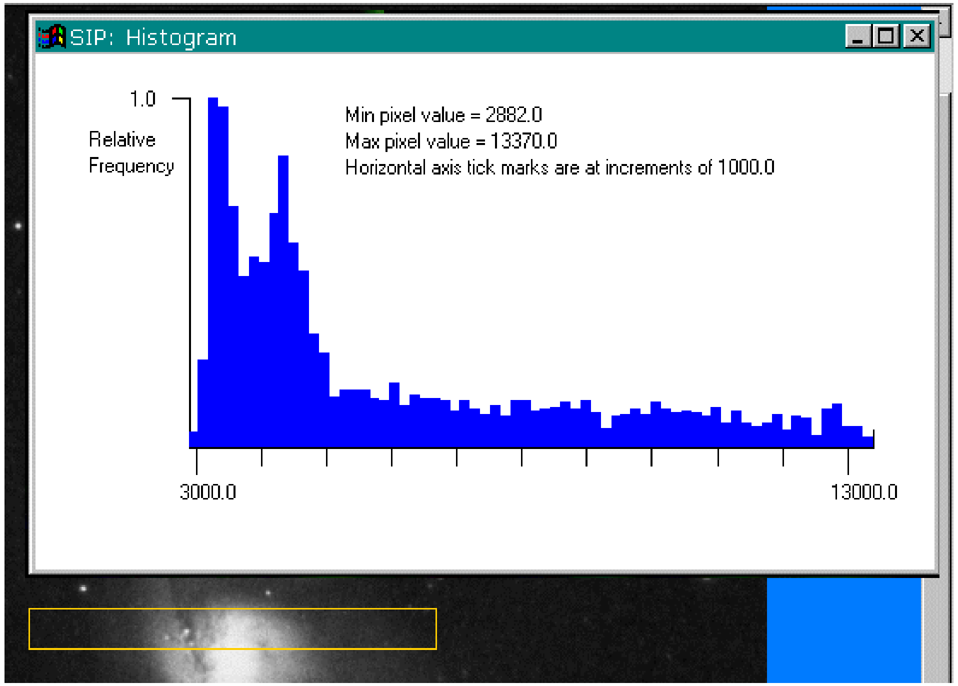


Preprocesado

de la Imagen

M. G. Penedo

Indice

Preprocesado

- **Preprocesado**: operaciones sobre imágenes que se realizan previamente a la extracción de propiedades o características de la imagen

- La entrada y salida de este tipo de procesos son imágenes de intensidad (matemáticamente matrices)

- El preprocesado nunca incrementa el contenido de información de la imagen

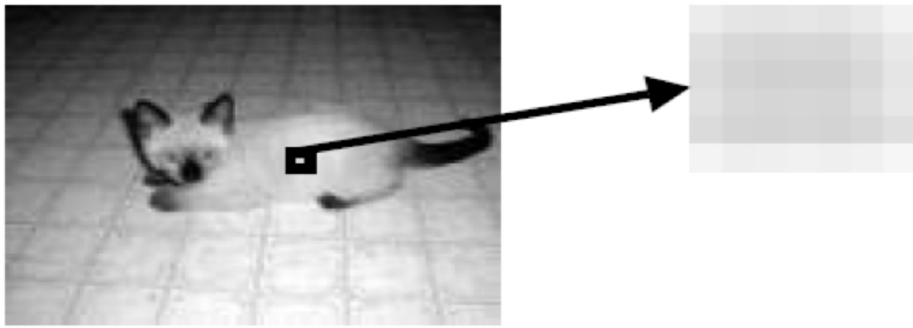
- **Objetivos**:

    - suprimir distorsiones no deseadas
    - realzar algunas propiedades importantes para futuros procesados

Dependencia Espacial

Los métodos de preprocesado de imagen hacen uso de la **considerable redundancia** existente en las imágenes

Los píxeles vecinos correspondientes a un objeto de una imagen tienen, esencialmente, el mismo valor de nivel de gris (o muy similar)



Píxeles distorsionados se pueden restaurar sustituyéndolos por una media de sus píxeles vecinos

Conocimiento A Priori

Dado que el preprocesado intenta corregir las degradaciones de la imagen, la naturaleza del conocimiento a priori que se disponga es muy importante

- Conocimiento sobre propiedades generales de la naturaleza de la degradación
- Conocimiento sobre propiedades de los dispositivos de captura y de las condiciones en las que se obtuvieron las imágenes (especialmente el ruido)
- Conocimiento sobre los objetos que se buscan en la imagen (si no se dispone inicialmente, puede estimarse iterativamente durante el procesado)

Tipos de Preprocesado

- Transformaciones puntuales en el Nivel de Gris de los píxeles (Histograma)
- Transformaciones Geométricas
- Métodos de Vecindad Local
- Operaciones Morfológicas

Transformaciones por Nivel de Gris

Se **modifica el Nivel de Gris original** de los píxeles

La transformación a realizar **sólo depende de las propiedades individuales** del píxel

Dos clases de transformaciones:

- Corrección del Nivel de Gris
- Modificación de la Escala de Grises

Corrección del Nivel de Gris

Se modifica el Nivel de Gris del píxel, teniendo en cuenta su **valor original** y su **posición** en la imagen

Idealmente, la sensitividad de los dispositivos de adquisición no depende de la posición en la imagen, pero esta asunción no es válida en algunos casos (desigual sensitividad de los sensores luminosos, desigual iluminación de los objetos, ...)

Si la **degradación introducida es sistemática**, el cambio entre la función de transferencia ideal (identidad) y la función real se puede modelar por un **coeficiente multiplicativo de error e(i,j)**

$$f(i, j) = e(i, j)\, g(i, j)$$

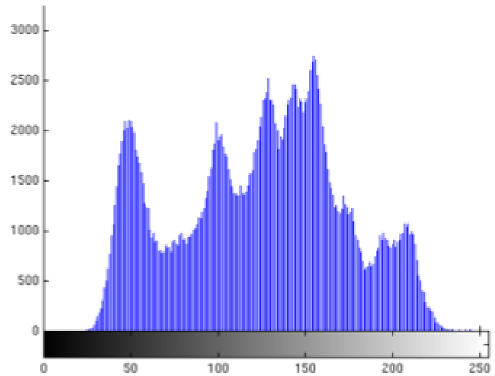
Imagen degradada

Imagen deseada

Es necesario conocer la función e(i,j).
Necesario un **proceso de calibración**

Modificaciones Escala de Gris

- Se basan en la transformación del histograma de la imagen
- El Histograma de una Imagen es una aproximación a su distribución de probabilidad de los niveles de gris
  - Expresa la frecuencia relativa de los niveles de gris de la imagen

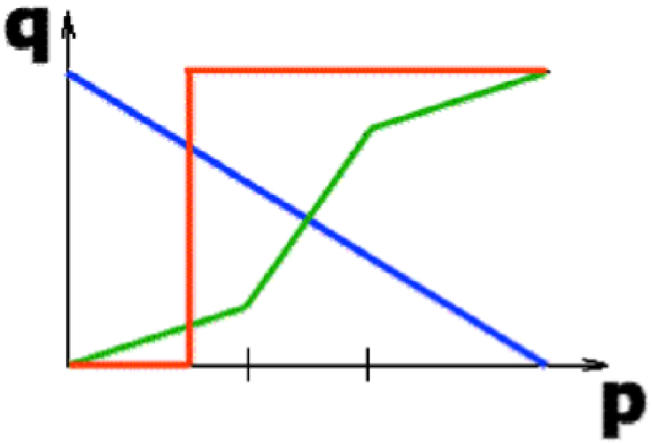


- Se puede manipular el histograma con el objetivo de mejorar algunas características de las imágenes

- Las transformaciones en la escala de grises no dependen de la posición del píxel en la imagen
- Una transformación T de la escala de grises original $p = [p_0, p_k]$ en la escala $q = [q_0, q_k]$ viene dada por

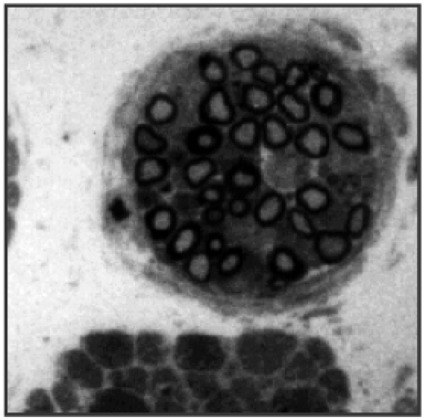
$$q = T(p)$$

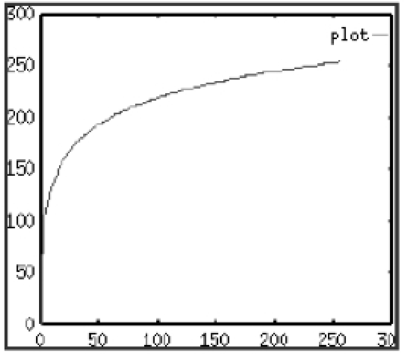
- La transformación T puede ser vista como una función de transferencia de los niveles de gris

