

Procesamiento global de imágenes

Tipos de operaciones. Histogramas.

- **Pregunta:** ¿Cuál es la base teórica del procesamiento de imágenes? ¿Qué operaciones aplicar?
- **Recordatorio:** ¡una imagen digital no es más que una matriz, o array bidimensional, de números!

90	67	68	75	78
92	87	73	78	82
63	102	89	76	98
45	83	109	80	130
39	69	92	115	154

→ Podemos aplicar las mismas operaciones que sobre cualquier número: sumar, restar, multiplicar, dividir, aplicar and, or, máximo, mínimo, integrales, derivadas...

Tipos de operaciones. Histogramas.

- Principales tipos de procesamiento de imágenes:

- Operaciones de procesamiento global: cada píxel es tratado de forma independiente, ya sea con una o con varias imágenes.



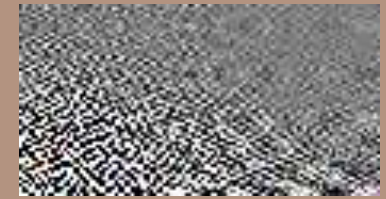
- Filtros y convoluciones: se considera la vecindad local de los píxeles.



- Transformaciones geométricas: se modifica el tamaño y forma de las matrices.



- Transformaciones lineales: Fourier, wavelets, etc.



Tipos de operaciones. Histogramas.

- **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.
 - **Otras transformaciones generales:**
 - Transformaciones de histograma.
 - Transformaciones de color.
 - Binarización, etc.
- Cada operación tendrá un **significado, utilidad y aplicaciones** específicos. ±

Tipos de operaciones. Histogramas.

- 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



Tipos de operaciones. Histogramas.

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

- **Comparar con:**

- **Filtros y convoluciones:** el valor de un píxel depende de la vecindad local de ese píxel:

$$R(x,y) := f(A(x-k,y-k), \dots, A(x,y), \dots, A(x+k,y+k))$$

- **Transformaciones geométricas:** el valor de un píxel depende de píxeles situados en otras posiciones:

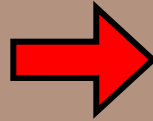
$$R(x,y) := A(f_1(x,y), f_2(x,y))$$

- **Transformaciones lineales:** el valor de un píxel puede depender de todos los píxeles de la imagen:

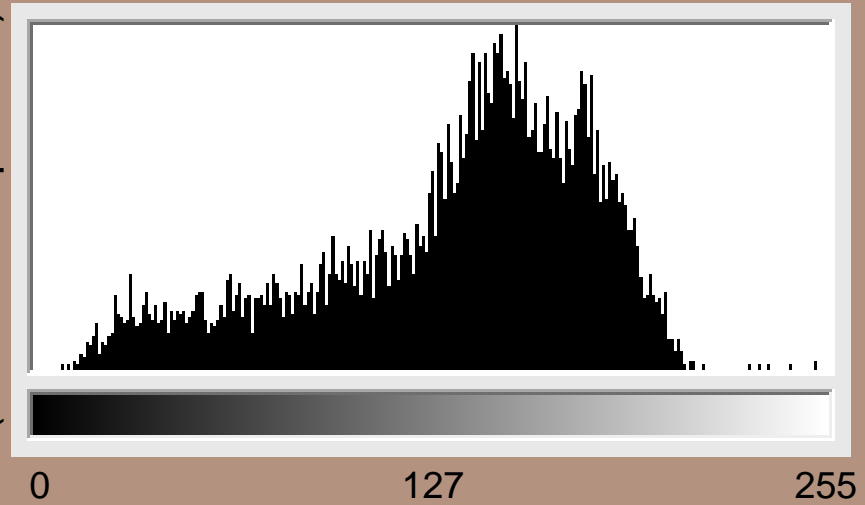
$$R(x,y) := f(A, x, y)$$

Tipos de operaciones. Histogramas.

- Para comprender el significado de muchas transformaciones y saber cuál conviene aplicar se usan histogramas.
- ¿Qué es un histograma? → Repasar estadística...
- Un **histograma** representa gráficamente una distribución de frecuencias.
- **Histograma de una imagen:** representa las frecuencias de los diferentes valores de gris en la imagen.



Frecuencia
(número de píxeles)



Nivel de gris

Tipos de operaciones. Histogramas.

- **Algoritmo.** Cálculo de un histograma.
- **Entrada.** A: imagen de ancho x alto
- **Salida.** Histograma: array [0,...,255] de entero
- **Algoritmo:**

Histograma[]:= 0

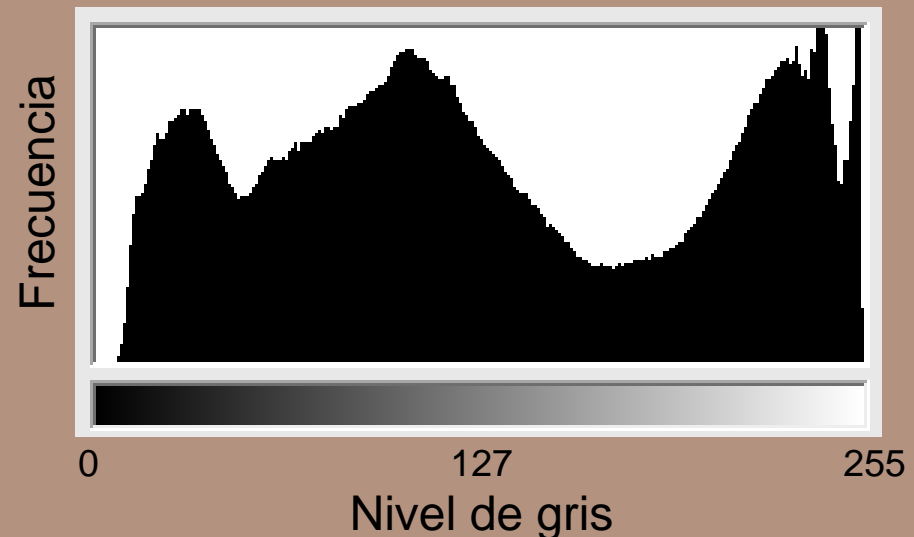
para y:= 0, ..., alto-1 **hacer**

para x:= 0, ..., ancho-1 **hacer**

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

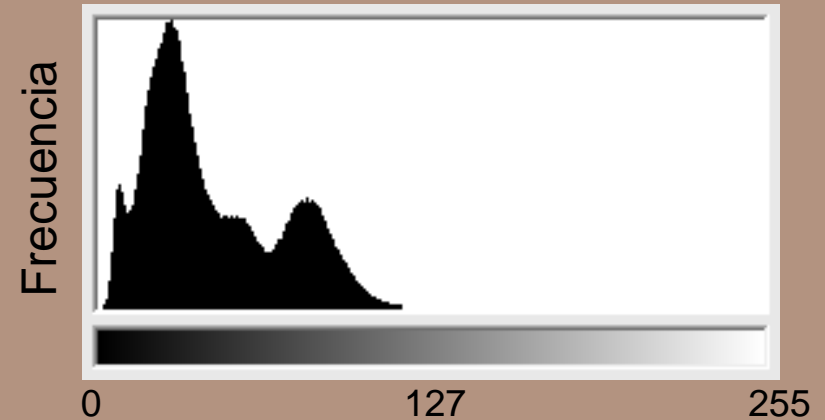
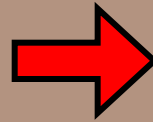
Tipos de operaciones. Histogramas.

- 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).
- En principio, una buena imagen debe producir un **histograma** más o menos **uniforme** y repartido en todo el rango de valores.

