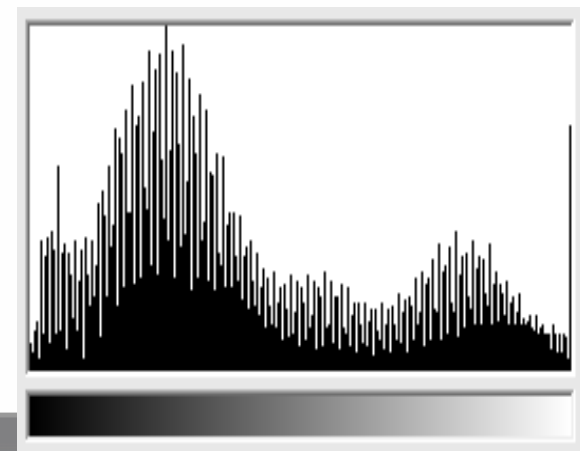
Ejemplo:

El histograma indica tonos muy oscuros



Solución:

Aplicar un operador que *estire* el histograma



Operaciones con píxeles

Operaciones elementales con píxeles

- A : imagen de entrada.
- R : imagen resultante (del mismo tamaño que A)

Operaciones unarias:

- Sumar una constante:

$$R(x, y) := A(x, y) + a$$

- Restar una constante:

$$R(x, y) := A(x, y) - a$$

- Multiplicar por una constante:

$$R(x, y) := b \cdot A(x, y)$$

Operaciones elementales con píxeles

- Dividir por una constante:

$$R(x, y) := \frac{A(x, y)}{b}$$

- Transformación lineal genérica:

$$R(x, y) := b * A(x, y) + a$$

- Transformación de gama:

$$R(x, y) := A(x, y)^c$$

- Cualquier función $N \rightarrow N$:

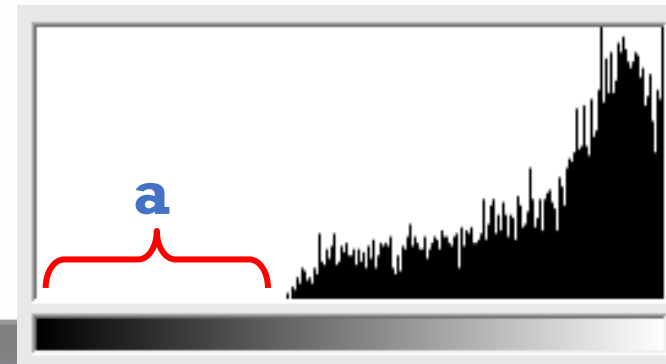
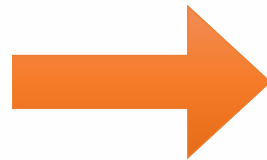
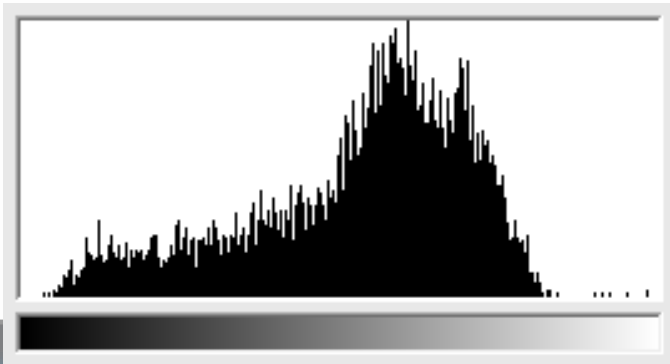
$$R(x, y) := f(A(x, y))$$

Sumar una constante

$$R(x, y) := A(x, y) + a$$

Significado:

- Incrementar el brillo de la imagen en la cantidad indicada en **a**
- El histograma se *desplaza a la derecha* en **a** píxeles



Sumar una constante



- Ojo:
- La suma puede ser **mayor que 255...**
- La operación debería comprobar el overflow:

si $A(x, y) + a > 255$ **entonces:**

$$R(x, y) = 255$$

Sino:

$$R(x, y) := A(x, y) + a$$

Sumar una constante

- Esto se debe hacer también en las demás operaciones comprobando si el valor es < 0 o > 255
- Coloquialmente un píxel *por encima* de 255 o *por debajo* de 0 se dice que está **saturado**
- La saturación supone una pérdida de información



Ejemplo de imagen
muy saturada

Sumar una constante

- En imágenes en color, la suma se realiza sobre los tres canales (R, G y B) y con el mismo valor

- $R(x, y).R := A(x, y).R + a$
- $R(x, y).G := A(x, y).G + a$
- $R(x, y).B := A(x, y).B + a$



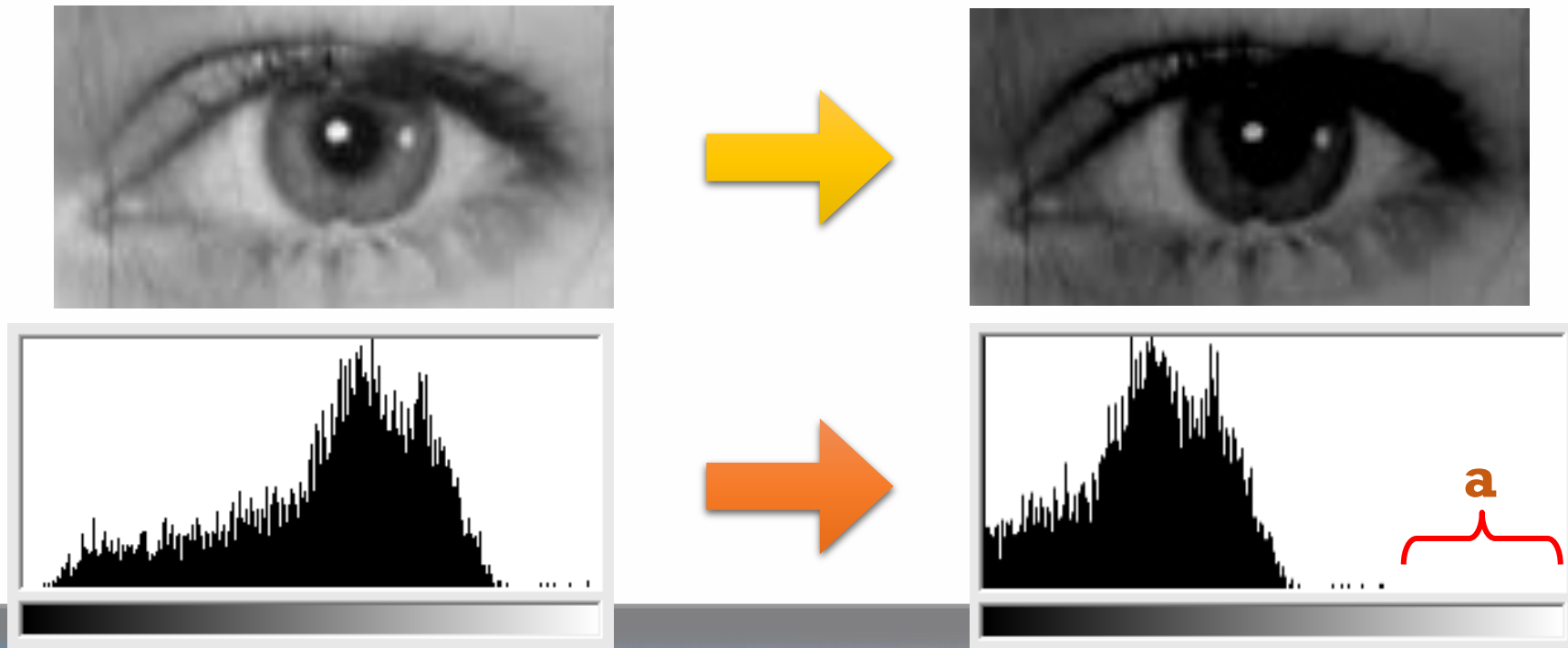
¿Qué ocurre si se suma un valor distinto a cada canal?