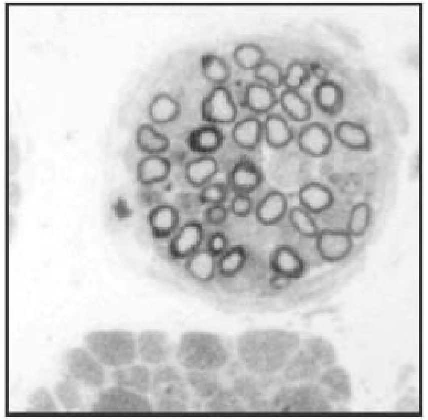


Ejemplos: Función Logarítmica

- Aumenta contraste en zonas oscuras

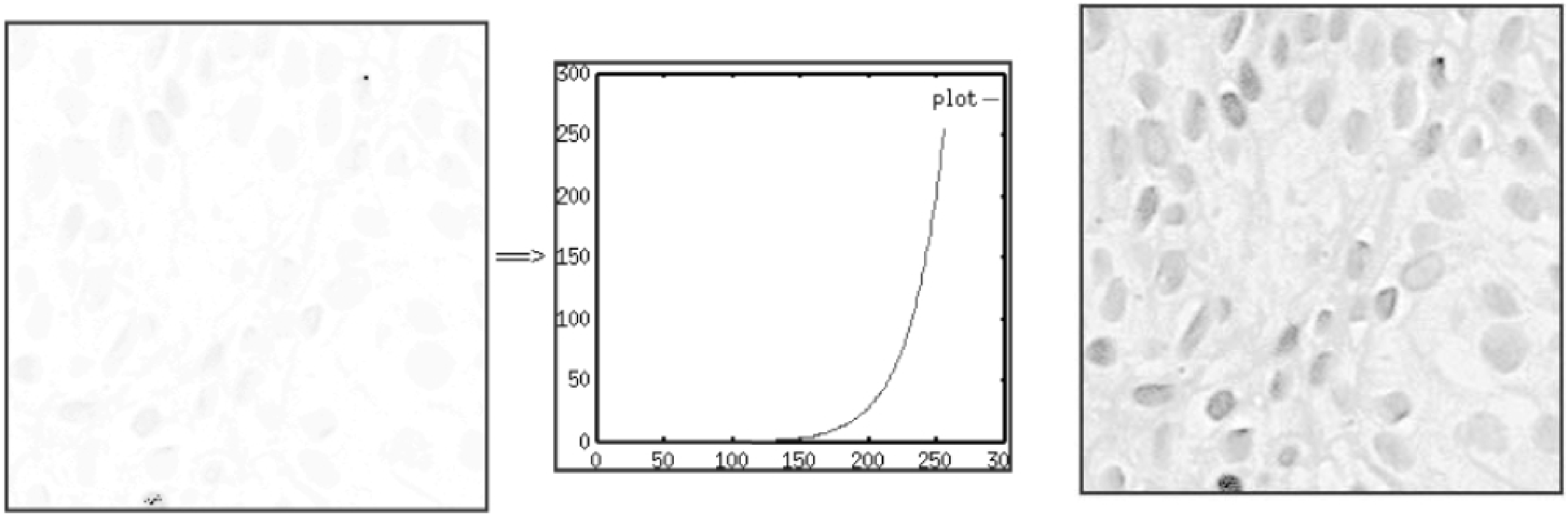






Función Exponencial

- Aumenta contraste en zonas claras



Función Umbral (Umbralización)

- Imagen en escala de grises $\Rightarrow$ Imagen binaria.

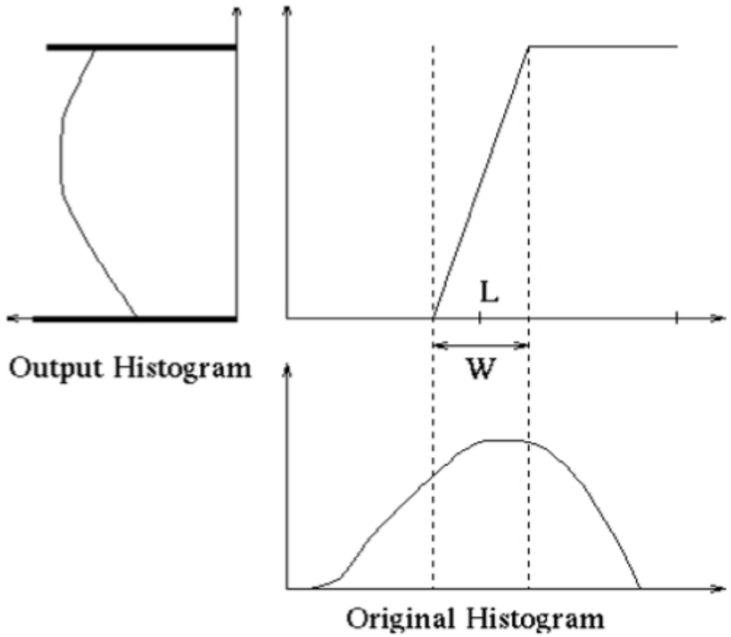

- **Utilidad:** eliminar partes irrelevantes de una imagen.
- **Problema:** selección de umbral. A partir del histograma.
- **Variante:** Umbralización multi-nivel.

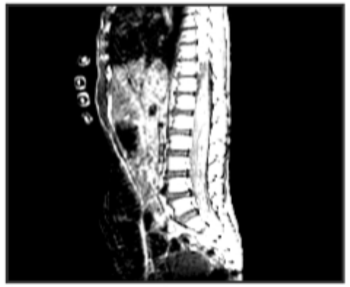
Función Inversión

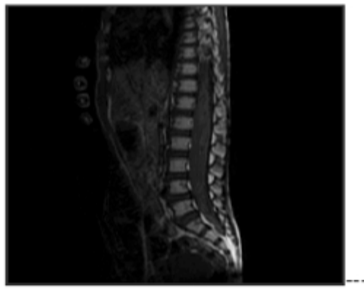
- Modificar los niveles de gris de la imagen: $g_{inv}(x, y) = 256 - g(x, y)$.

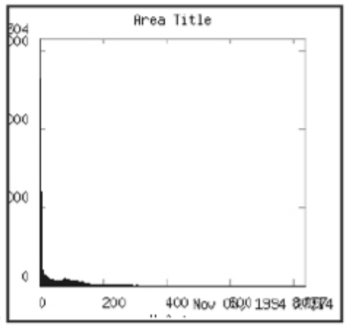
Window Level Contrast Enhancement

- **Window-Level Contrast Enhancement:** Consiste en una modificación del contraste entorno a un cierto nivel de gris
- Parámetros: nivel de gris central (L) y tamaño de ventana (W)





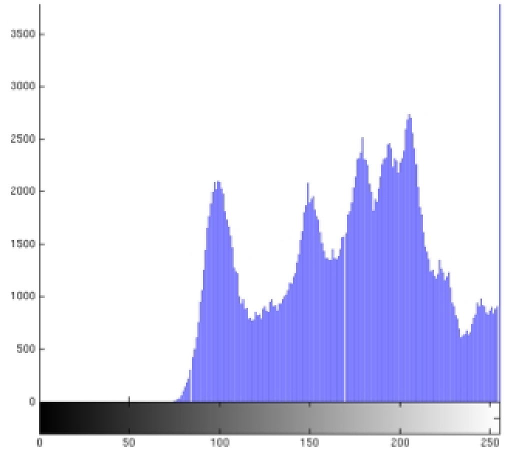




Desplazamiento de Histograma

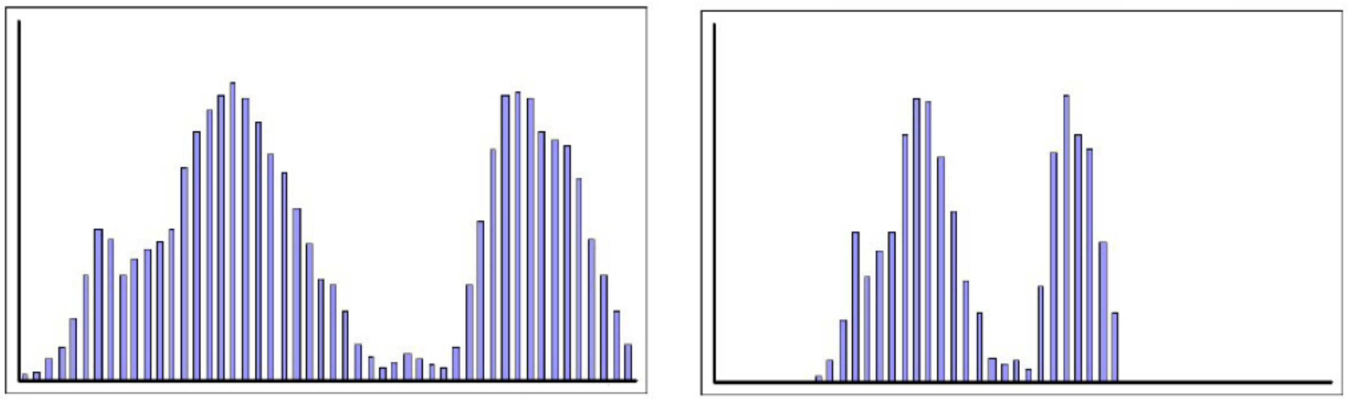
- **Desplazamiento del histograma**
  - Permite aclarar u oscurecer la imagen.
  - $g_{desp}(x, y) = g(x, y) + DES$





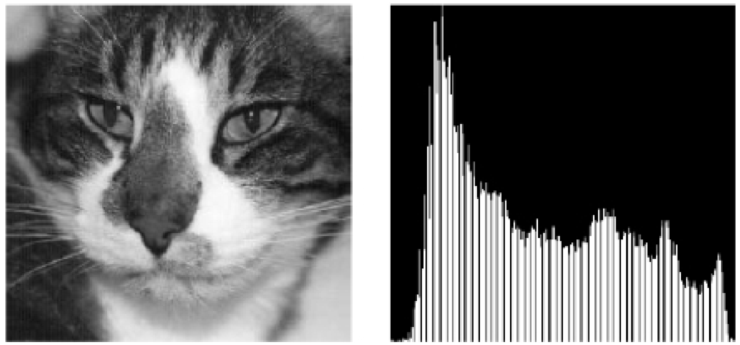
Modificación del Rango Dinámico

- Definida por el intervalo de histograma donde la imagen contiene píxels
  $g_{norm}(x,y) = G_{minNorm} + \frac{(G_{maxNorm} - G_{minNorm}) \times (g(x,y) - G_{min})}{G_{max} - G_{min}}$
  - Al **contraer** el histograma se disminuye el rango dinámico de la distribución de niveles de gris de la imagen
  - Al **expandir** se aumenta el rango dinámico, expandiendo los niveles de gris de la imagen a un intervalo mayor del histograma