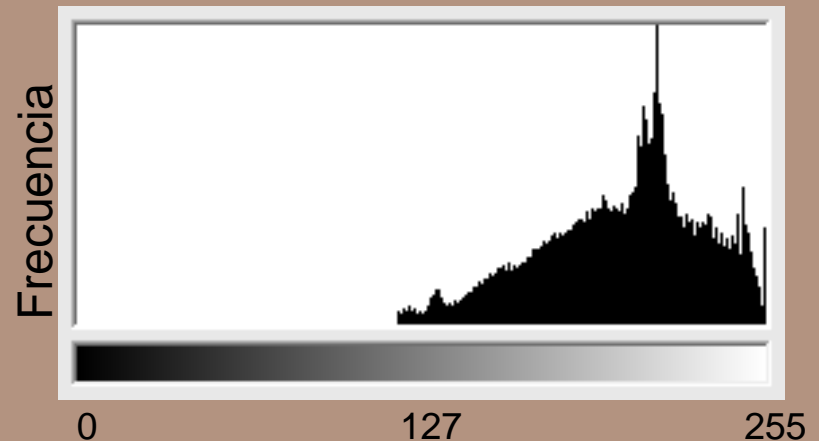
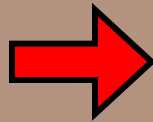


Tipos de operaciones. Histogramas.

- **Ejemplo 1.** La imagen es muy oscura. Falta luz.

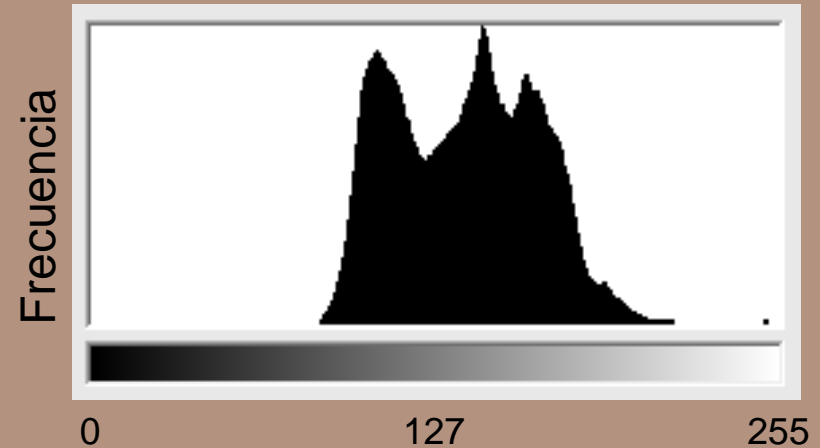
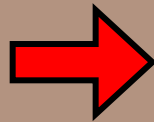


- **Ejemplo 2.** La imagen es muy clara. Sobra brillo.

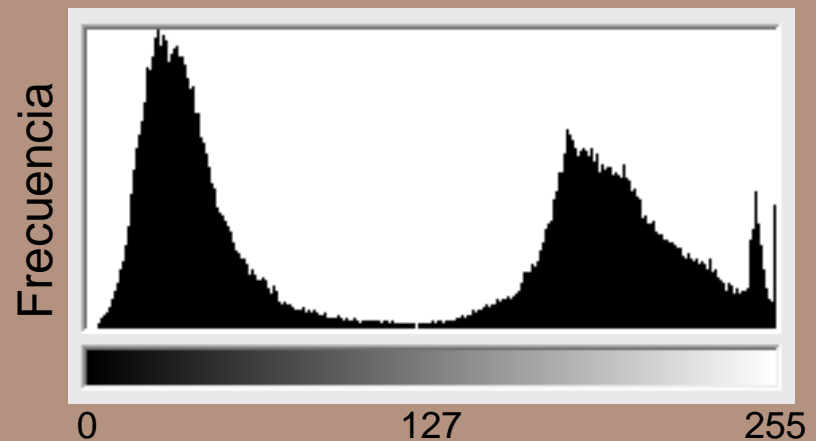
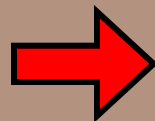


Tipos de operaciones. Histogramas.

- **Ejemplo 3.** La imagen tiene poco contraste.



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

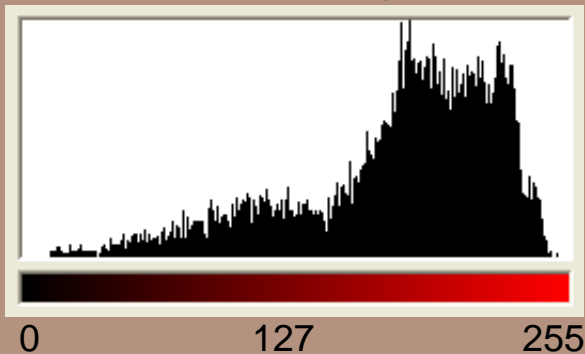


Tipos de operaciones. Histogramas.

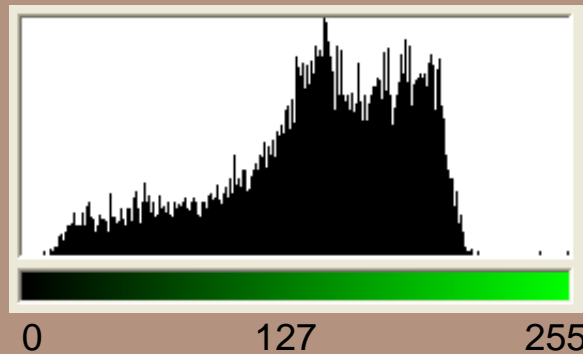
- **Histogramas de color.** En imágenes multicanal podemos obtener un histograma de cada canal por separado.



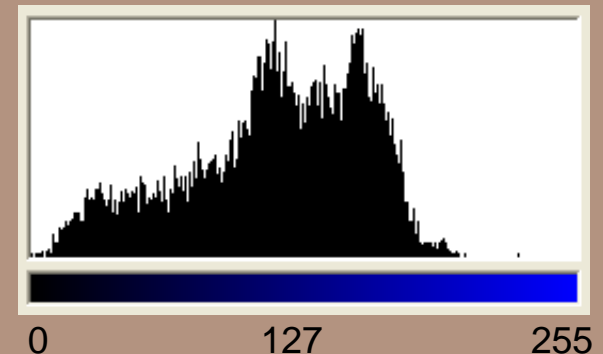
Canal Rojo



Canal Verde

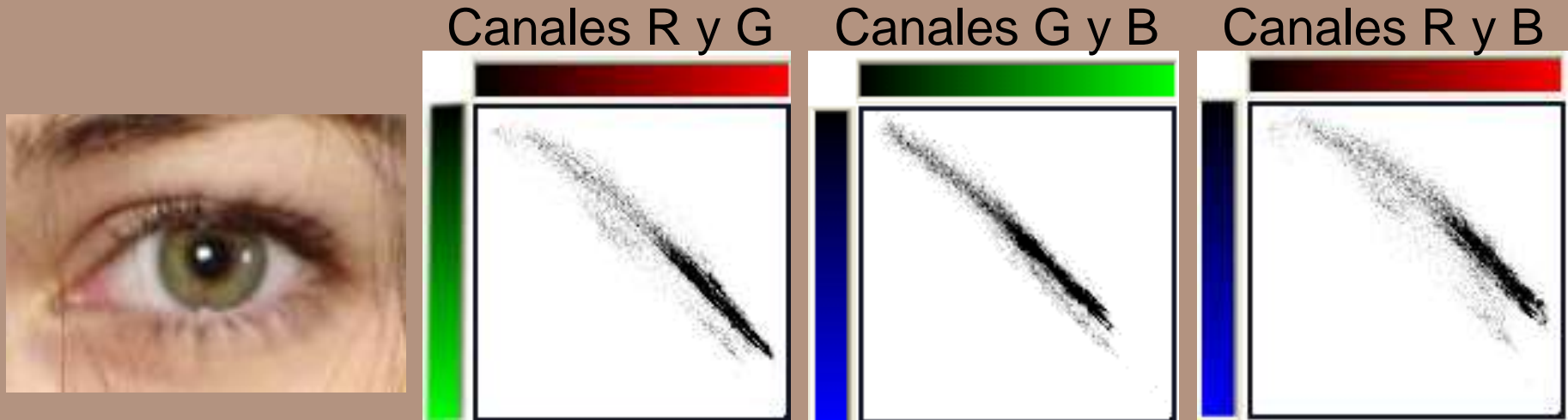


Canal Azul



Tipos de operaciones. Histogramas.

- O, también, podemos calcular histogramas conjuntos, en 2 ó 3 dimensiones.