Restar una constante

$$R(x, y) := A(x, y) - a$$

Significado:

- Decrementar el brillo de la imagen en la cantidad indicada en **a**
- El histograma se *desplaza a la izquierda* en *a* píxeles

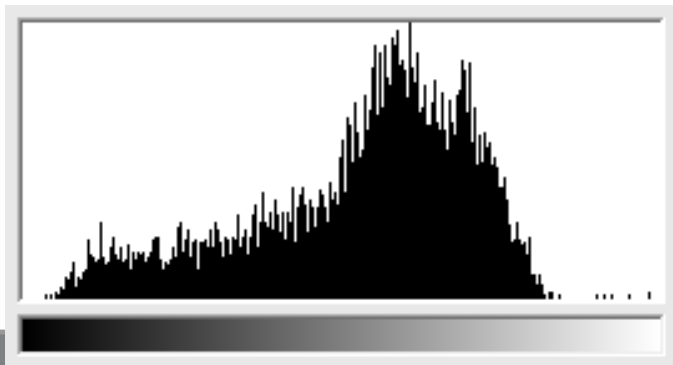
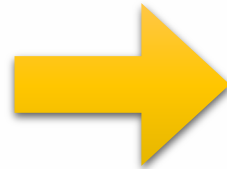


Multiplicar por una constante

$$R(x, y) := b \cdot A(x, y)$$

Significado:

- Aumentar la intensidad de la imagen en **b**
- El histograma se *estira* hacia la derecha



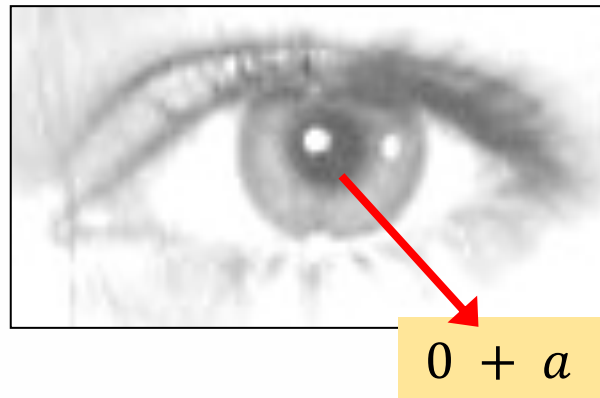
Operaciones elementales con píxeles

- Tanto en la suma como en la multiplicación, se aumenta el nivel de gris de los píxeles, pero de forma distinta
- En la suma, el parámetro **a** (entero) indica el número de niveles de gris a aumentar:
 - de -255 a 255
- En el producto, el parámetro **b** (real) indica el factor a multiplicar
 - $b = 1 \rightarrow$ Ningún cambio
 - $b = 2 \rightarrow$ Se duplica el valor de gris (píxeles > 127 se saturan)
 - $b = 0,5 \rightarrow$ Se encoge a la mitad el histograma

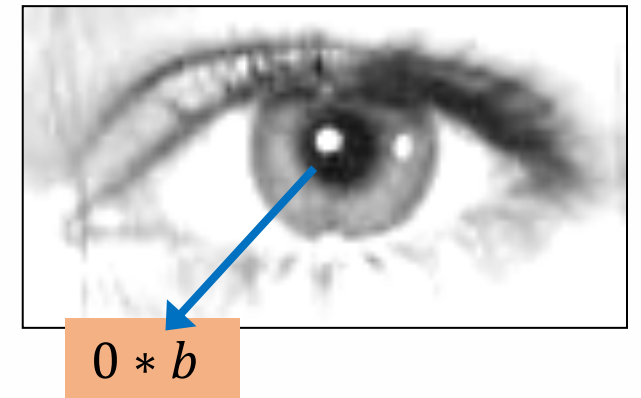
Operaciones elementales con píxeles



Suma



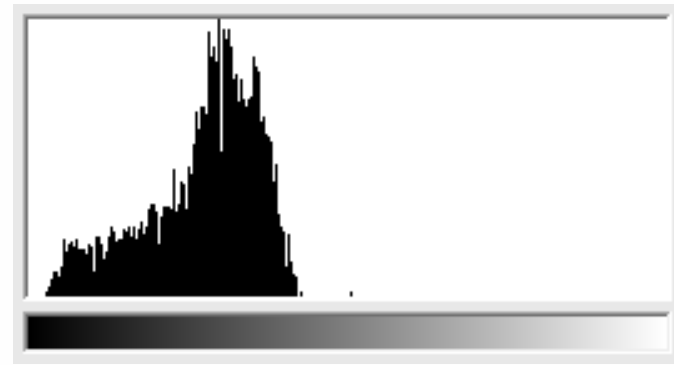
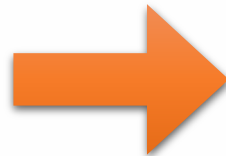
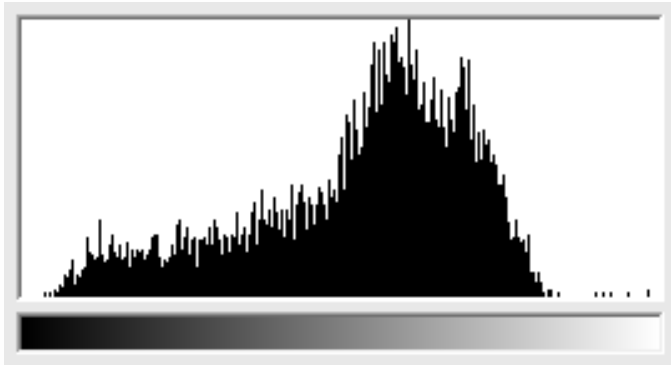
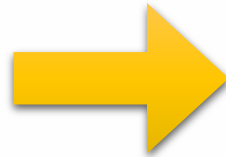
Multiplicación