- Ejemplos

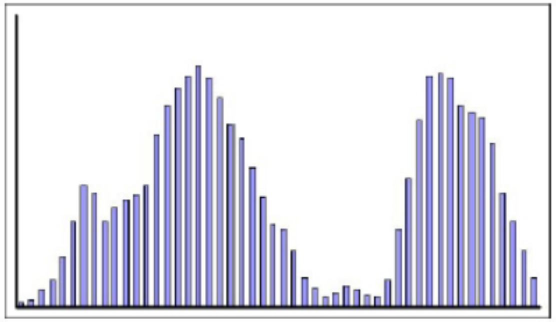
Compresión a 100-200

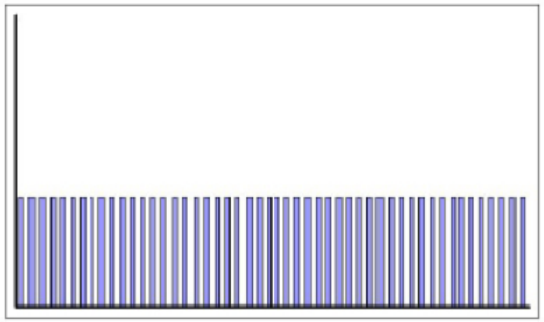


Expansión a 0-255

Ecualización del Histograma

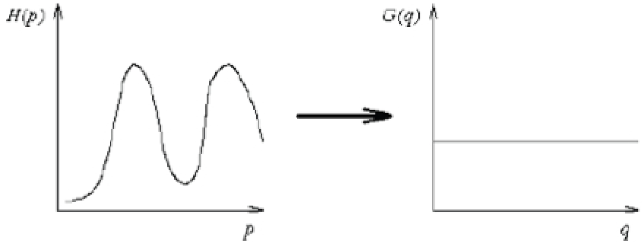
- Transformación a nivel de gris que pretende obtener un histograma con distribución homogénea a lo largo de la escala de grises
- Encontrar una transformación de niveles de gris que permita crear una salida con distribución cercana a uniforme
- Útil cuando diferentes estructuras de la imagen se encuentran muy cercanas en nivel de gris





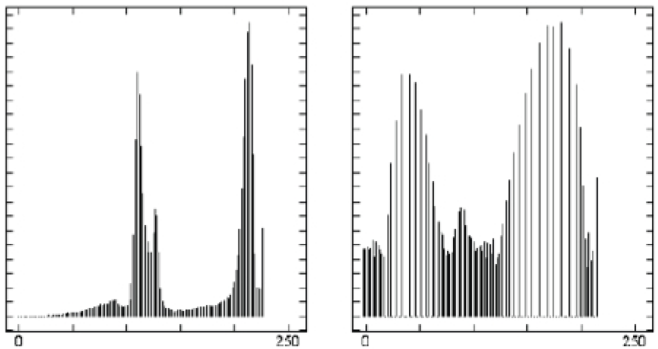
- Función de transformación T: $g_{eq} = T(g)$
  - T ha de ser monótona creciente
  - T ha de estar en el mismo rango que g
- El histograma acumulado H_c se usa generalmente para definir T. Se normaliza al espacio $[0, 255]$
- Siendo $H(g)$ el histograma de la imagen g, $H_c(g) = \sum_{i=0}^{g} H(g)$
- Siendo $M \times N$ las dimensiones de la imagen, T se define como:
  $T(g) = \frac{H_c(g)}{MN} \times 255$

- No es una ecualización ideal
    - Eficiente
    - Invertible



input output

Ideal case



input output

Real case

Ejemplo: Ecualización

Ejemplo:

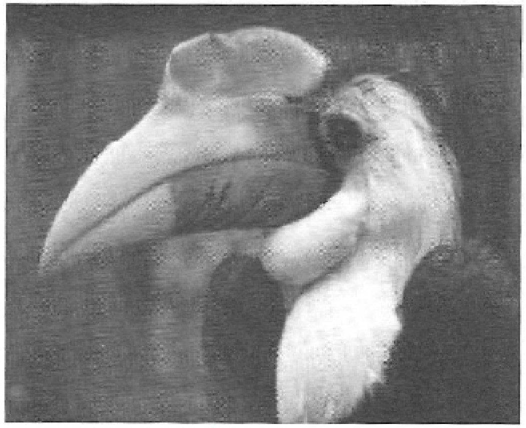


Imagen original

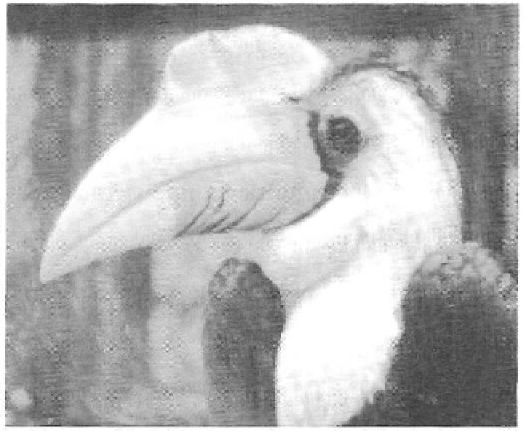
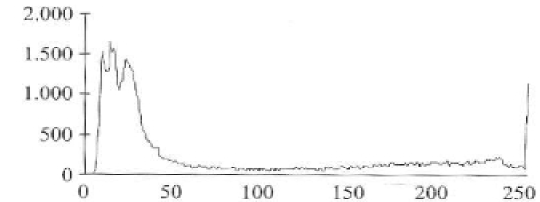
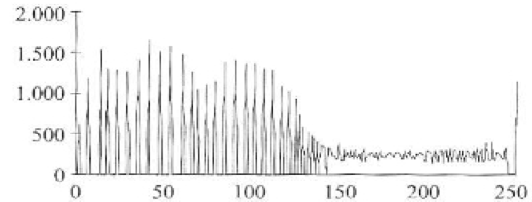


Imagen resultante

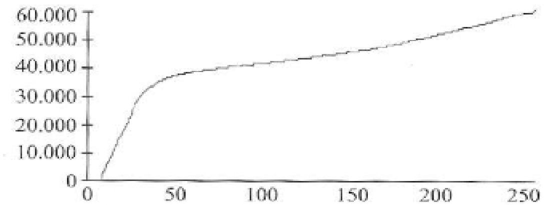
Histograma:

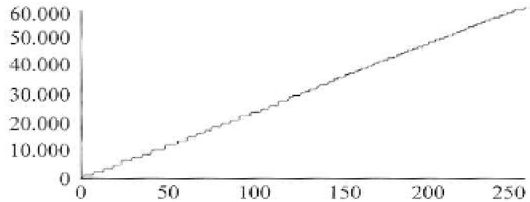




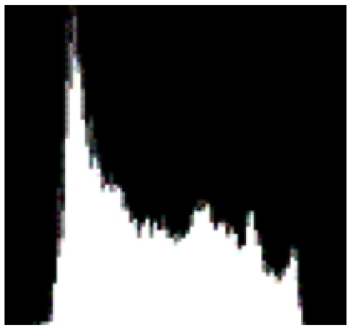
Histograma

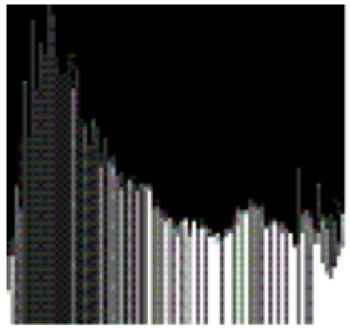
Acumulado:

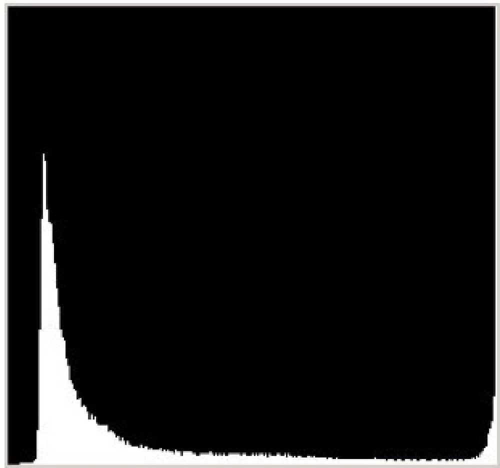


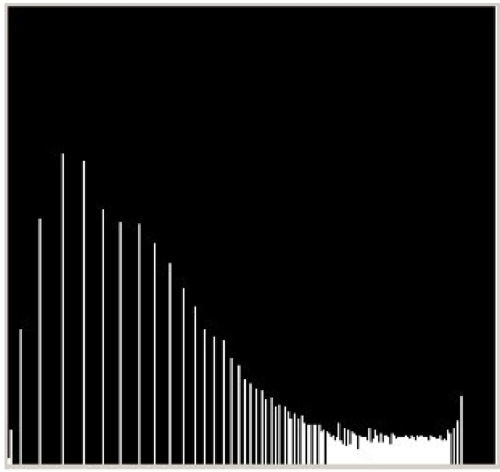


Ejemplo: Ecualización



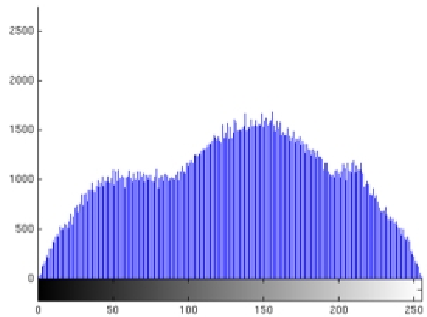






Control Adaptativo de Contraste

- Se puede ver como una técnica de modificación de histograma en donde se aplica a bloques de la imagen en vez de en su totalidad.
- Depende estadísticas locales y globales
- $g_{adapt} = K_1 * \left|\frac{\mu_{local}}{\sigma_{local}}\right|(g(x,y) - \mu_{global}) + K_2\mu_{global}$



Ecualización Adaptativa de Histograma

Mientras que las ecualizaciones globales puende ser útiles, en algunas imágenes es útil utilizar la ecualización en diferentes regiones de la imágen.