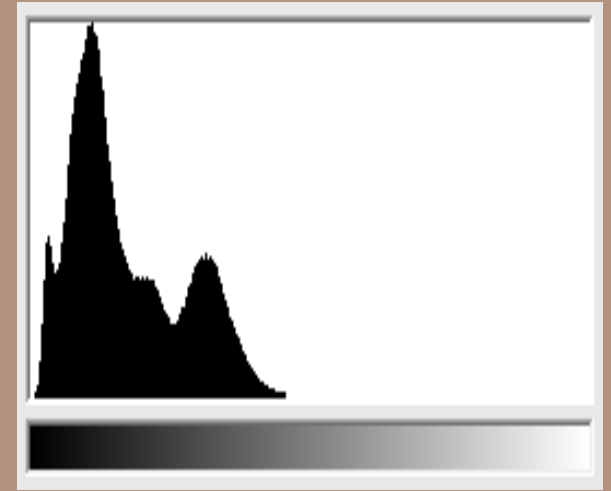


- Estos histogramas aportan información sobre los rangos de **colores más frecuentes** en la imagen.
- En teoría, el histograma es de 256x256 celdas (*bins*).
- Pero, para obtener buenos resultados, mejor usar un **número reducido de celdas**. Por ejemplo 64x64 ó 32x32.

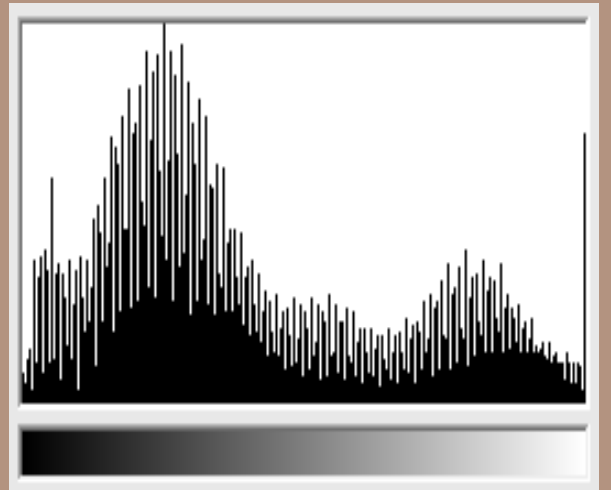
Tipos de operaciones. Histogramas.

- 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 elementales con píxeles.

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

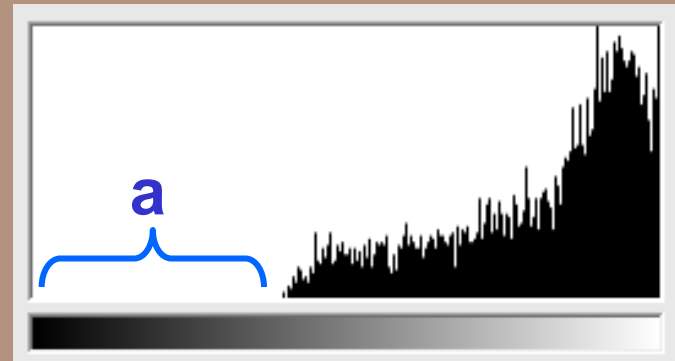
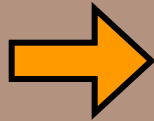
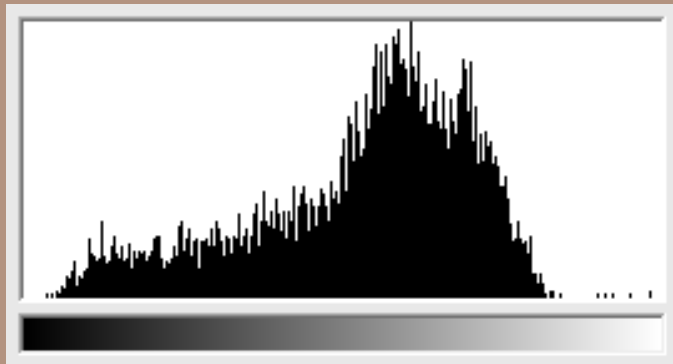
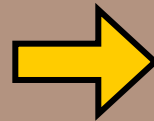
Operaciones unarias:

- Sumar una constante: $R(x, y) := A(x, y) + a$
- Restar una constante: $R(x, y) := A(x, y) - a$
- Multiplicar por una constante: $R(x, y) := b \cdot A(x, y)$
- Dividir por una constante: $R(x, y) := A(x, y) / b$
- Transformación lineal genérica: $R(x, y) := bA(x, y) + a$
- Transformación de gama: $R(x, y) := A(x, y)^c$
- Cualquier función $\mathbf{N} \rightarrow \mathbf{N}$: $R(x, y) := f(A(x, y))$

Operaciones elementales con píxeles.

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.



Operaciones elementales con píxeles.

- **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 $R(x, y) := A(x, y) + a$
- Esto se debe hacer también en las demás operaciones, comprobando si el valor es <0 ó >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

Operaciones elementales con píxeles.

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

$$R(x, y).R := A(x, y).R + a \quad R(x, y).G := A(x, y).G + a$$

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

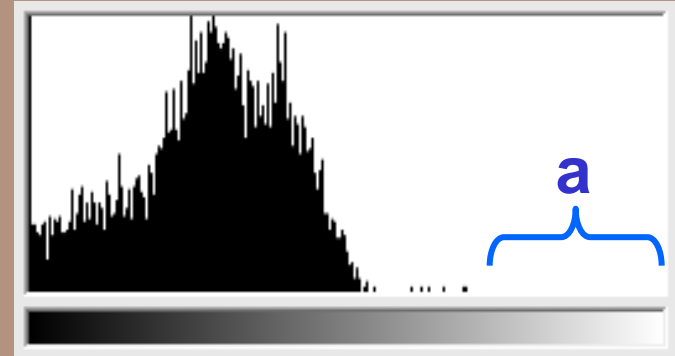
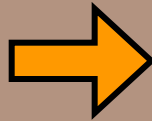
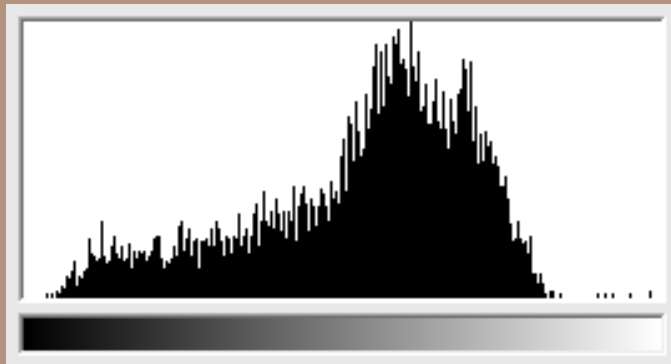
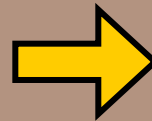


- ¿Qué ocurre si se suma un valor distinto a cada canal?

Operaciones elementales con píxeles.

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

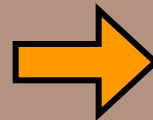
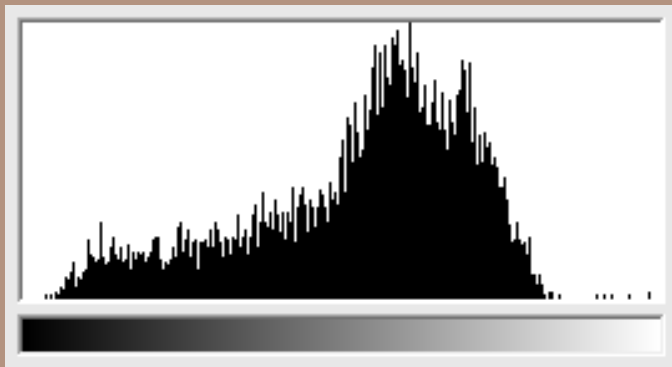
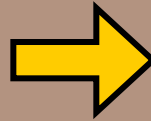
- **Significado:** decrementar el brillo de la imagen en la cantidad indicada en **a**.
- El histograma se desplaza a la izquierda en **a** píxeles.



Operaciones elementales con 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.