Dividir por una constante

$$R(x, y) := A(x, y) / b$$

- Obviamente es igual a multiplicar por $\frac{1}{b}$
- El histograma se *encoge*



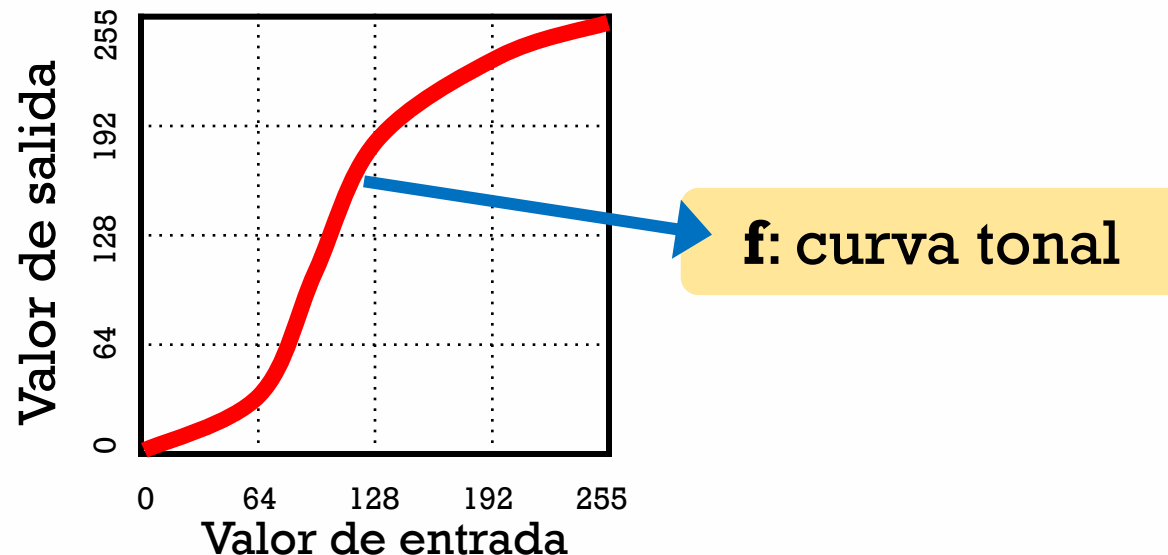
Transformaciones del histograma

Transformaciones del histograma

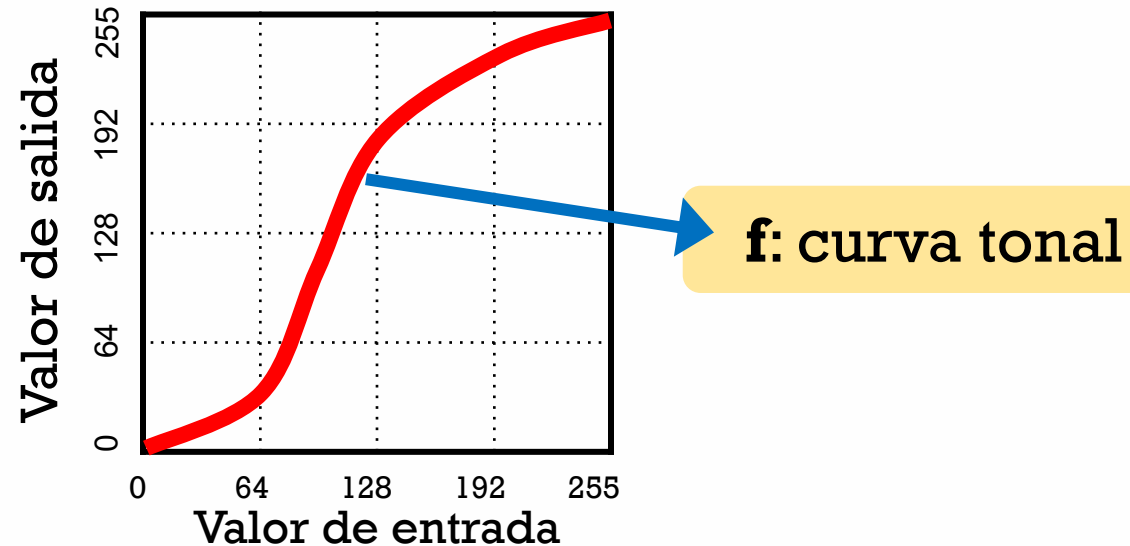
- Las transformaciones elementales se pueden ver como funciones $f: N \rightarrow N$

Interpretación:

- Para cada valor de gris de entrada hay un valor de salida

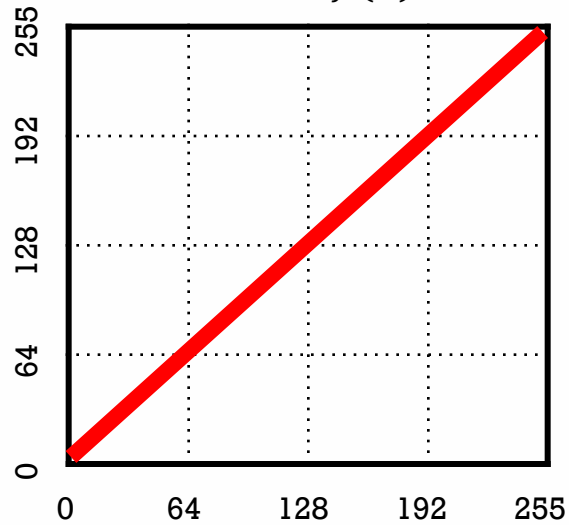


Transformaciones del histograma

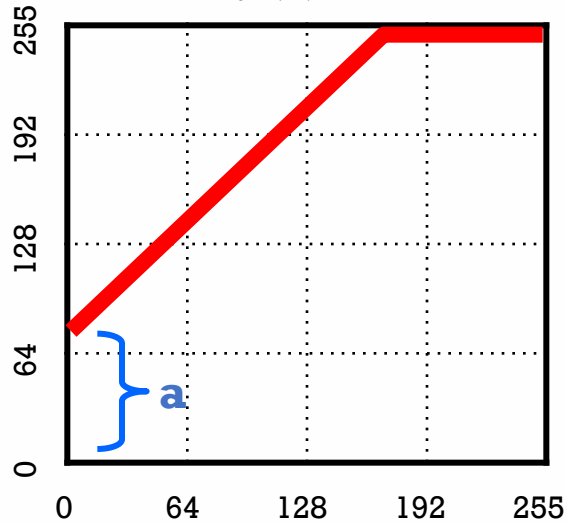


- Se puede usar cualquier función f
- La transformación hace que se modifique el histograma