(a) (b) (c)

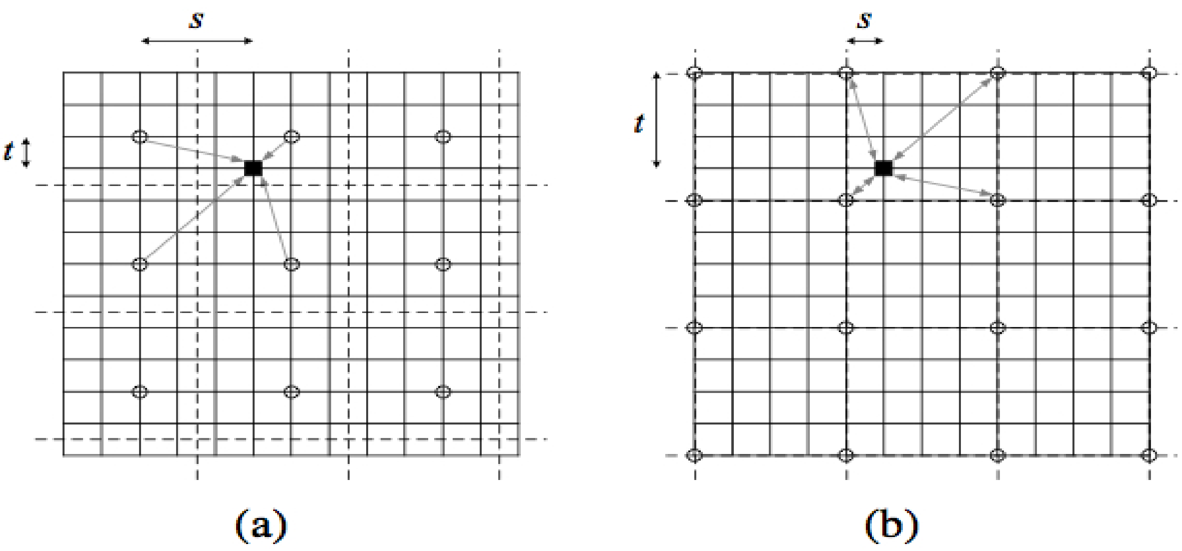
b) procesamiento local c) procesamiento global

Problema: Artefactos y problemas de continuidad en las fronteras de los bloques

Solución: Desplazamiento de una ventana para cada píxel (complejidad NxN)

Otras Aproximaciones..

Block-based histogramas y Corner-based "spline" historamas



$$f_{s,t}(I) = (1-s)(1-t)f_{00}(I) + s(1-t)f_{10}(I) + (1-s)tf_{01}(I) + stf_{11}(I)$$

Transformaciones Geométricas

Las transformaciones Geométricas ***modifican la relación espacial entre píxeles***. En términos del procesamiento de imágenes digitales una transformación geométrica consiste de dos operaciones básicas:

1. Una ***transformación espacial*** que define la reubicación de los píxeles en el plano imagen.

2. ***Interpolación de los niveles de grises***, los cuales tienen que ver con la asignación de los valores de intensidad de los píxeles en la imagen transformada.

En términos Matemáticos las transformaciones afines son las más usadas en imágenes digitales 2 D por su representación y manejo matricial

Transformaciones

Una Transformación afín es aquella (transformación) en la que las coordenadas (x' y') del punto imagen son expresadas linealmente en términos de las del punto original (x, y)

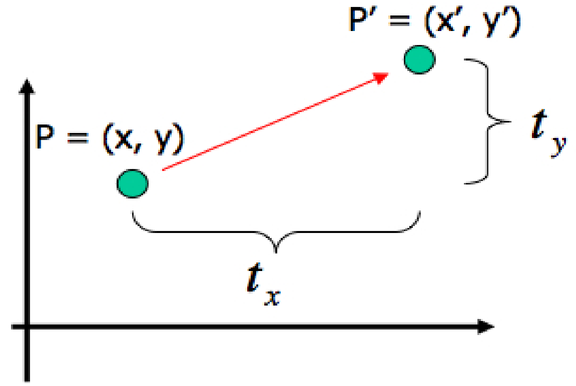
Es decir, la transformación viene dada por las ecuaciones:

$$x' = ax + by + m$$
$$y' = cx + dy + n$$

Traslación

- Reposiciona un objeto desplazándolo a las nuevas coordenadas

$$\begin{cases} x' = x + t_x \\ y' = y + t_y \end{cases}$$

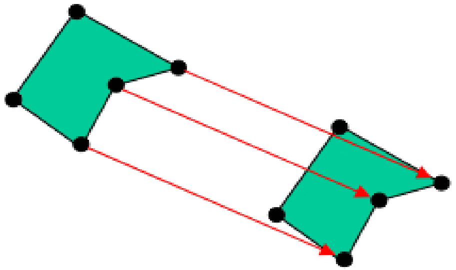


- En forma matricial:

$$P = (x, y) \qquad P' = (x', y') \qquad T = (t_x, t_y)$$

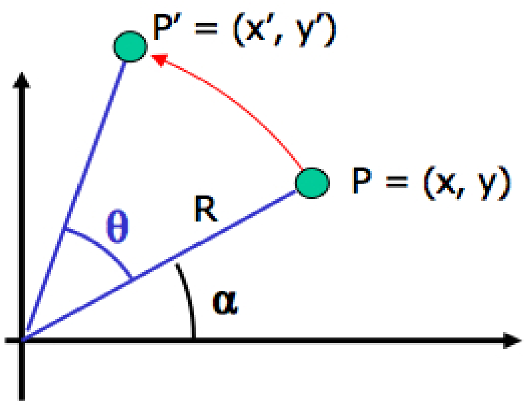
$$\boxed{P' = P + T}$$

- Es una transformación rígida → el objeto no se deforma
- Para trasladar líneas rectas trasladamos sólo sus extremos
- Para trasladar polígonos, trasladamos sólo sus vértices y redibujamos



Rotación con respecto al origen

- La posición de un punto es rotada alrededor del origen de coordenadas
- ¿Cómo sacamos la fórmula para obtener P' a partir de P y del ángulo?



- Solución: expresándolo en polares

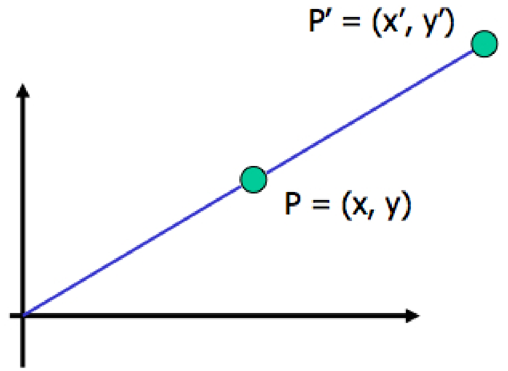
$$\begin{cases} x = R\cos\alpha \\ y = R\sin\alpha \end{cases} \qquad \begin{cases} x' = R\cos(\alpha+\theta) = \ldots = x\cos\theta - y\sin\theta \\ y' = R\sin(\alpha+\theta) = \ldots = x\sin\theta + y\cos\theta \end{cases}$$

- En forma matricial:

$$P = (x, y) \qquad P' = (x', y') \qquad R = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$$

$$\boxed{P' = P \cdot R}$$

Escalado con respecto al origen



- La posición del punto se multiplica por una constante
- Hay que especificar dos factores de escala, s_x y s_y

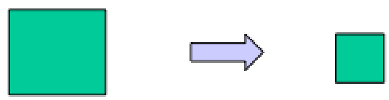
$$\begin{cases} x' = s_x x \\ y' = s_y y \end{cases}$$

- En forma matricial:

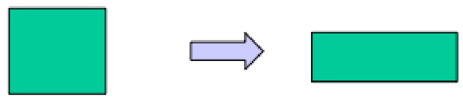
$$P = (x, y) \qquad P' = (x', y') \qquad S = \begin{pmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{pmatrix} \qquad \boxed{P' = P \cdot S}$$

- Según el valor del factor de escala s:
  - Si s > 1 → aumento de tamaño
  - Si s==1 → no cambia de tamaño
  - Si s < 1 → disminución de tamaño

- Si $s_x == s_y$ → escalado uniforme



- Si $s_x != s_y$ → escalado diferencial



Representación matricial

- Muchas aplicaciones incluyen secuencias de transformaciones geométricas:
  - Una animación requiere que los objetos se trasladen y roten en cada fotograma
  - Un diseño CAD requiere muchas transformaciones hasta obtener el resultado final
- Debemos formular de forma muy eficiente toda la secuencia de transformaciones
- Cada transformación puede representarse como $P' = P\ M_1 + M_2$
- La matriz M_1 contiene la información de ángulos y factores de escala
- La matriz M_2 contiene los términos de traslación asociados al punto fijo y al centro de rotación
- Para producir una secuencia de transformaciones hay que calcular las nuevas coordenadas en cada transformación!

$$P'' = P'\ M_3 + M_4 = \ldots = P\ M_1\ M_3 + M_2\ M_3 + M_4$$

- Buscamos una solución más eficiente que permita combinar las transformaciones para obtener directamente las coordenadas finales a partir de las iniciales

Coordenadas homogéneas

- ¿Cómo podríamos eliminar la matriz M_2, y usar una única matriz para transformación?
- Solución: pasando a matrices 3x3 en lugar de 2x2
- Para ello debemos representar un punto cartesiano (x, y) en coordenadas homogéneas
- Un punto (x, y) se representa en coordenadas homogéneas de la forma

  (hx, hy, h), para cualquier h distinto de 0

- Esto significa que un mismo punto tiene infinitas representaciones en coordenadas homogéneas
- Ejemplo: el punto (4, 6) puede expresarse como
  - (4, 6, 1) (8, 12, 2) (2, 3, 1/2) (8/3, 4, 2/3) (-12, -18, -3)
- Lo habitual es tomar h=1, con lo que el punto (x, y) pasa a ser (x, y, 1)
- Conclusión: el punto (a,b,c) en coordenadas homogéneas representa al punto (a/c, b/c)

Coordenadas homogéneas

- El uso de coordenadas homogéneas permite tratar todas las transformaciones geométricas como una multiplicación de matrices