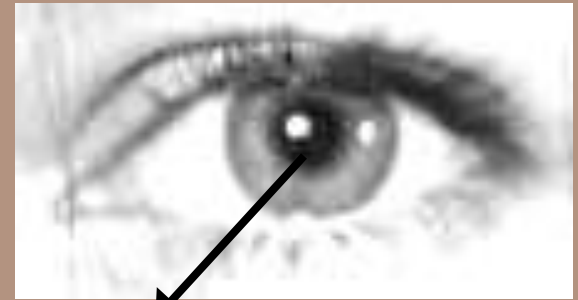
- Tanto en la suma como en la multiplicación, se aumenta el nivel de gris de los píxeles, pero de forma distinta.
 - **En la suma**, el parámetro **a** (entero) indica el número de niveles de gris a aumentar: de -255 a 255.
 - **En el producto**, el parámetro **b** (real) indica el factor a multiplicar.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

Suma



$$0 + a$$

Multiplicación



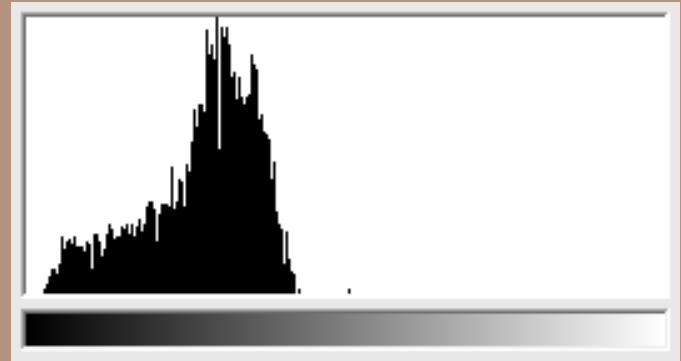
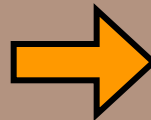
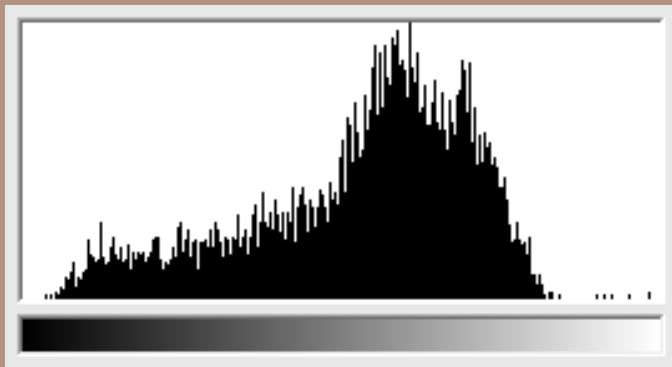
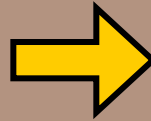
$$0 * b$$

Operaciones elementales con píxeles.

Dividir por una constante: $R(x, y) := A(x, y) / b$

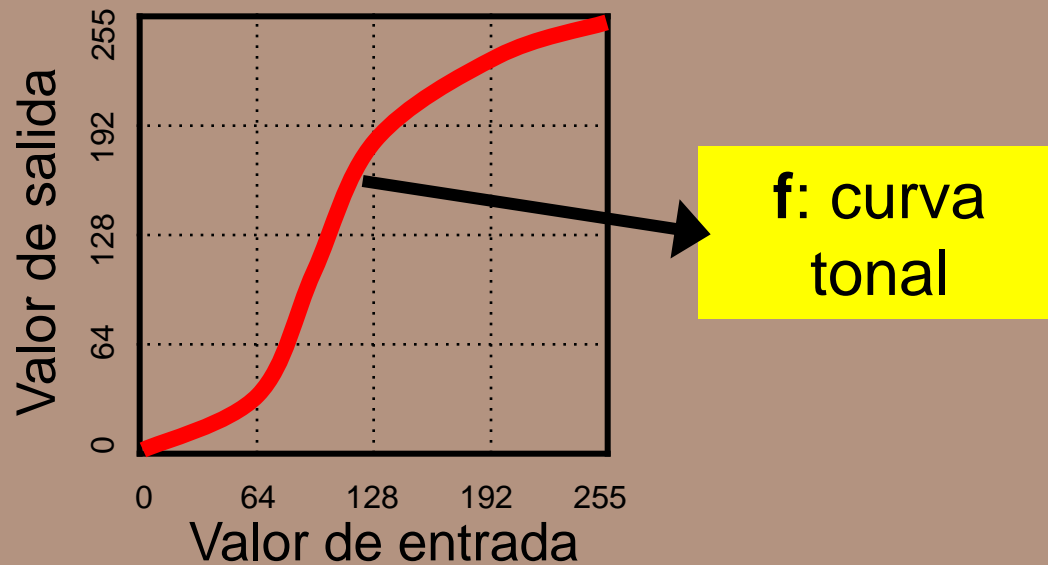
= Multiplicar por $1/b$... ¡obviamente!

- El histograma se “encoge”.



Transformaciones del histograma.

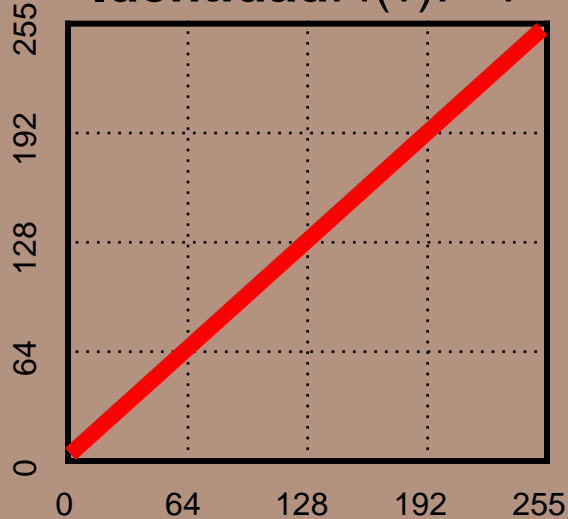
- Las transformaciones elementales se pueden ver como **funciones** $f: N \rightarrow N$.
- **Interpretación:** para cada valor de gris de entrada hay un valor de salida.



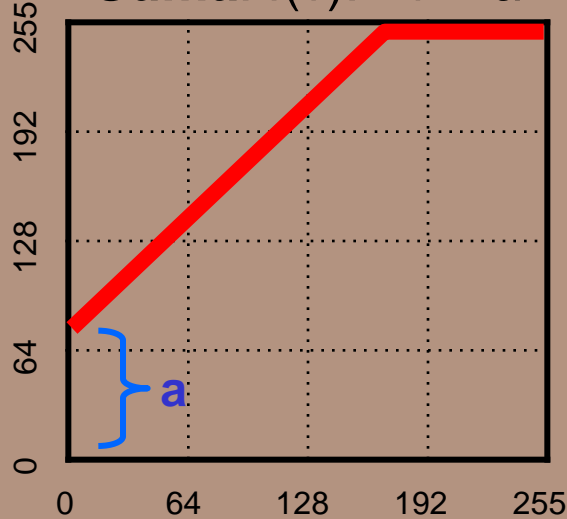
- Se puede usar cualquier función f .
- La transformación hace que se modifique el histograma.

Transformaciones del histograma.