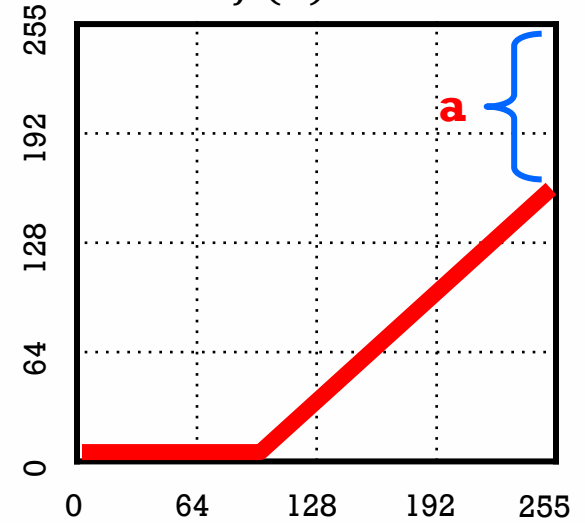
Identidad: $f(v) = v$



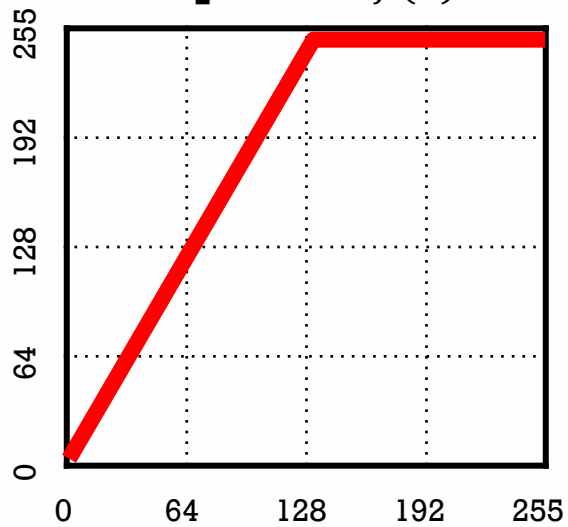
Suma: $f(v) = v + a$



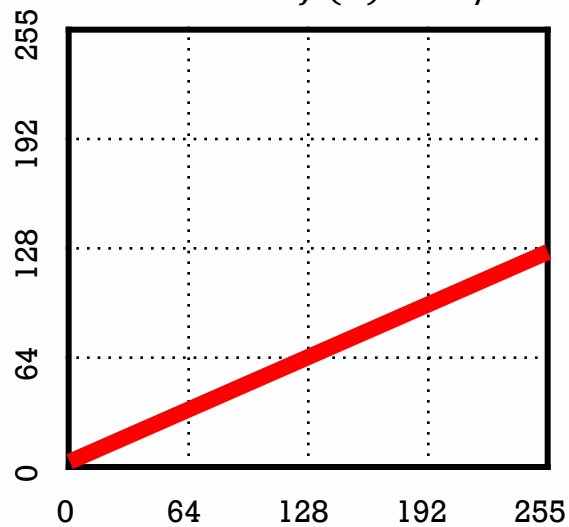
Resta: $f(v) = v - a$



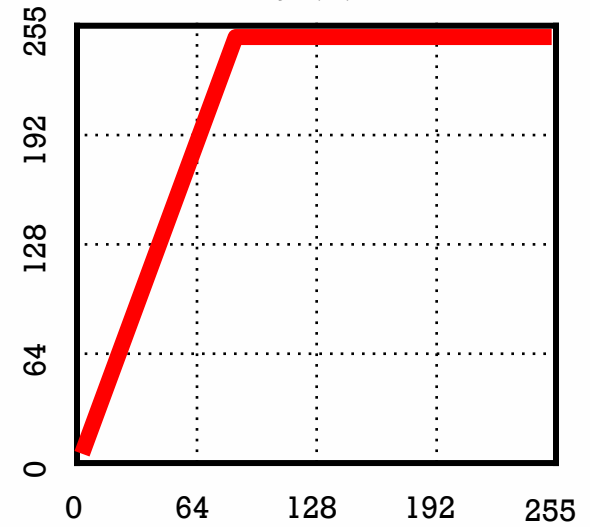
Multiplicar 2: $f(v) = 2v$



Dividir 2: $f(v) = v/2$



Por 3: $f(v) = 3v$

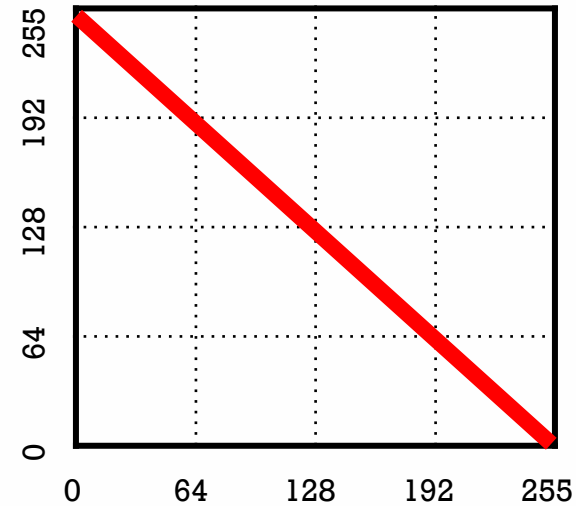


Transformaciones del histograma

- En general, podemos definir una transformación lineal genérica de la forma:

$$f(v) = b \cdot v + a$$

Inversa: $f(v) = 255 - v$

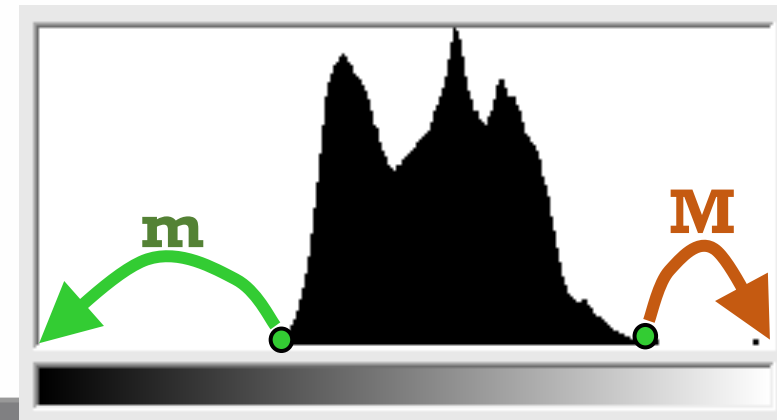


- Pero la transformación también puede ser **no lineal**:
 - cuadrática, polinomial, exponencial, logarítmica, escalonada, etc.
- ¿Cómo decidir cuál es la transformación más adecuada?
- → Usar el histograma