- Traslación:

$$(x',y',1)=(x,y,1)\begin{pmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0\\ t_x & t_y & 1\end{pmatrix}$$

$$\boxed{P'=P\cdot T(t_x,t_y)}$$

- Rotación respecto al origen

$$(x',y',1)=(x,y,1)\begin{pmatrix}\cos\theta & \sin\theta & 0\\ -\sin\theta & \cos\theta & 0\\ 0 & 0 & 1\end{pmatrix}$$

$$\boxed{P'=P\cdot R(\theta)}$$

- Escalado respecto al origen

$$(x',y',1)=(x,y,1)\begin{pmatrix}s_x & 0 & 0\\ 0 & s_y & 0\\ 0 & 0 & 1\end{pmatrix}$$

$$\boxed{P'=P\cdot S(s_x,s_y)}$$

Composición de transformaciones: traslaciones

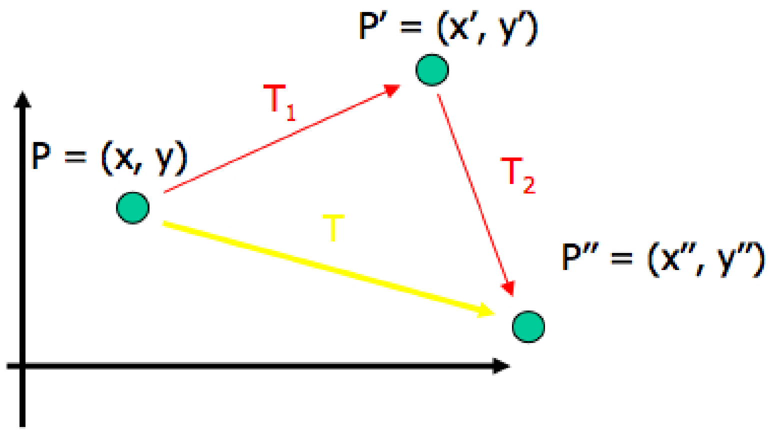
- Para cualquier secuencia de transformaciones, podemos calcular la matriz de transformación compuesta, calculando el producto de las transformaciones individuales!

- Traslaciones sucesivas:

$$P' = P \cdot T_1(t_{x1}, t_{y1})$$

$$P'' = P' \cdot T_2(t_{x2}, t_{y2})$$

$$P'' = P' \cdot T_2 = P \cdot T_1 \cdot T_2 = P \cdot T$$



$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_{x1} & t_{y1} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_{x2} & t_{y2} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_{x1} + t_{x2} & t_{y1} + t_{y2} & 1 \end{pmatrix}$$

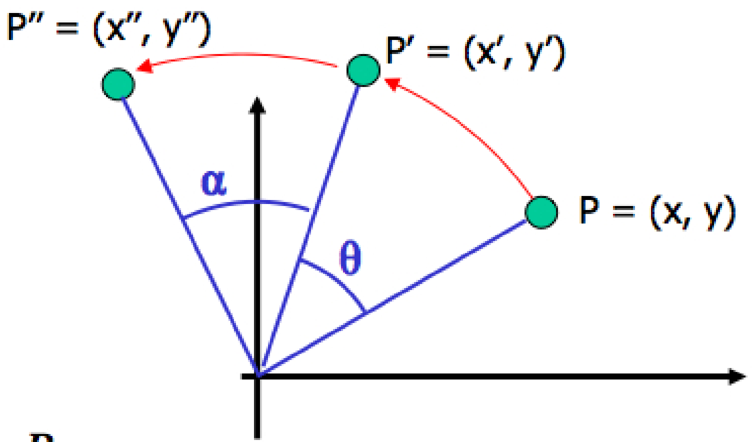
Composición de transformaciones: rotaciones

- Rotaciones sucesivas:

$$P' = P \cdot R(\theta)$$

$$P'' = P' \cdot R(\alpha)$$

$$P'' = P' \cdot R(\alpha) = P \cdot R(\theta) R(\alpha) = P \cdot R$$



$$R = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta+\alpha) & \sin(\theta+\alpha) & 0 \\ -\sin(\theta+\alpha) & \cos(\theta+\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

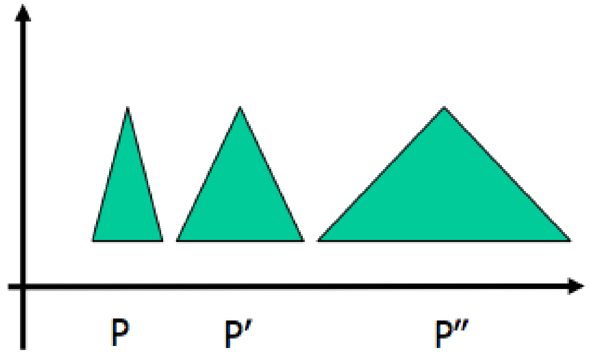
Composición de transformaciones: escalados

- Escalados sucesivas:

$$P' = P \cdot S_1(s_{x1}, s_{y1})$$

$$P'' = P' \cdot S_2(s_{x2}, s_{y2})$$

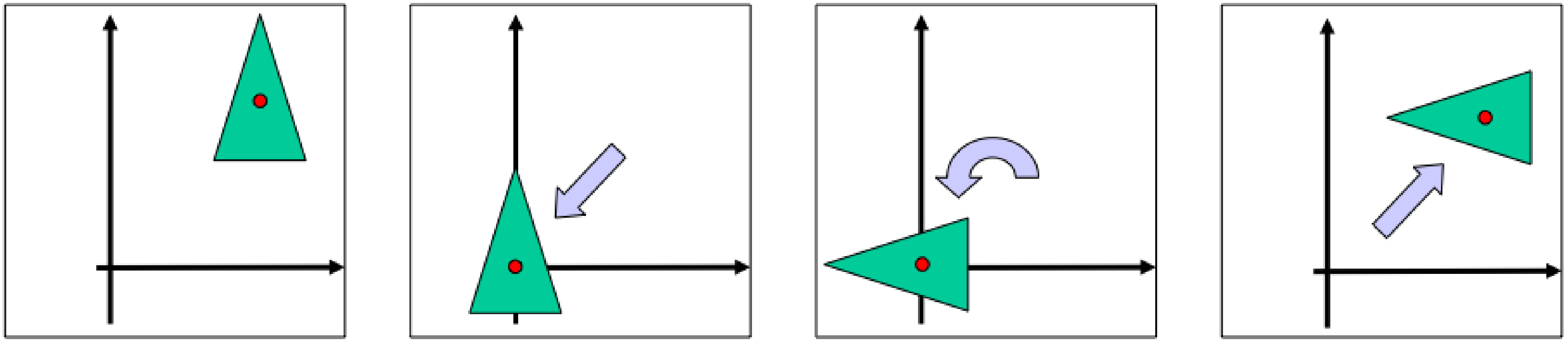
$$P'' = P' \cdot S_2 = P \cdot S_1 \cdot S_2 = P \cdot S$$



$$S = \begin{pmatrix} s_{x1} & 0 & 0 \\ 0 & s_{y1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} s_{x2} & 0 & 0 \\ 0 & s_{y2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_{x1}s_{x2} & 0 & 0 \\ 0 & s_{y1}s_{y2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Rotación alrededor de un punto

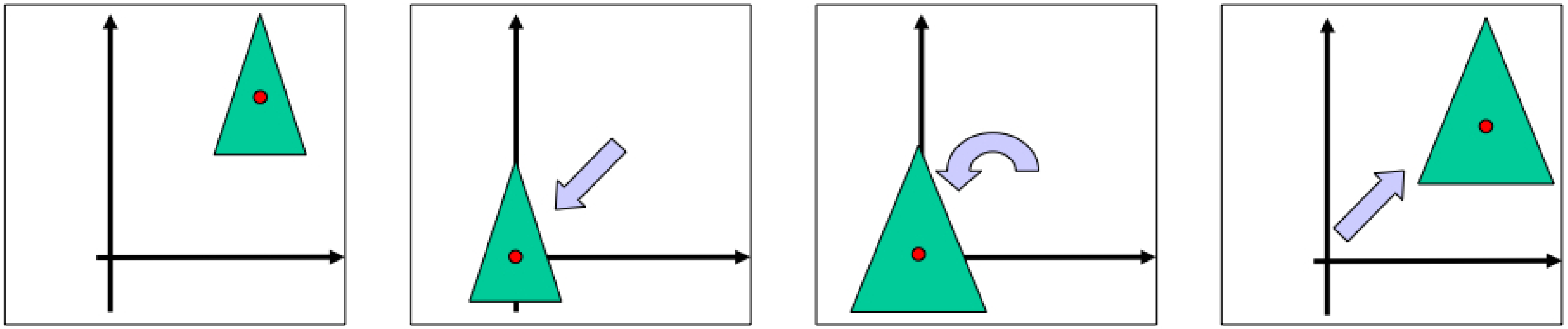
- Para hacer una rotación general, podemos hacerlo mediante una composición de transformaciones básicas:



$$P' = P \cdot \underbrace{T(-x_c, -y_c) \cdot R(\theta) \cdot T(x_c, y_c)}_{\mathbf{R}(\mathbf{x}_c,\, \mathbf{y}_c,\, \theta)}$$

Escalado alrededor de un punto

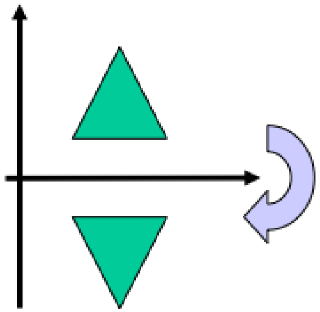
- Para hacer un escalago general, procedemos de igual manera:



$$P' = P \cdot \underbrace{T(-x_c, -y_c) \cdot S(s_x, s_y) \cdot T(x_c, y_c)}_{\mathbf{S}(\mathbf{x}_c,\, \mathbf{y}_c,\, \mathbf{s}_x,\, \mathbf{s}_y)}$$