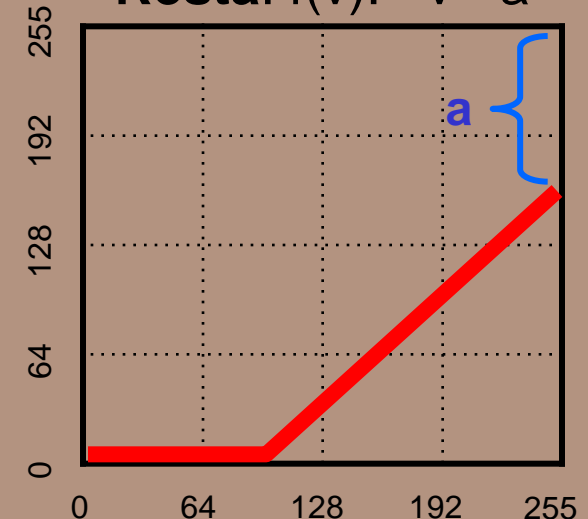
Identidad: $f(v) := v$



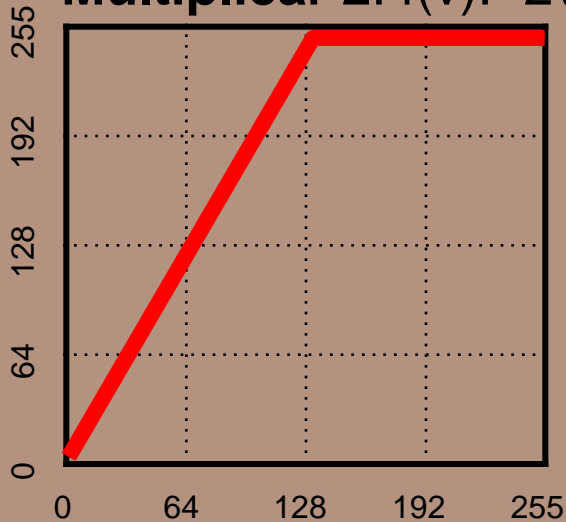
Suma: $f(v) := v + a$



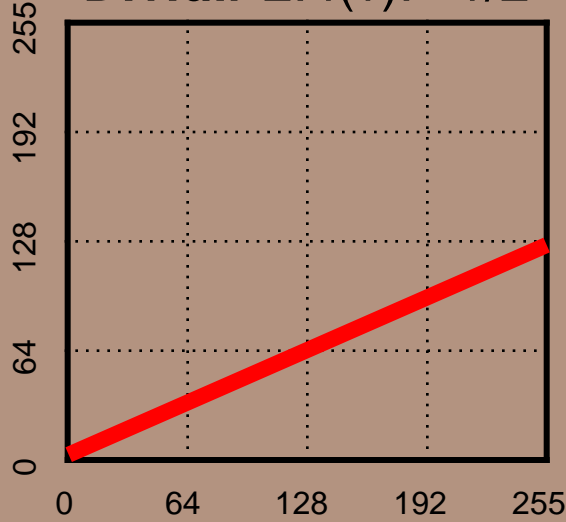
Resta: $f(v) := v - a$



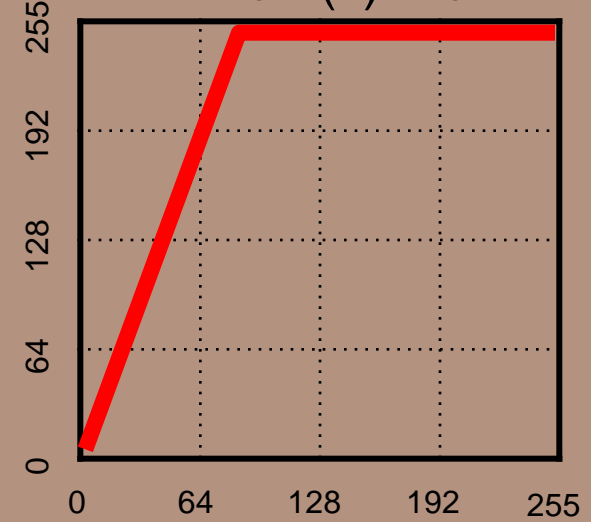
Multiplicar 2: $f(v) := 2v$



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

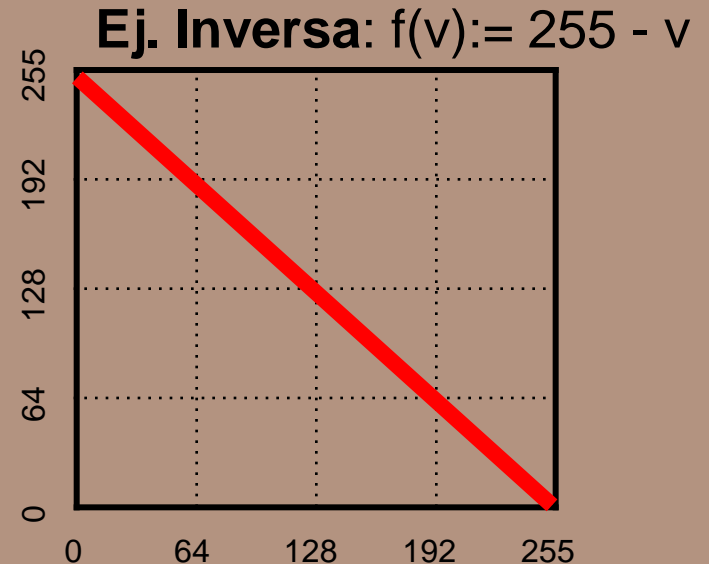


Por 3: $f(v) := 3v$



Transformaciones del histograma.

- En general, podemos definir una **transformación lineal genérica** de la forma:
 $f(v) := b \cdot v + a$

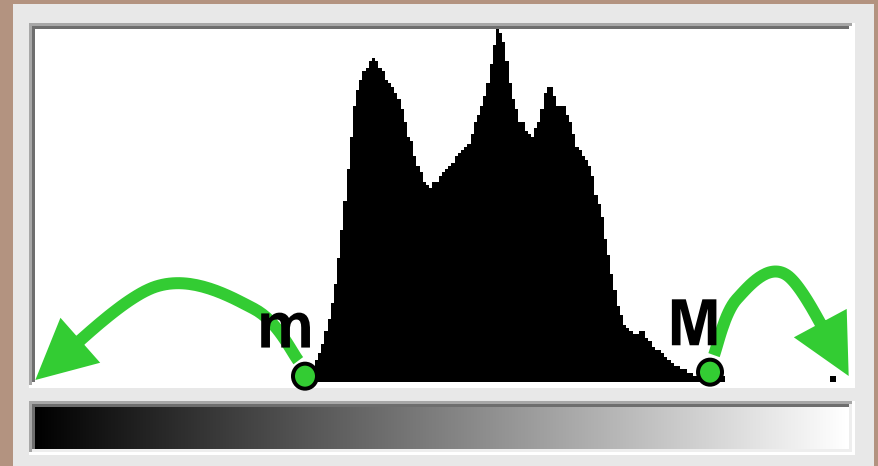


- Pero la transformación también puede ser **no lineal**: cuadrática, polinomial, exponencial, logarítmica, escalonada, etc.
- ¿Cómo decidir cuál es la transformación más adecuada? → Usar el histograma.

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**
 - $f(v) := (v-m)*255/(M-m)$

Nota: Esto es una simple regla de 3



Transformaciones del histograma.

A



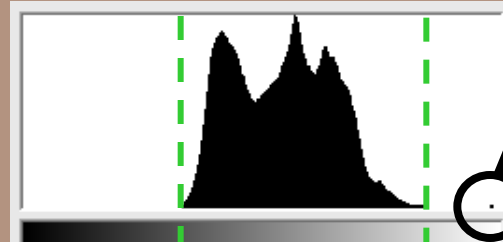
Para imágenes en color, se aplica la misma función a los tres canales (R,G,B)

R

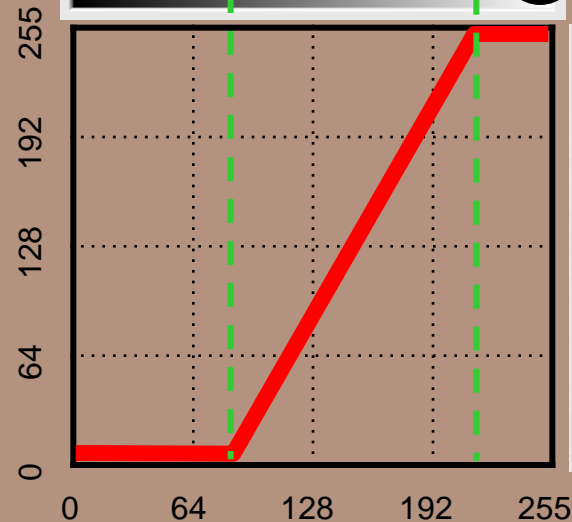


- **Ejemplo.** $m = 86$, $M = 214$
 $R(x,y) := (A(x,y) - 86) * 1,99$

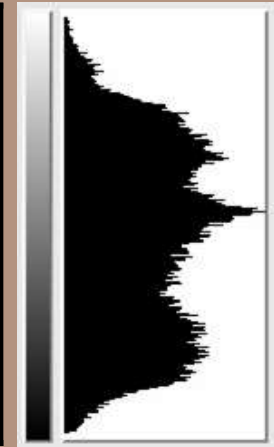
Histograma de A



Ojo: no necesariamente “el máximo”