Transformaciones del histograma

- Normalmente, interesa *estirar* el histograma para conseguir que aparezca todo el rango de valores
- **Idea:** definir una transformación lineal tal que el histograma resultante vaya de 0 a 255
- Ajuste lineal o estiramiento (*stretch*) del histograma:
 - Buscar el valor mínimo del histograma: **m**
 - Buscar el valor máximo: **M**
 - $$f(v) = (v - m) * \frac{255}{M - m}$$

Nota: Esto es una simple regla de 3



Transformaciones del histograma

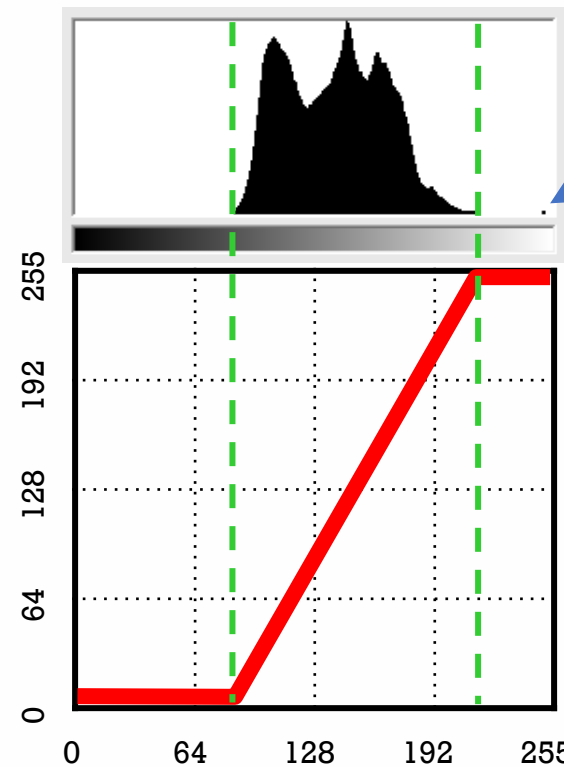
- Ejemplo.
- $m = 86, M = 214$ $R(x, y) = (A(x, y) - 86) * 1,99$

Para imágenes en color, se aplica la misma función a los tres canales (R,G,B)

A

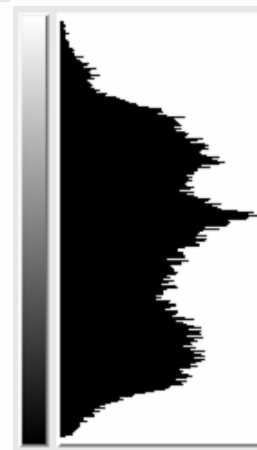


R



Ojo: no necesariamente "el máximo"

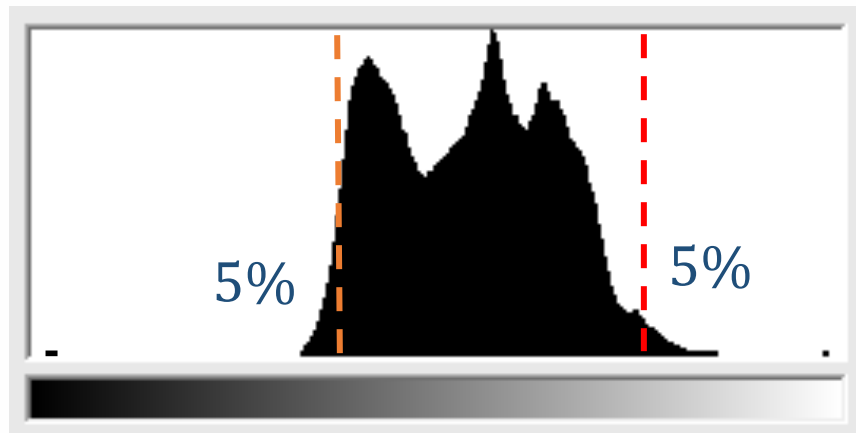
Histograma de R



Transformaciones del Histograma

- Un simple píxel con valor *muy alto* o *muy bajo* puede hacer que el ajuste sea muy malo
- Por ejemplo, si hay un píxel con valor 0 y otro con 255, la transformación sería la identidad (la imagen no cambia)
- **Solución:** en lugar de mínimo y máximo, ajustar usando **dos percentiles** del histograma (p. ej. 10% – 90%, o 5% – 95%)

Histograma de A

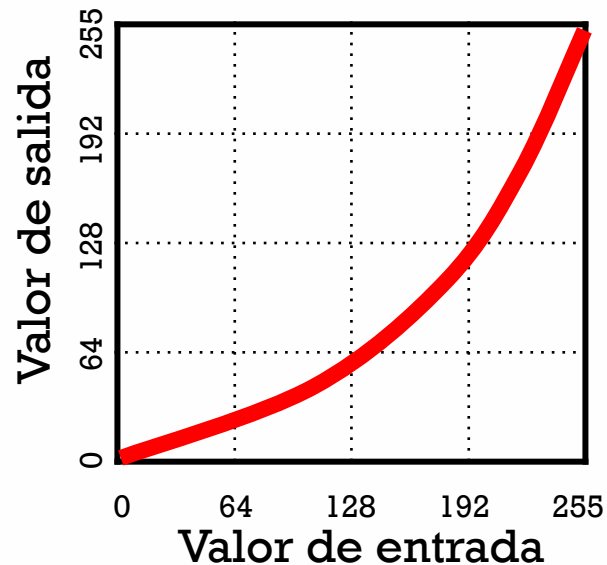




Transformaciones del histograma

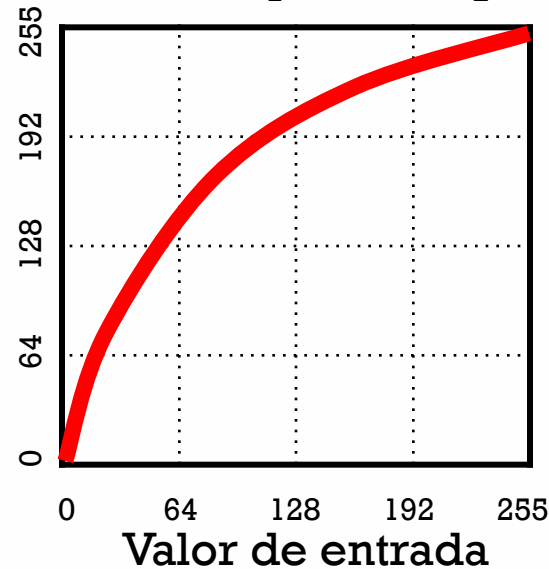
- La transformación de histograma puede tomar cualquier forma (no necesariamente lineal)

