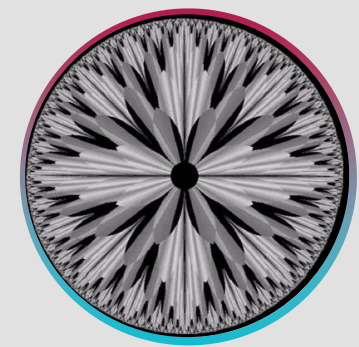




Fundamentos del PAID

Proceso de adquisición de una imagen digital



La energía de la fuente de iluminación es reflejada por un elemento de la escena

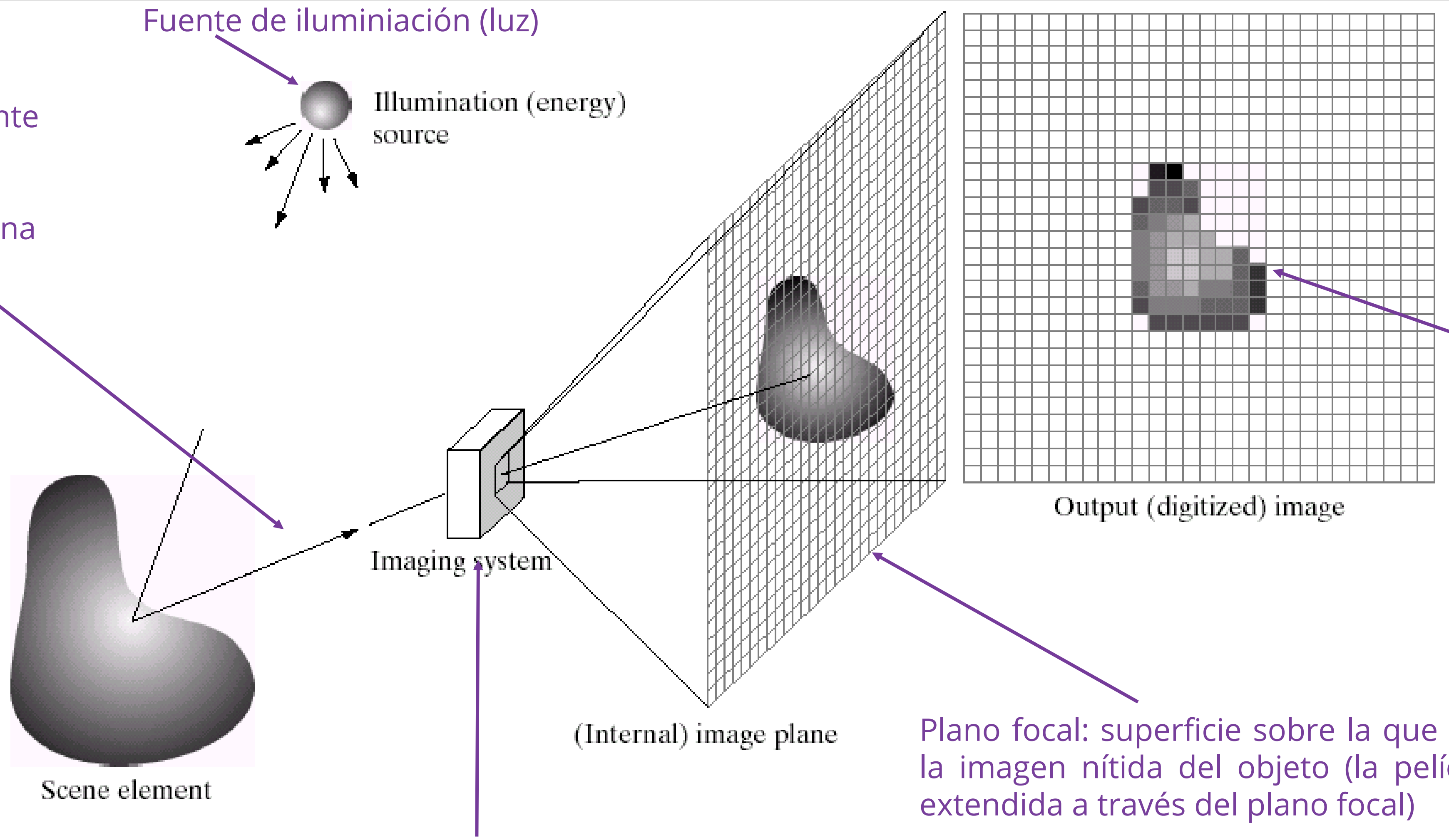


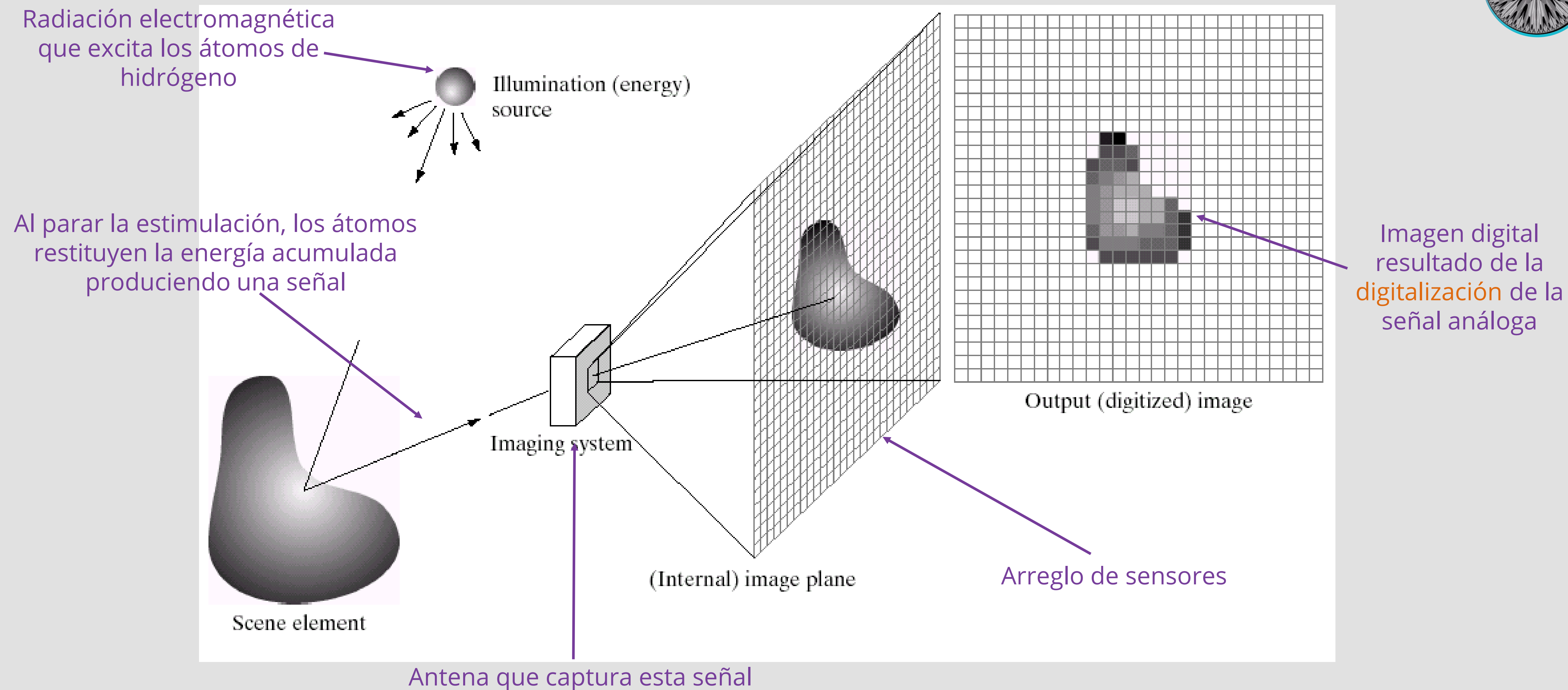
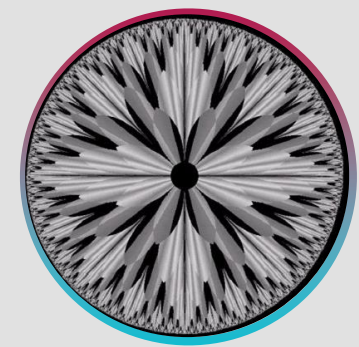
Imagen digital resultado de la digitalización de la señal análoga

La energía obtenida se colecta y se enfoca al plano focal (en el caso de la luz, por medio de un lente)

Plano focal: superficie sobre la que se forma la imagen nítida del objeto (la película está extendida a través del plano focal)