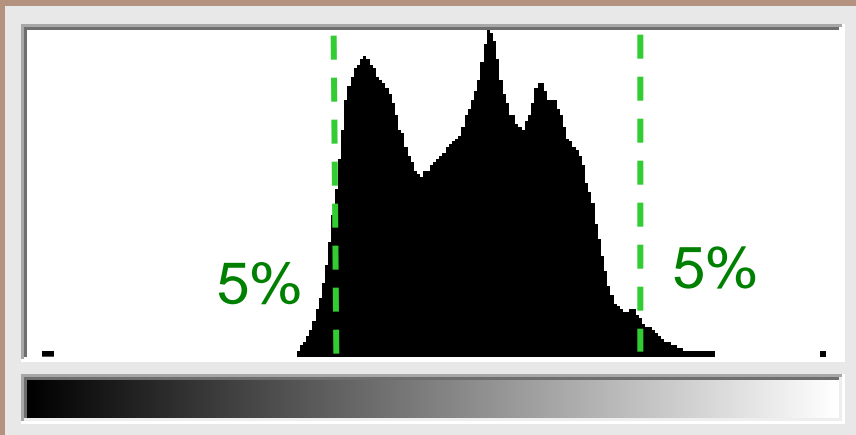
Histograma de R



Transformaciones del histograma.

- **Cuidado:** un simple píxel con valor muy alto o muy bajo puede hacer que el ajuste del histograma 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%, ó 5%-95%).

Histograma de A



Transformaciones del histograma.

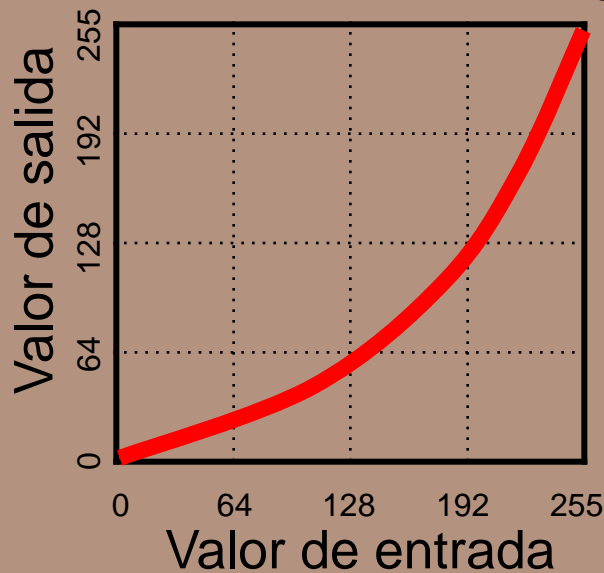
- Más ejemplos de estiramiento lineal del histograma.



Transformaciones del histograma.

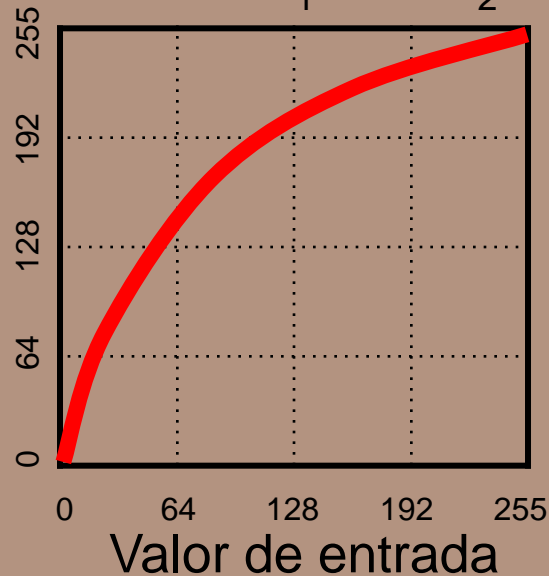
- La transformación de histograma puede tomar cualquier forma (no necesariamente lineal).
- Ejemplos.

Parábola: $c_1v^2 + c_2v + c_3$



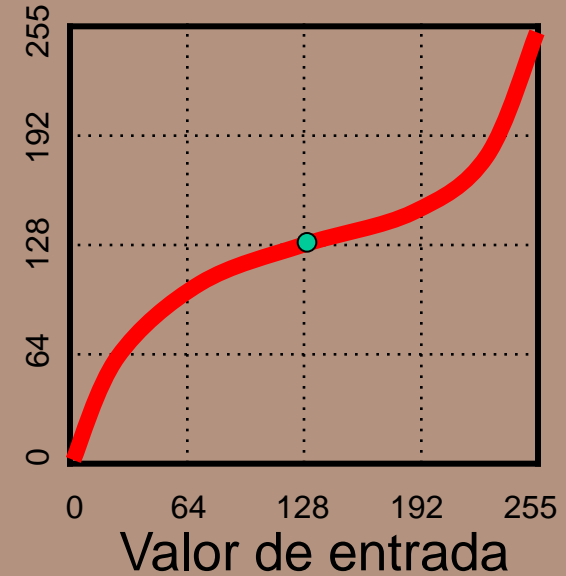
Resultado: oscurecer los medios tonos.

Raíz: $c_1v^{0.5} + c_2$



Resultado: aclarar los medios tonos.

Dos trozos de curva (parábola y raíz)

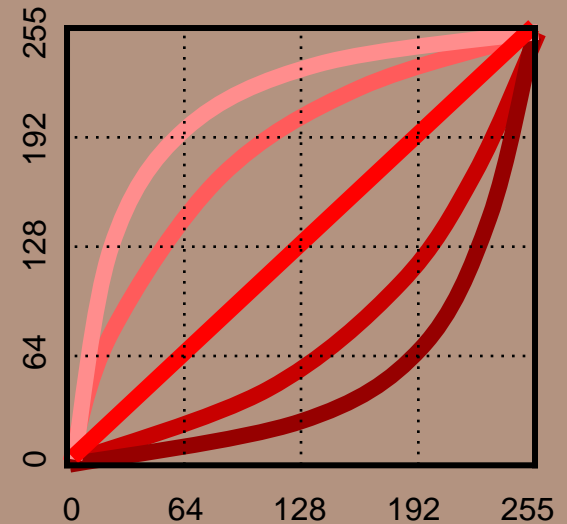


Resultado: aclarar tonos oscuros y oscurecer los claros.

Transformaciones del histograma.

- Elevar a 2, elevar a 1/2, ...
- Se define la **transformación de gama** como:

$$f(v) := 255 \cdot (v/255)^{1/GAMA}$$



Gama 0,5



Gama 0,75



Gama 1



Gama 2



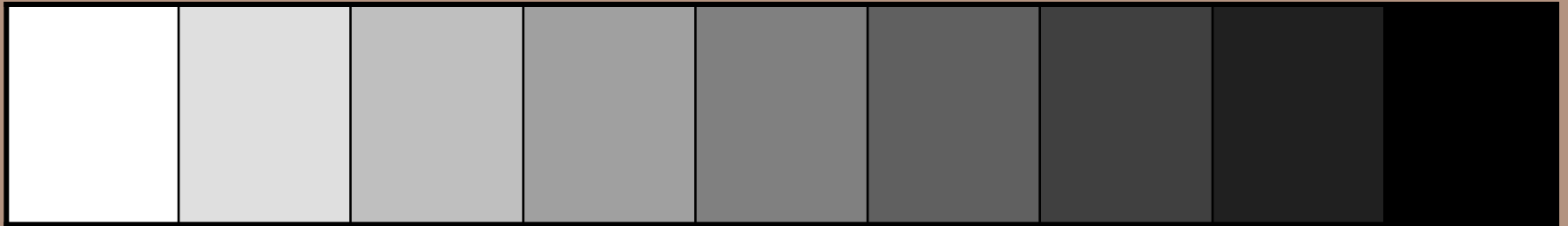
Gama 4

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, $Gama = 1$.