Parábola: $c_1v^2 + c_2v + c_3$



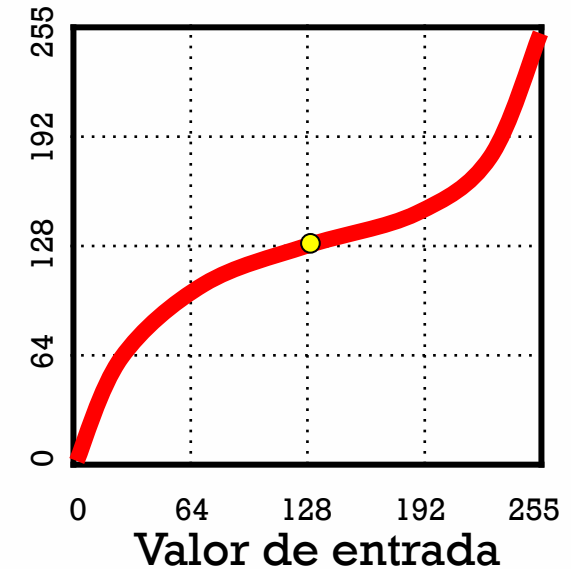
Resultado: oscurecer los
medios tonos

Raíz: $c_1v^{0.5} + c_2$



Resultado: aclarar los
medios tonos

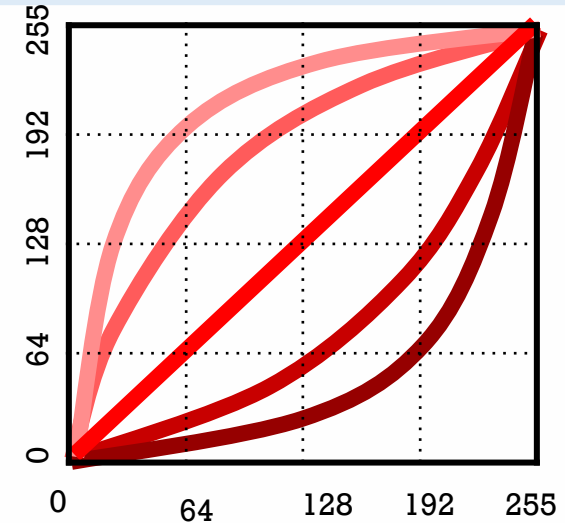
Dos trozos de curva
(parábola y raíz)



Resultado: aclarar tonos
oscuros y oscurecer los
claros

Transformaciones del histograma

- Elevar a 2, elevar a $\frac{1}{2}$, ...
- Se define la transformación de gama como:
- $f(v) := 255 \cdot \left(\frac{v}{255}\right)^{\frac{1}{GAMA}}$



Gama 0,5



Gama 0,75



Gama 1



Gama 2



Gama 4

Transformaciones del histograma

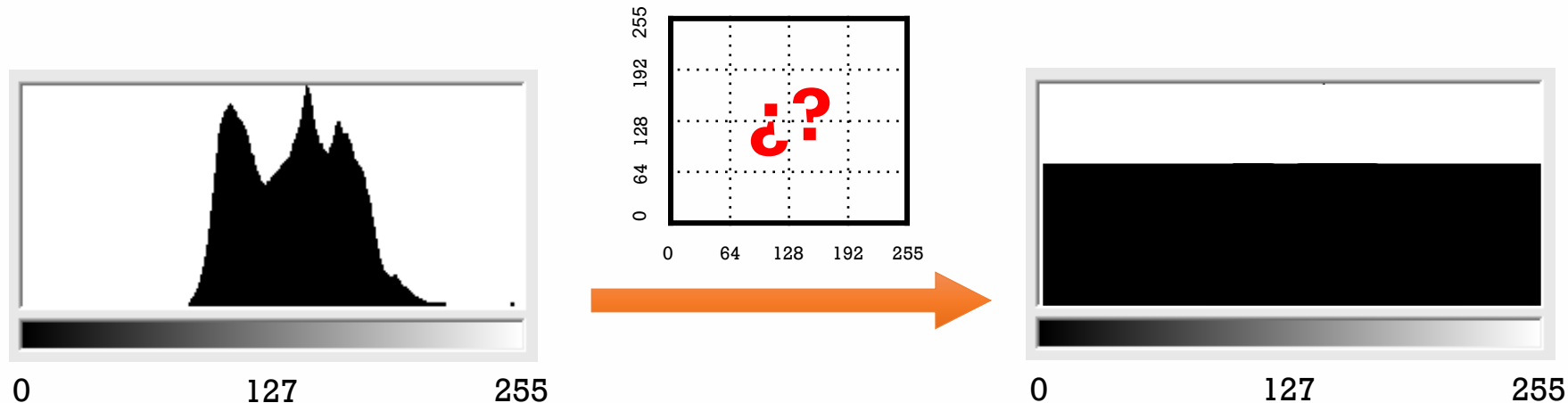
- La diferencia entre diferentes dispositivos (televisores, cámaras, escáneres) se modela con una transformación de gama
- Si el comportamiento del dispositivo fuera perfectamente lineal, $Gama = 1$



- ¿Dónde está el 50% de gris? ¿Es la escala lineal?
- ¿Dónde estaría si tomáramos una foto?

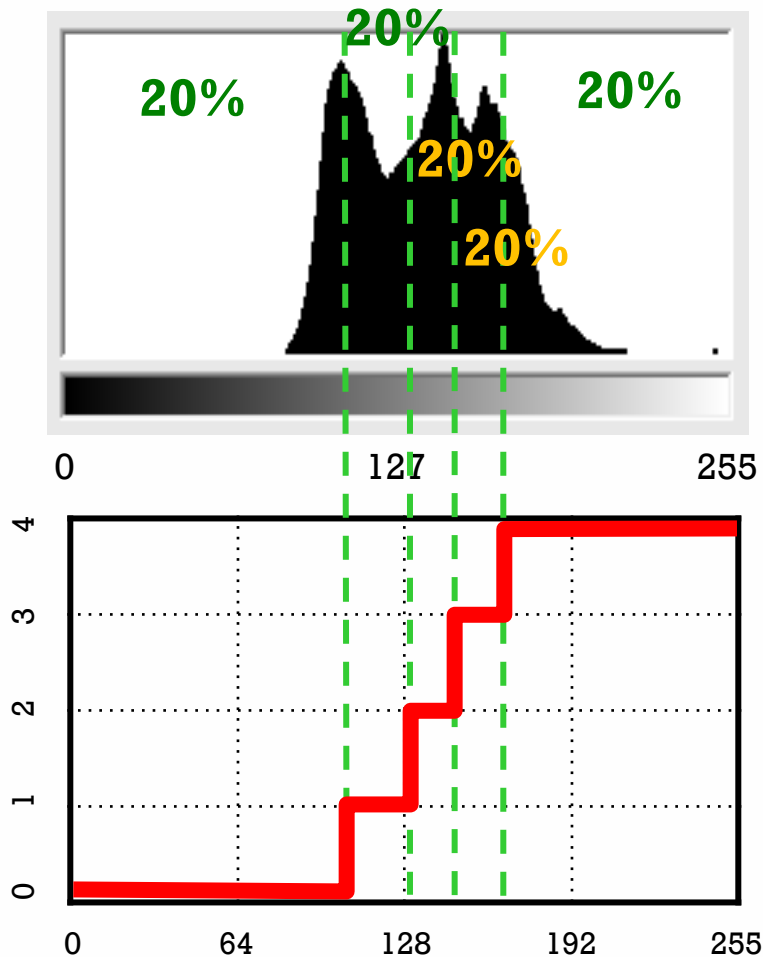
Transformaciones del histograma

- Otra transformación habitual es la **ecualización del histograma** (del latín aequalis = igual)
- **Ecualización del histograma**: es una transformación definida de forma que el histograma resultante se reparte uniformemente en todo el rango de grises