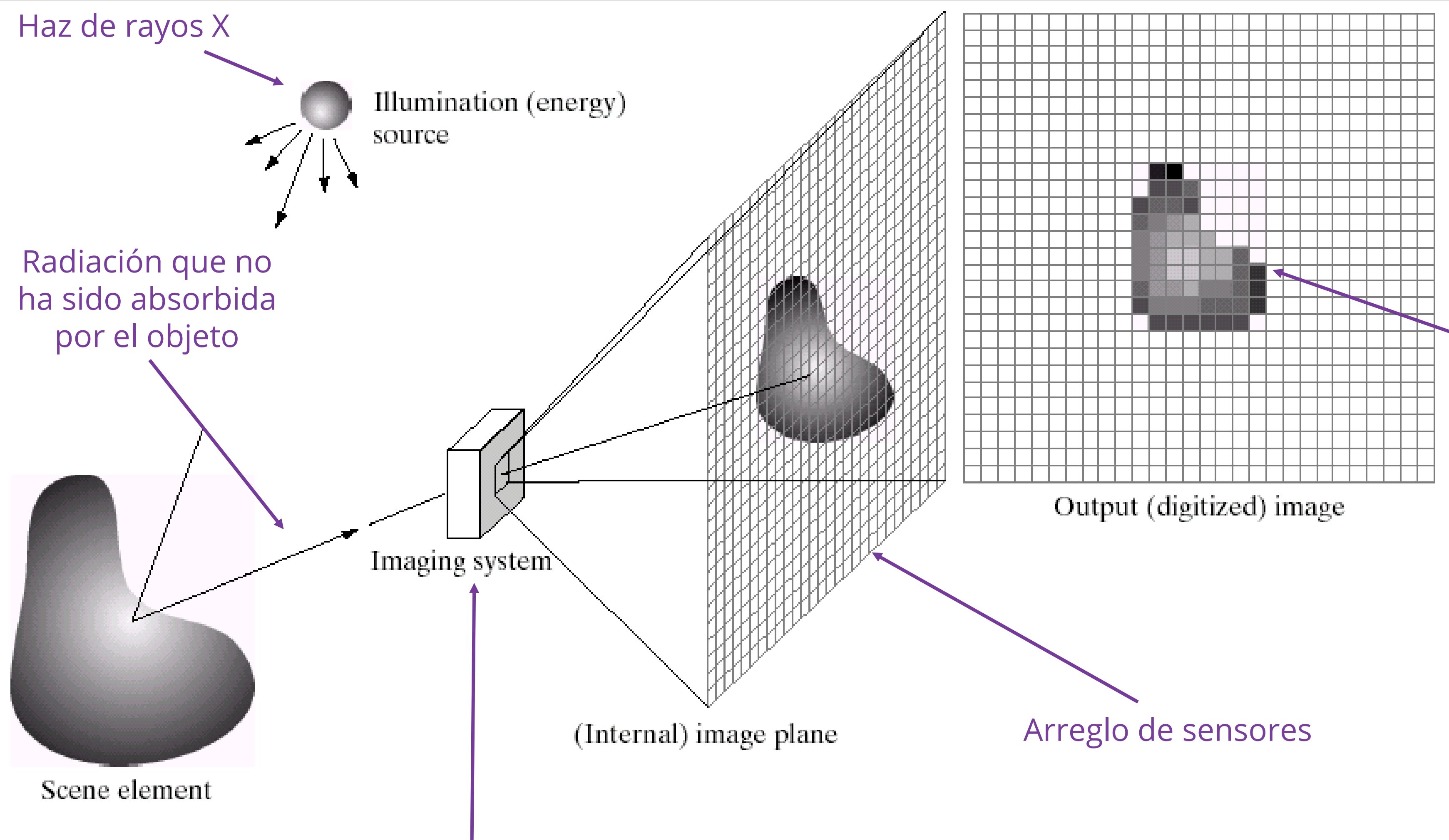
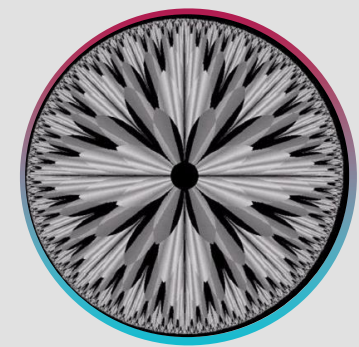
+
Arreglo de sensores: transforman la intensidad lumínica en magnitudes eléctricas (señal análoga)

Proceso de adquisición de una imagen digital



RESONANCIA MAGNETICA

Proceso de adquisición de una imagen digital



Detector que recoge la radiación

TOMOGRAFIA AXIAL COMPUTARIZADA(TAC)

Digitalización (Discretización)