Blanco

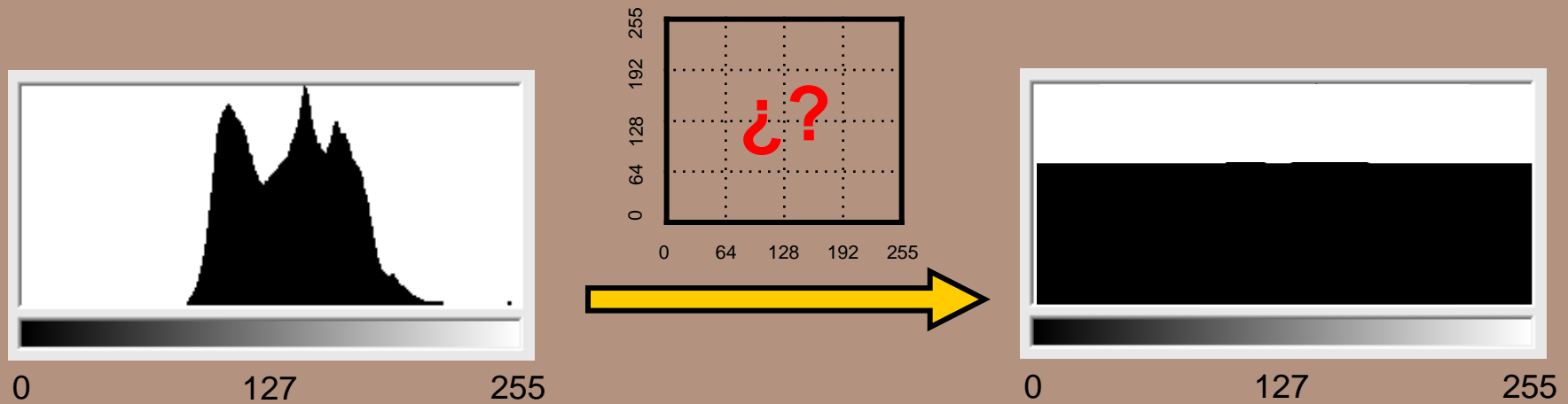
Negro



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

Transformaciones del histograma.

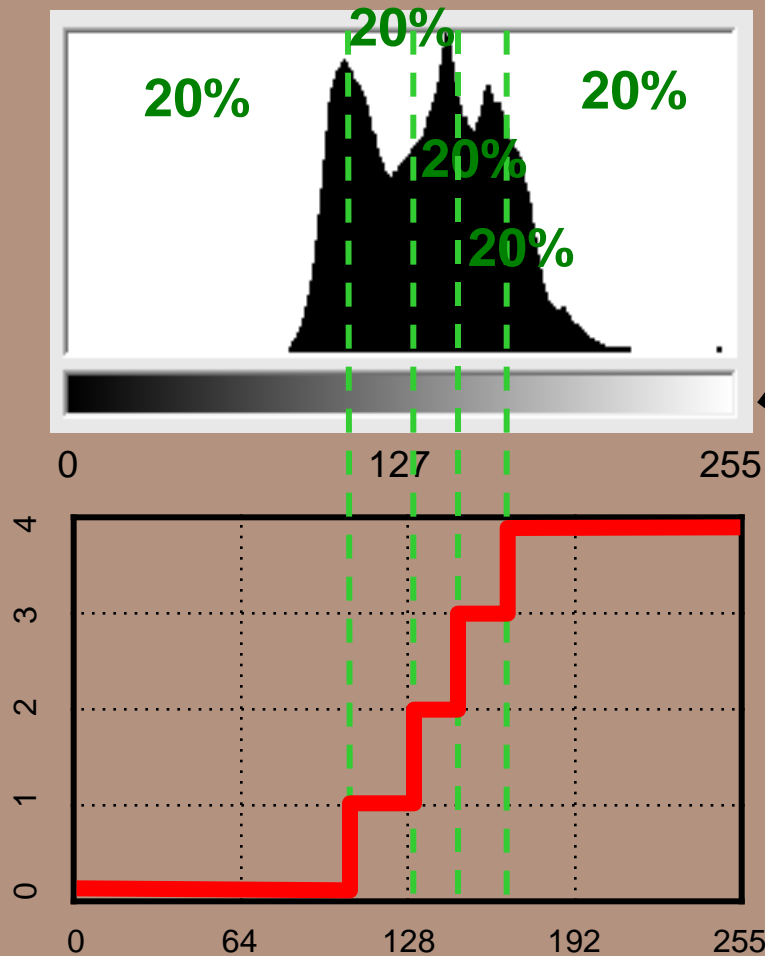
- Otra transformación habitual es la ecualización del histograma (del latín *aequalis* = igual).
- **Ecualización del histograma:** es una transformación definida de forma que el histograma resultante se reparte uniformemente en todo el rango de grises.



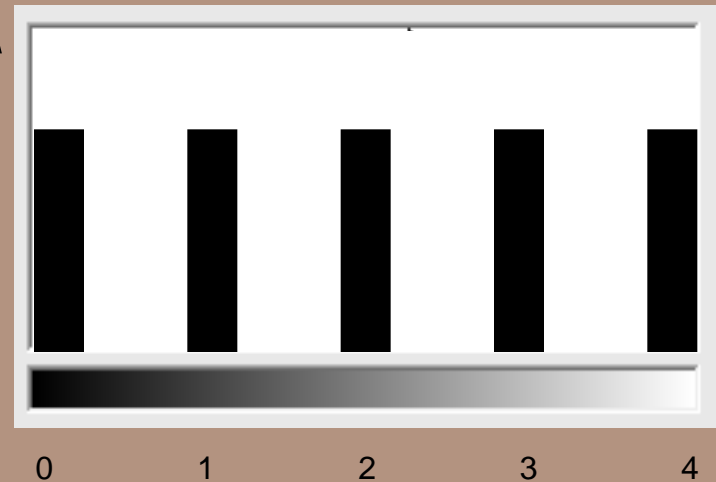
- En este caso se usa una función escalonada:
f: array [0..255] de byte

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.** Cálculo de la función de ecualización del histograma.
- **Entrada.** Histograma: array $[0, \dots, 255]$ de entero
np: entero (número total de píxeles = $m_x * m_y$)
- **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]

finpara

f[255]:= 255

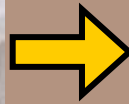
La función de ecualización es la **integral del histograma**, escalada por el factor 255/np.

Transformaciones del histograma.

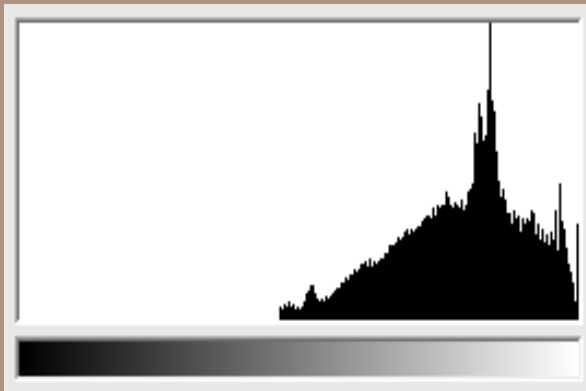
Imagen de entrada (A)



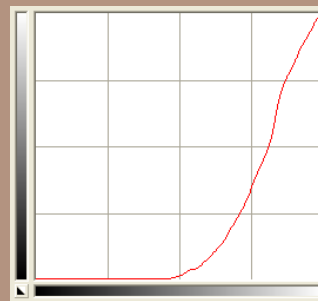
Imagen ecualizada (R)



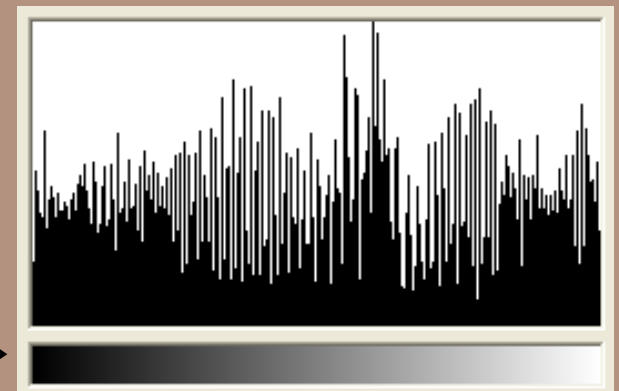
Histograma de A



Función f



Histograma de R



Transformaciones del histograma.