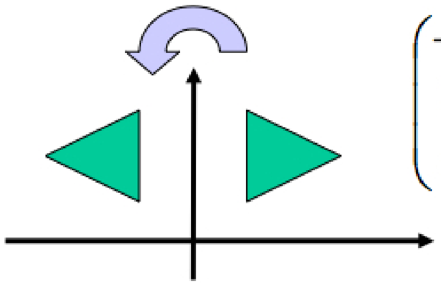
Reflexión

Sobre el eje x



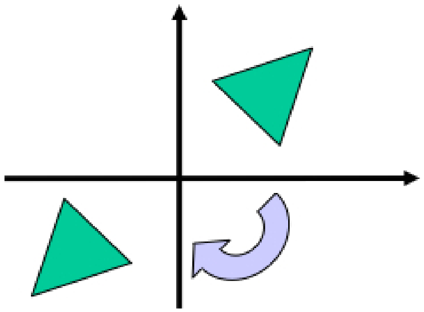
$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Sobre el eje y



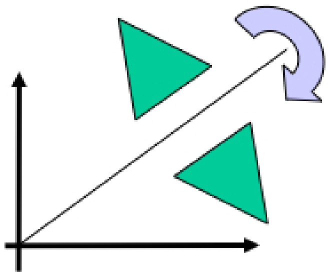
$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Sobre el origen de coordenadas



$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

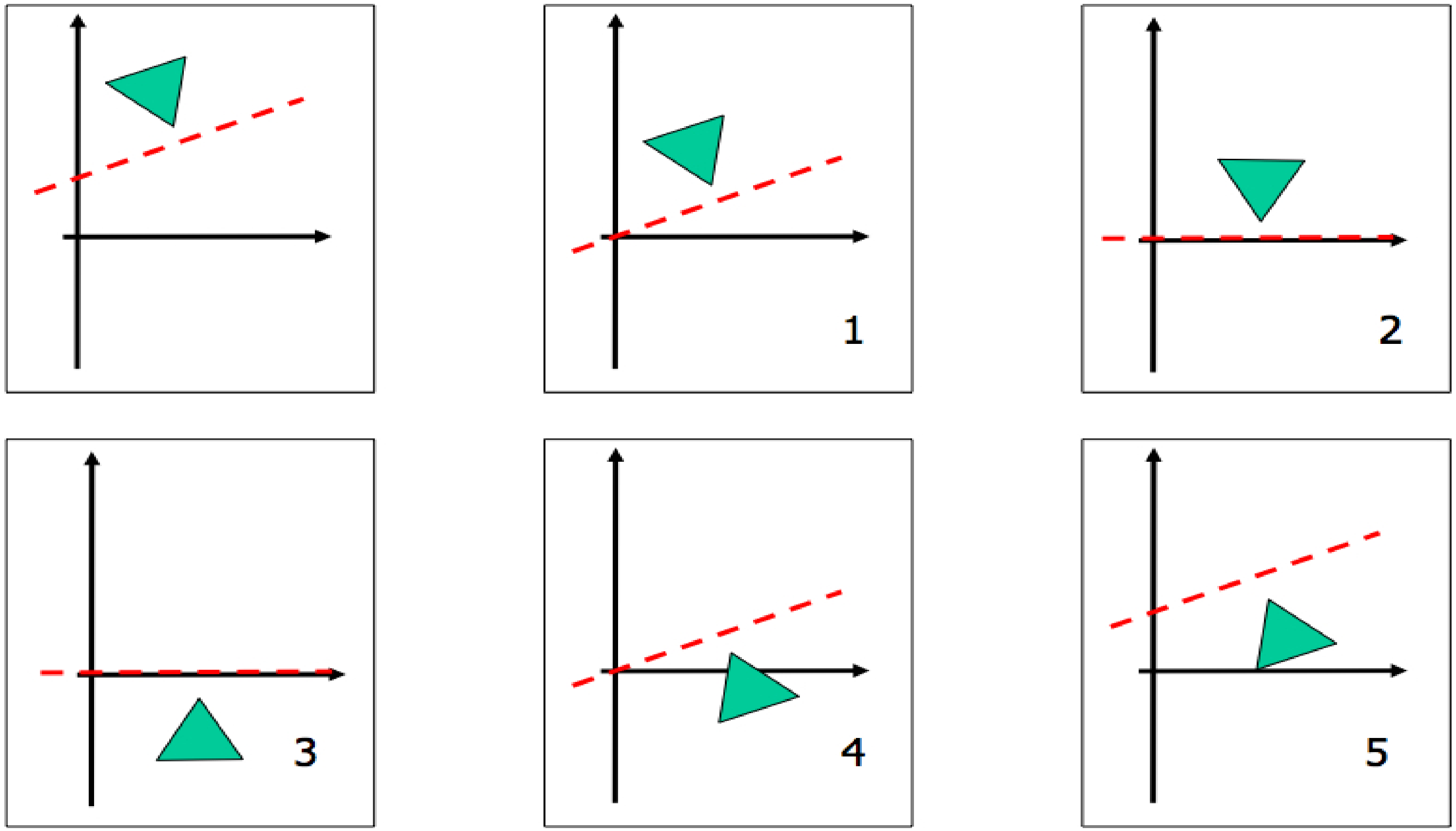
Sobre la recta y = x



$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

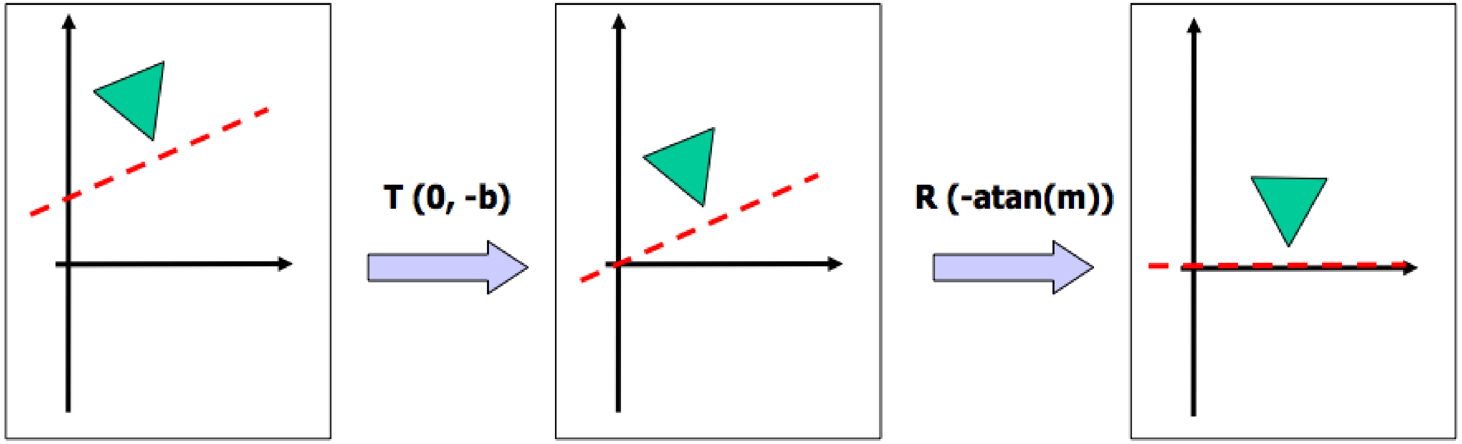
Reflexión general

- Sobre una recta arbitraria $y = mx + b$



Reflexión general

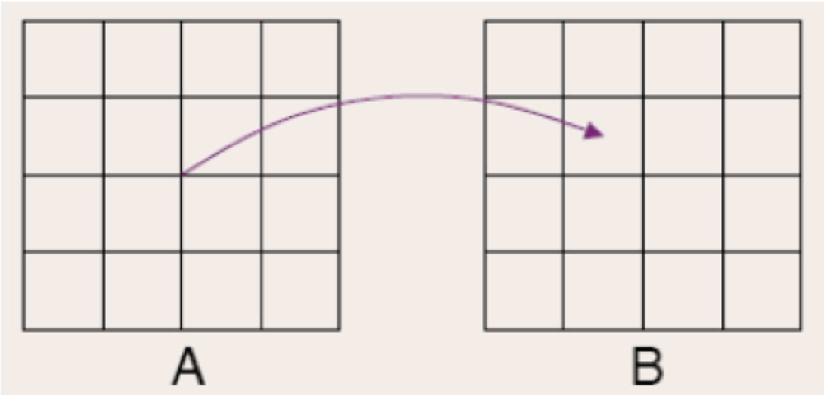
- ¿Cuánto habrá que trasladar y rotar?



$$\boxed{P' = P \cdot \underbrace{T(0,-b) \cdot R(-\arctan m) \cdot F \cdot R(\arctan m) \cdot T(0,b)}_{\mathbf{F(m,\,b)}}}$$

Interpolaciones de Niveles de Gris

- Una vez realizada la transformación de coordenadas del píxel, las posiciones obtenidas para los puntos transformados no estarán situados en la rejilla de la imagen transformada
- Es necesario obtener el nivel de gris en los puntos de la rejilla de la imagen transformada
- Estos valores se obtienen mediante interpolación en el nivel de gris de los valores de los puntos transformados

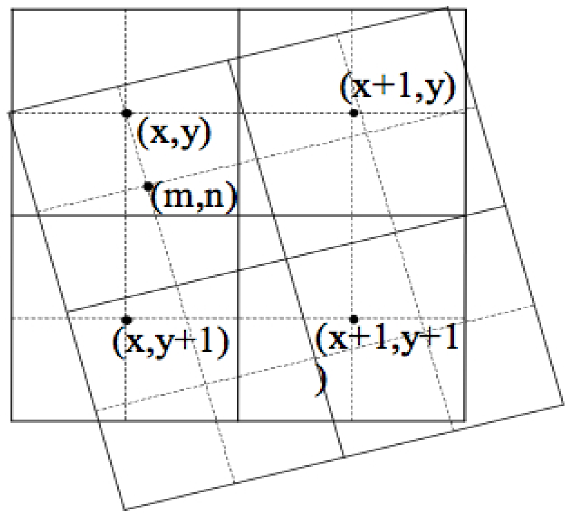


Interpolaciones

- El proceso de interpolación influencia la calidad final de la imagen transformada
  - Cuanto más simple sea la interpolación, más grande será la pérdida en precisión
  - Cuanto más compleja, más grande la complejidad matemática para computarla
- Tres tipos de interpolación
  - Vecino más cercano
  - Lineal
  - Bicúbica

Vecino más Cercano

Vecino más próximo. Este método consiste en asignar el nivel digital de un píxel de la imagen transformada a un píxel de la imagen corregida cuyo centro geométrico esté más cercano a su homólogo en la imagen transformada. Para ello se calculan las distancias entre el centro del píxel de la imagen corregida de coordenadas (*m,n*), y los centros de los cuatro píxeles más cercanos en la imagen transformada, tomando el nivel digital correspondiente a aquel píxel que proporcione la menor distancia.