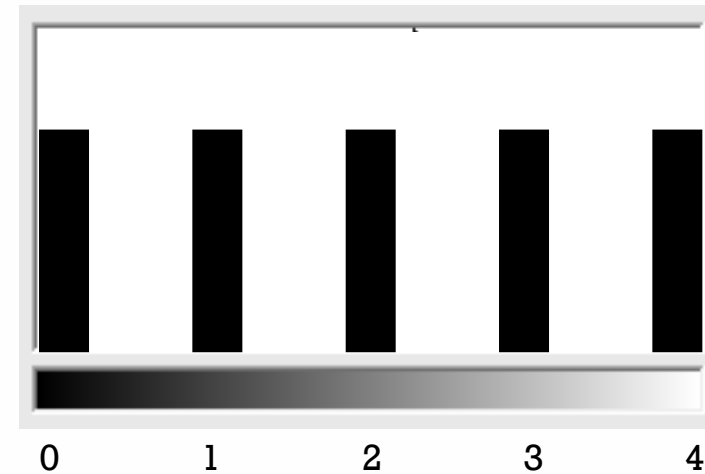
En este caso se usa una función escalonada: **f**: array [0..255] de byte

Transformaciones del histograma



- ¿Cómo definir f para conseguir la ecualización?
- **Idea:** suponer que a la salida hay 5 niveles de gris

para todo píxel (x, y) de R hacer
$$R(x, y) = f[A(x, y)]$$



Transformaciones del histograma

Algoritmo: Ecualización del histograma

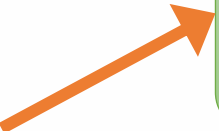
Entrada: Histograma: array $[0, \dots, 255]$ de enteros

np: entero (número **total** de píxeles = $mx * my$)

Salida: f: array $[0, \dots, 255]$ de byte

Algoritmo:

```
f[0] = 0
acumulado = Histograma[0]
para i = 1, ..., 254 hacer
    f[i] = acumulado*255/np
    acumulado = acumulado + Histograma[i]
fin
f[255] := 255
```



La función de ecualización es la **integral del histograma**, escalada por el factor $255/np$

Transformaciones del histograma

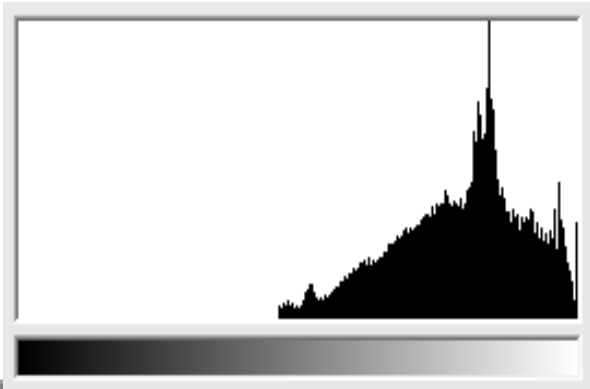
Imagen de entrada (A)



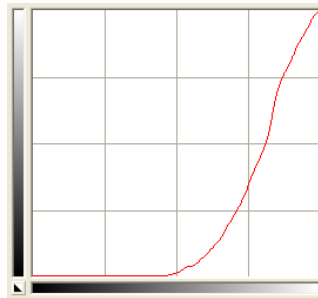
Imagen ecualizada (R)



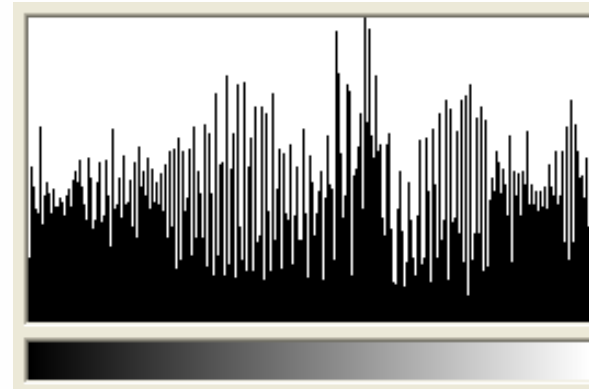
Histograma de A



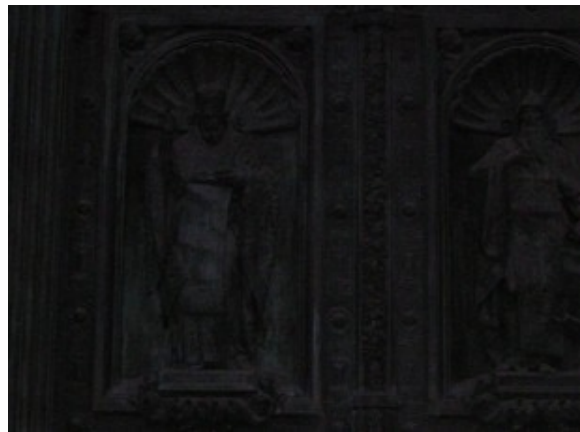
Función f



Histograma de R



Transformaciones del histograma



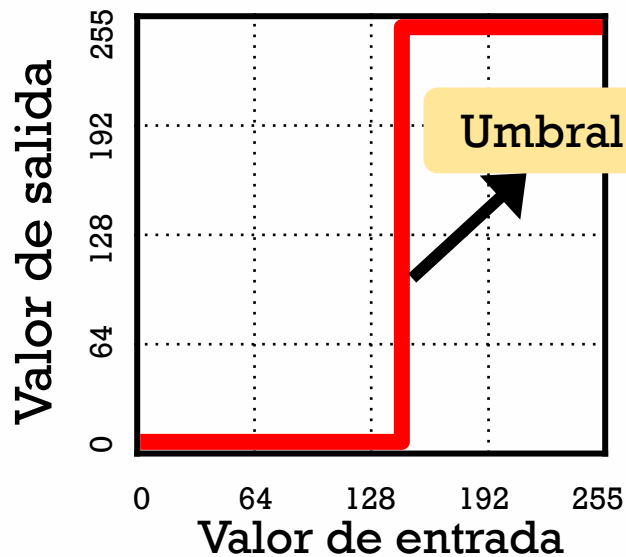
Cada canal (R,G,B) es
ecualizado por separado