- Ejemplos. Ecualización del histograma.



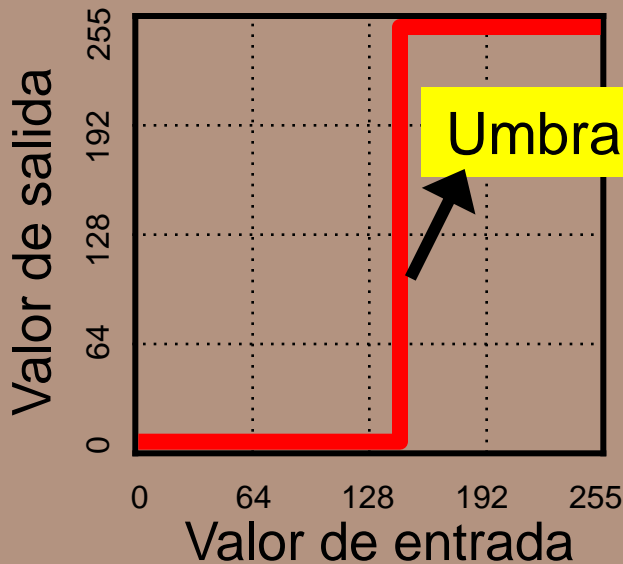
Cada canal (R,G,B)
es ecualizado por
separado



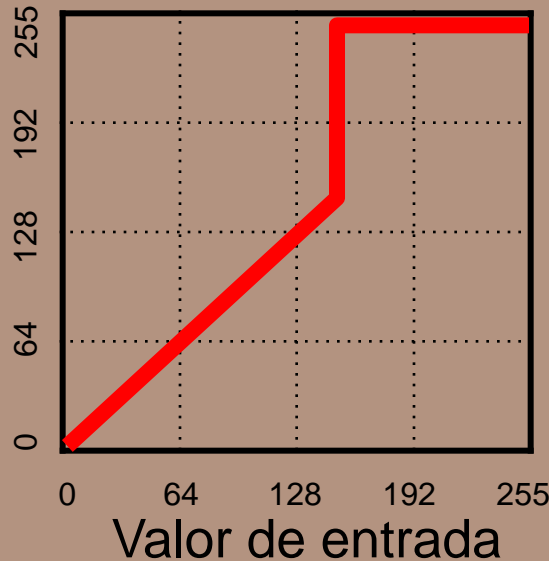
- Cuidado, en algunos casos los resultados pueden ser *artificiosos*.

Transformaciones del histograma.

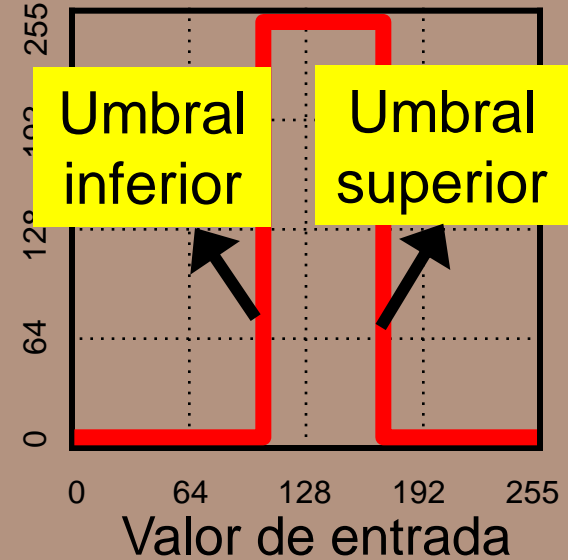
- **Umbralización de imágenes.** En algunas aplicaciones puede ser interesante convertir la imagen en binaria, o recortar cierto rango de valores.
- Las funciones tienen las siguientes formas:



Umbralizar la imagen con valor cte.



Cortar un rango y mantener el resto



Seleccionar un rango

Transformaciones del histograma.

- Las funciones serán del estilo:

$f(v) := \text{si } v > \text{umbral1 entonces } g(v)$
 $\text{sino } h(v)$

- Transformación de binarización** (saturar a 0 ó 255).

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

- Ejemplo 1.** La binarización se suele aplicar en OCR.

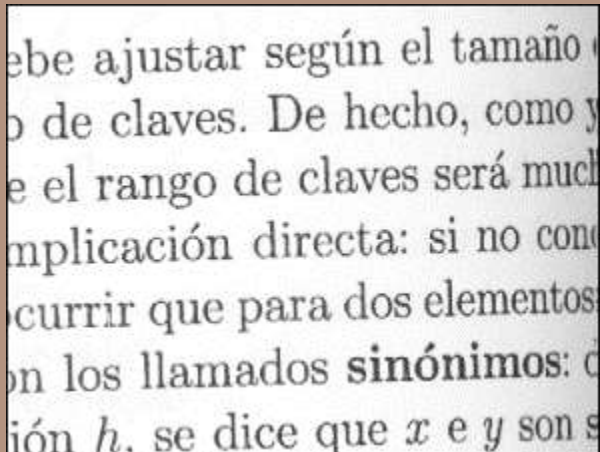
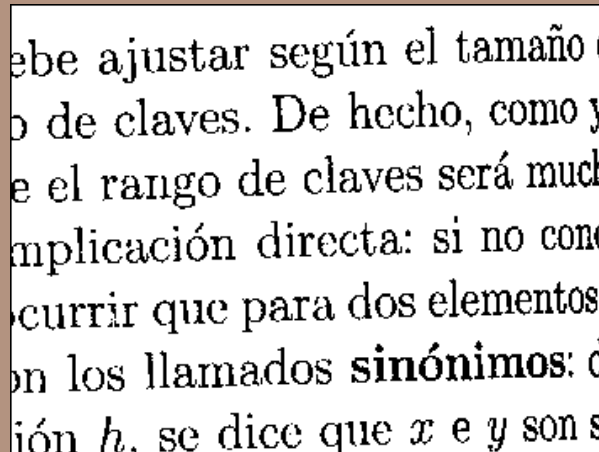
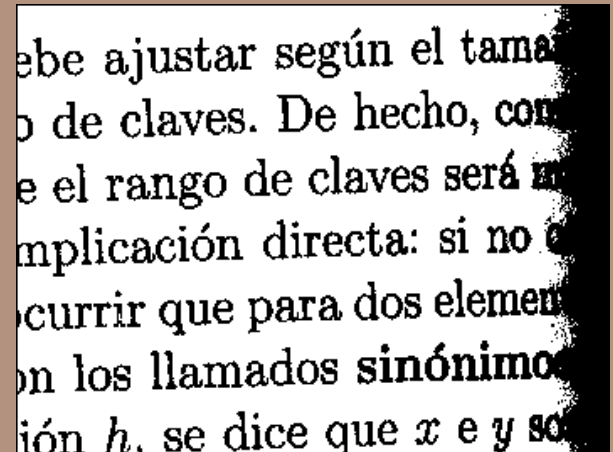


Imagen de entrada
(256 grises)



Umbral = 160



Umbral = 215

Transformaciones del histograma.

- Ejemplo 2. Segmentación de objetos.

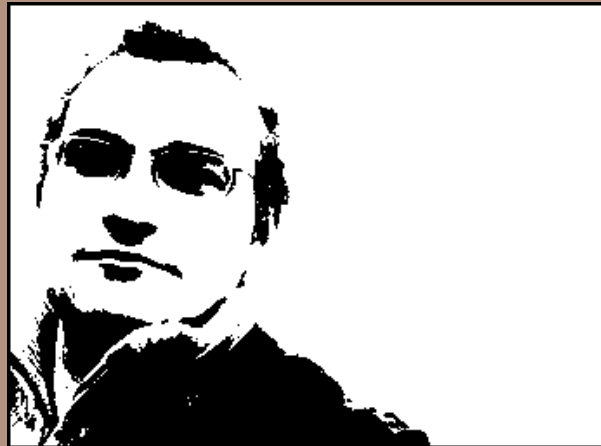


Imagen de entrada

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.

Conclusiones:

- 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.