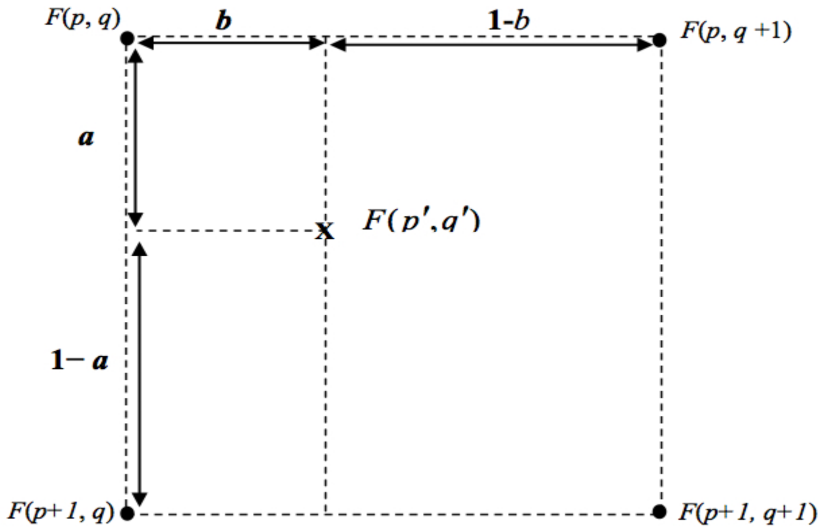
Las ventajas de este método son:

- No se altera el valor del nivel de gris de la imagen original.
- Es el más rápido de los 3 métodos.
- Único método utilizable en la corrección de imágenes con información cualitativa o temática.
- Se emplea en los cambios de escala con magnificación (Zoom).

Interpolación BiLineal

En este método se consideran los niveles de gris de los cuatro píxeles más cercanos en la imagen transformada al píxel de la imagen corregida.

En este método, llamado de se interpola linealmente a lo largo de cada fila de una imagen, y posteriormente el resultado se interpola linealmente en la dirección por columnas.



Realizando las dos interpolaciones lineales horizontales de $F(p,q)$ a $F(p,q+1)$ y de $F(p+1,q)$ a $F(p+1,q+1)$, se tiene como resultado $(1-b)F(p,q)+bF(p,q+1)$ y $(1-b)F(p+1,q)+bF(p+1,q+1)$, ahora bien, realizando nuevamente la interpolación lineal vertical sobre los dos valores hallados anteriormente se obtiene el valor de intensidad del pixel interpolado como se muestra en la figura 5 , y cuyo valor es:

$$F(p',q')=(1-a)[(1-b)F(p,q)+bF(p,q+1)]+a[(1-b)F(p+1,q)+bF(p+1,q+1)] \quad (8)$$

$$\begin{aligned} F(p',q') = {} & H[-a]H[b]\cdot F(p,q)+H[-a]H[-(1-b)]\cdot F(p,q+1)+ \\ & +H[1-a]H[b]\cdot F(p+1,q)+H[-(1-a)]H[-(1-b)]\cdot F(p+1,q+1) \end{aligned}$$

Sí definimos $h(x)=\begin{cases} 1-|x| & \text{si } 0<|x|<1 \\ 0 & \end{cases}$ como función núcleo de interpolación

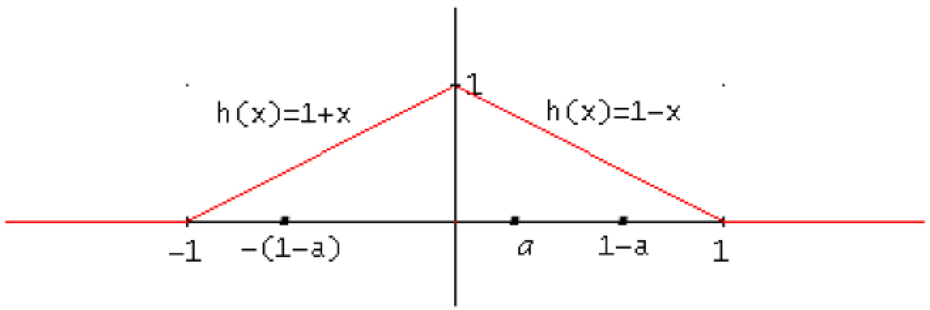
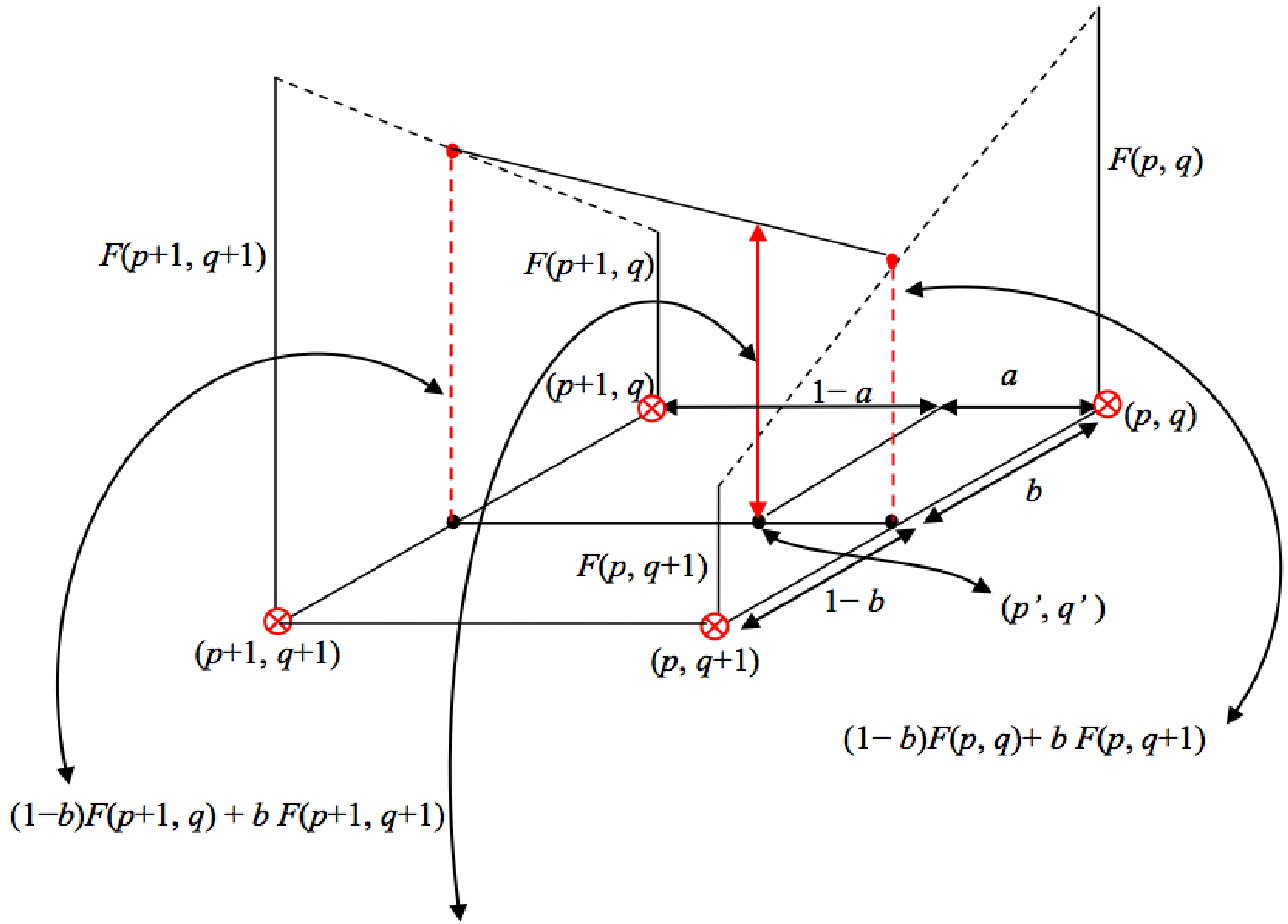
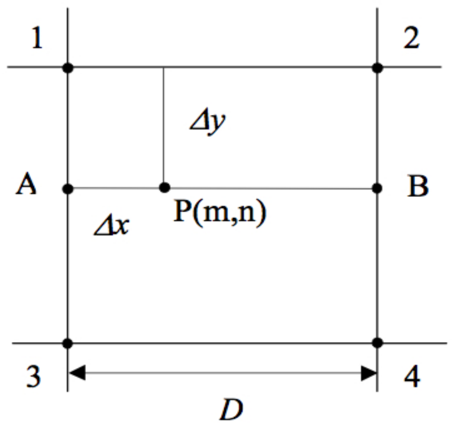
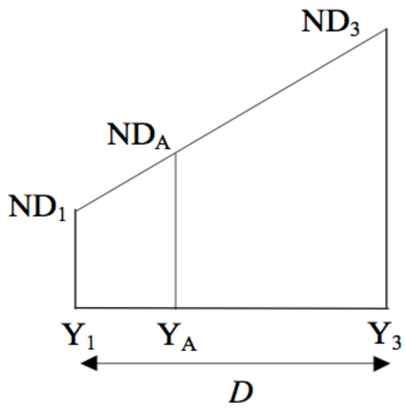