Cuidado, en algunos casos los resultados pueden ser artificiosos

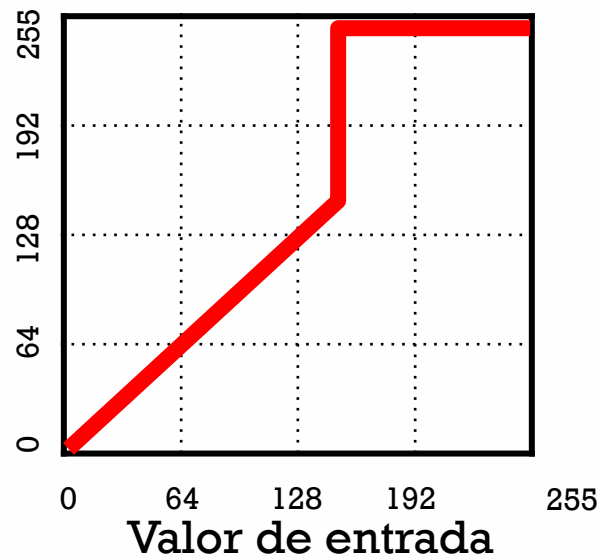
Aplicaciones

Umbralización de imágenes

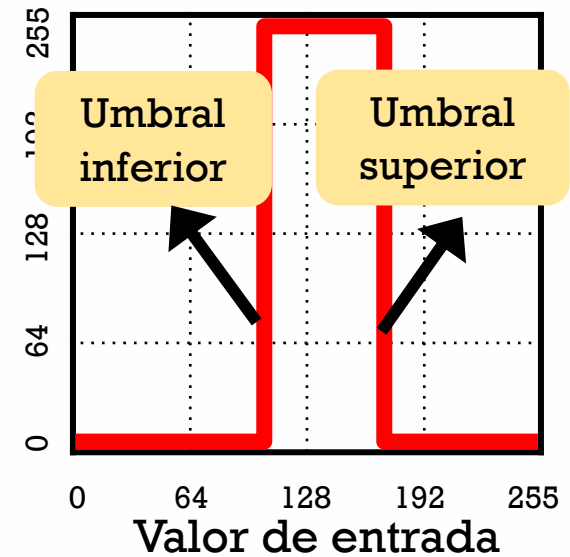
- En algunas aplicaciones puede ser interesante convertir la imagen en binaria, o recortar cierto rango de valores



Umbralizar la imagen con valor constante



Cortar un rango y mantener el resto



Seleccionar un rango

Optical Character Recognition

- Las funciones serán del estilo:

$$f(v) = \text{si } v > \text{umbral entonces } g(v) \text{ sino } h(v)$$

Transformación de binarización (saturar a 0 ó 255)

$$f(v) = \text{si } v < \text{umbral entonces } 0 \text{ sino } 255$$

- La binarización se suele aplicar en OCR.

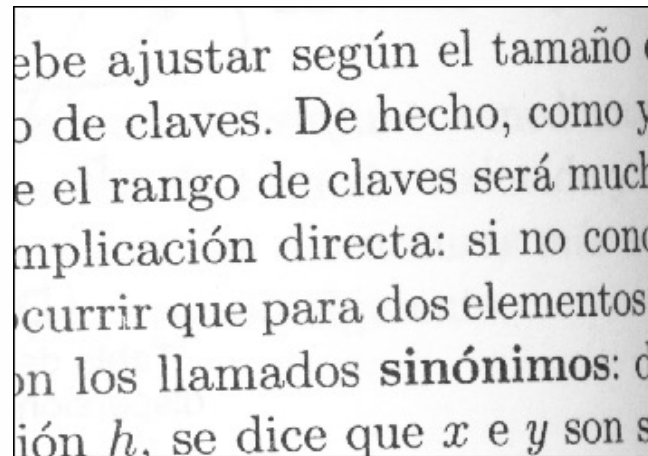
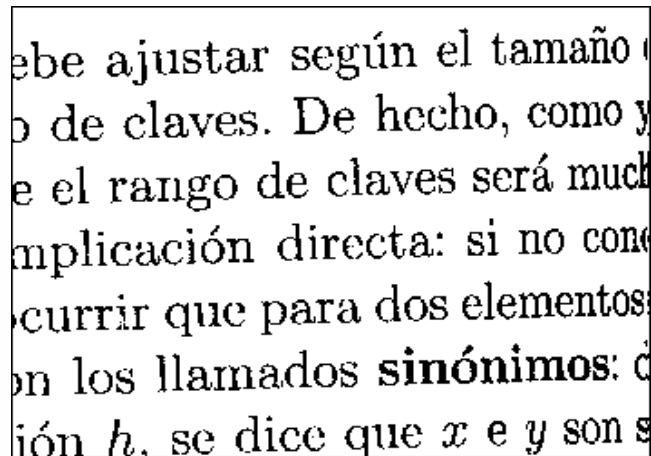
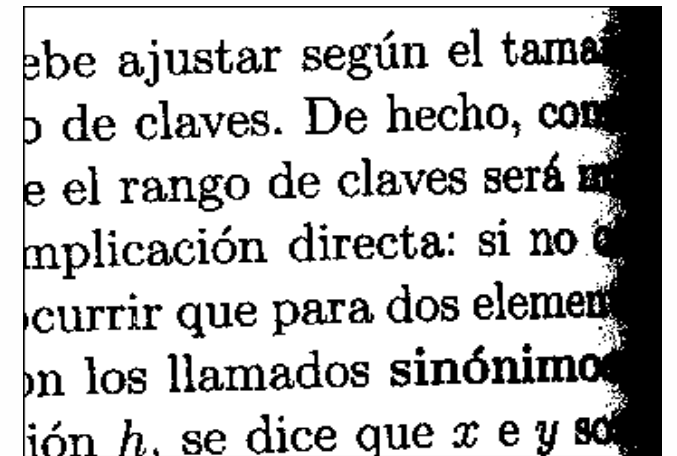


Imagen de entrada (256 grises)



Umbral = 160



Umbral = 215

Segmentación de objetos



Imagen de entrada



Umbralizar, $u = 42$



Umbralizar, $u = 180$

- La separación del objeto del fondo se llama **segmentación**
- La umbralización se puede usar para segmentar...
- ... aunque por sí sola no suele funcionar muy bien



Cortar rango (192, 255)

Transformaciones del Histograma

- Una transformación elemental se puede ver desde distintas perspectivas:
 - Como una función unidimensional: $f: N \rightarrow N$
 - Como una curva tonal.
 - Como una modificación del histograma.
- La característica fundamental es que cada píxel se trata independientemente de los demás.
- Los histogramas son útiles para encontrar la transformación adecuada
- En imágenes RGB, aplicamos la misma operación a los 3 canales para que se mantenga el color.



Computación Gráfica

MG. R. Jesús Cárdenas Talavera