Figura 6. Grafica del núcleo de interpolación $h(x)$.



$$F(p', q') = (1-a)[(1-b)F(p,q) + b\,F(p,q+1)] + a\,[(1-b)F(p+1,q) + b\,F(p+1,q+1)]$$

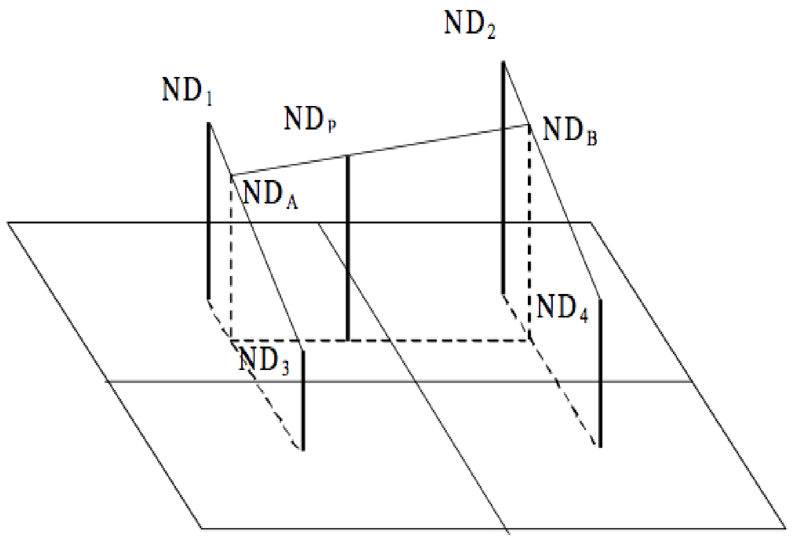




$$ND_A = \left(\frac{ND_3 - ND_1}{D}\right) \cdot \Delta y + ND_1$$

$$ND_B = \left(\frac{ND_4 - ND_2}{D}\right) \cdot \Delta y + ND_2$$

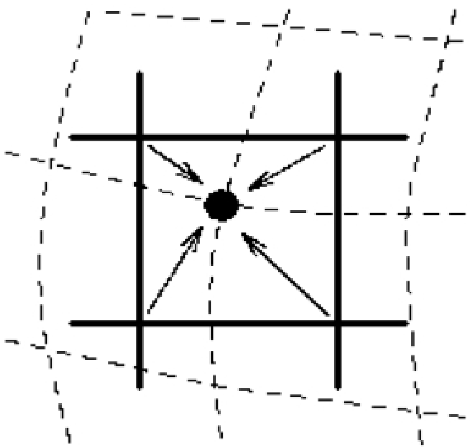
Este método de interpolación produce resultados más suavizados y precisiones espaciales mayores que el del Vecino Más Próximo. Tiene los inconvenientes de suavizar también los bordes y de que los valores extremos de los niveles de gris no permanecen en la imagen.

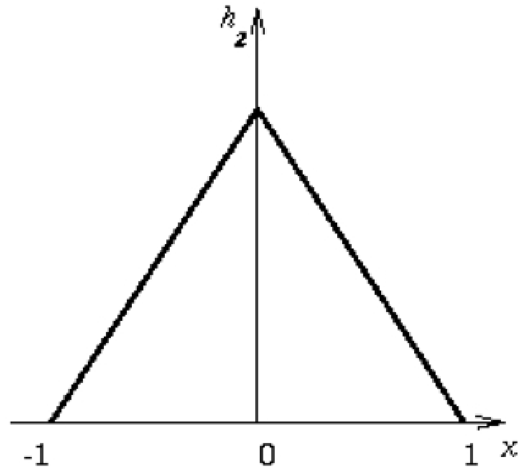


$$f_2(x,y) = (1-a)(1-b)g_s(l,k) + a(1-b)g_s(l+1,k)$$
$$+ (1-a)bg_s(l,k+1) + abg_s(l+1,k+1)$$

$l = \text{próximo}(x) \quad a = x$

$k = \text{próximo}(y) \quad b = y$

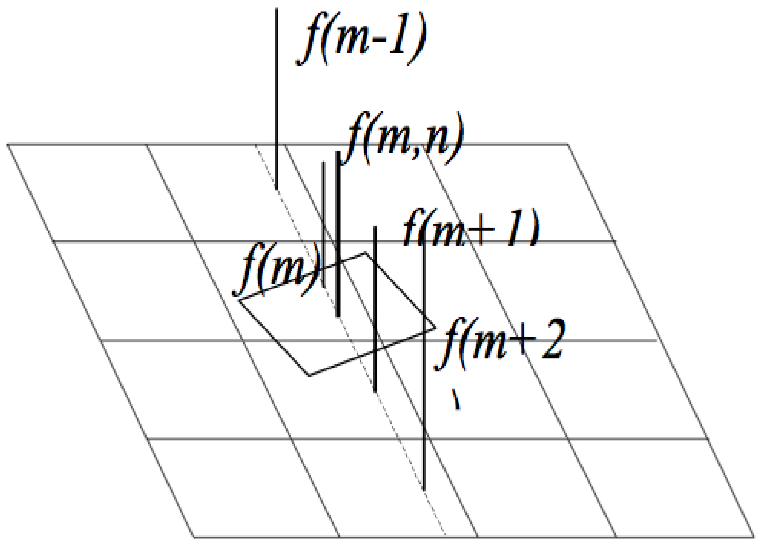


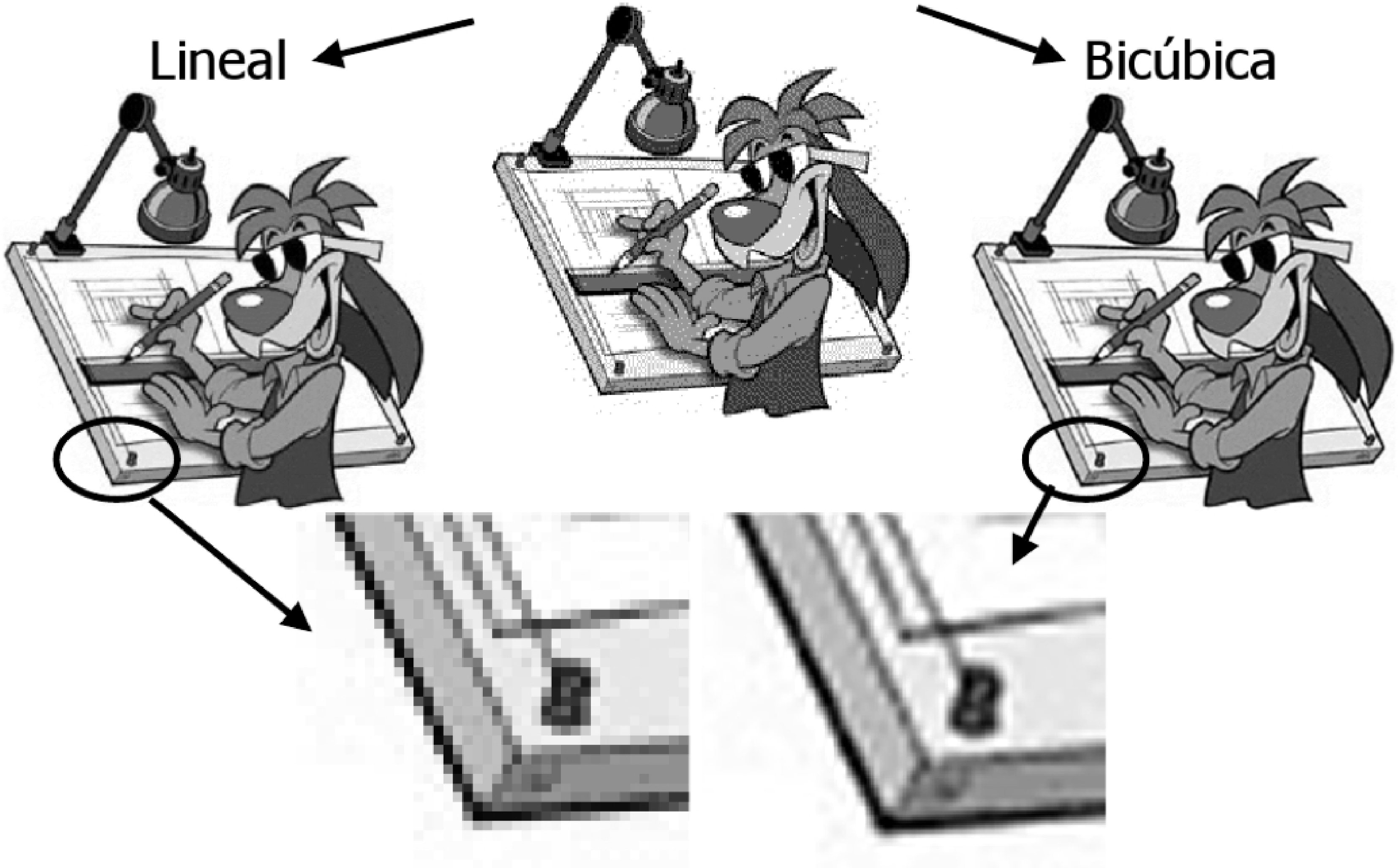


Interpolación Cúbica

Tiene el mismo fundamento que el método anterior, pero en este caso se consideran los dieciséis píxeles más cercanos en la imagen transformada al píxel de la imagen corregida al cual queremos asignar el valor de nivel digital.

El algoritmo interpola linealmente cada grupo de líneas en el sentido de las abcisas y obtiene cuatro valores: f(m-1), f(m), f(m+1), f(m+2); luego toma esos cuatro valores resultantes e interpola linealmente en el sentido de las ordenadas resultando f(m,n). Se puede apreciar en la figura siguiente una representación en perspectiva del procedimiento de interpolación. La tercera dimensión la proporciona el valor del nivel digital, y se observa los cuatro valores interpolados para cada fila. El valor digital que se asigna a la celda en la imagen corregida es el de trazo más grueso.




Lineal
Bicúbica