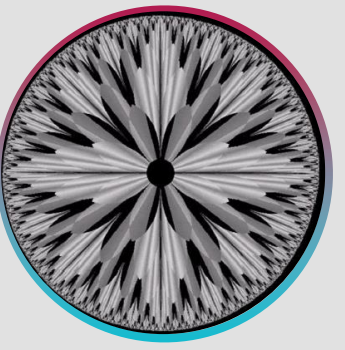


Imagen continua
proyectada sobre el arreglo
de sensores

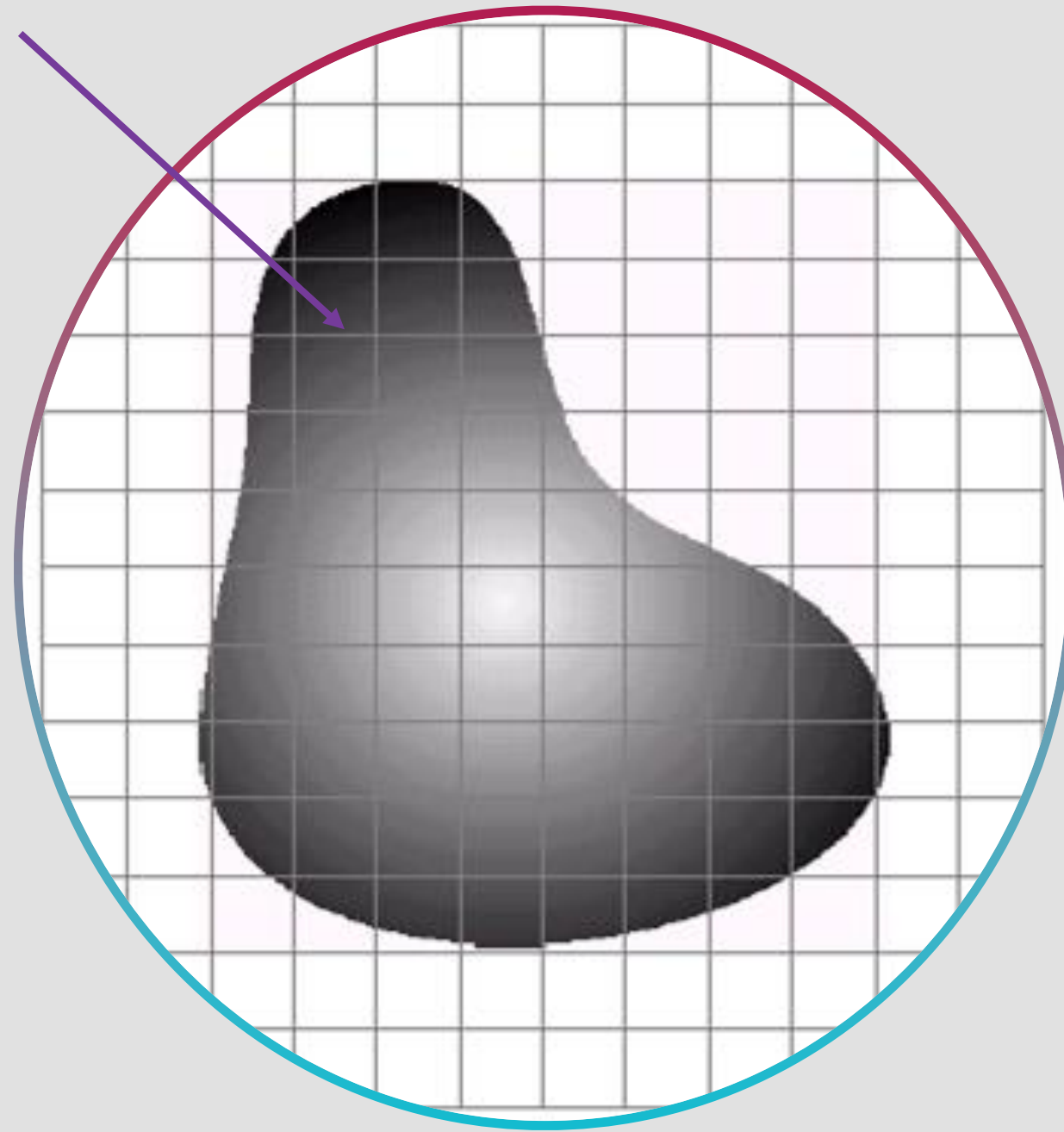
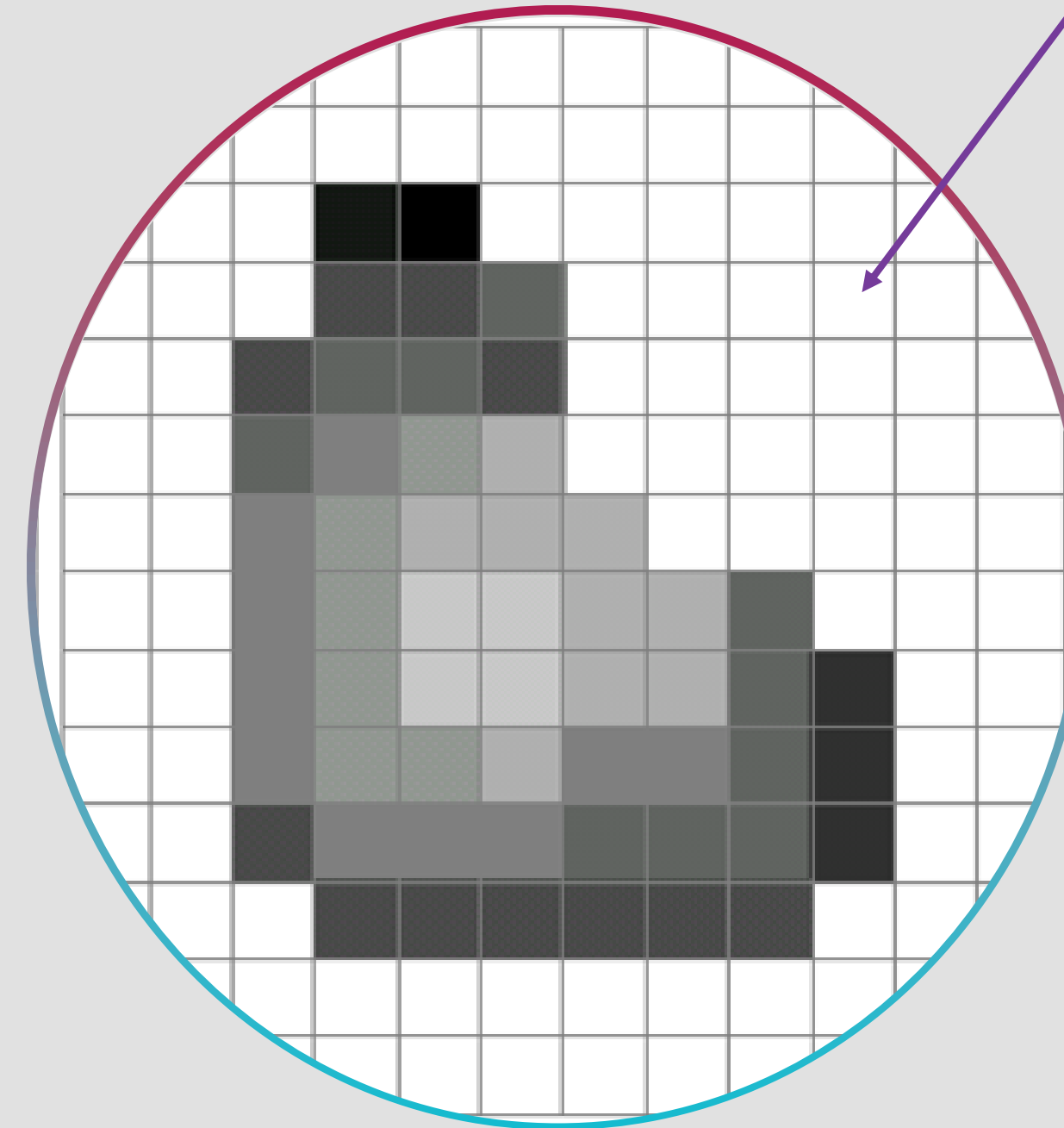


Imagen digital
(discreta)



Proceso de conversión de una imagen (función continua) a una forma digital (discreta):

- **Muestreo:** Discretización de coordenadas espaciales
- **Cuantificación:** Discretización de la amplitud

Proceso de digitalización: muestreo y cuantificación

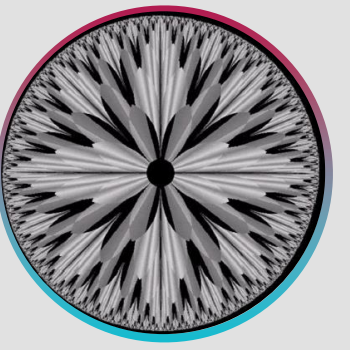
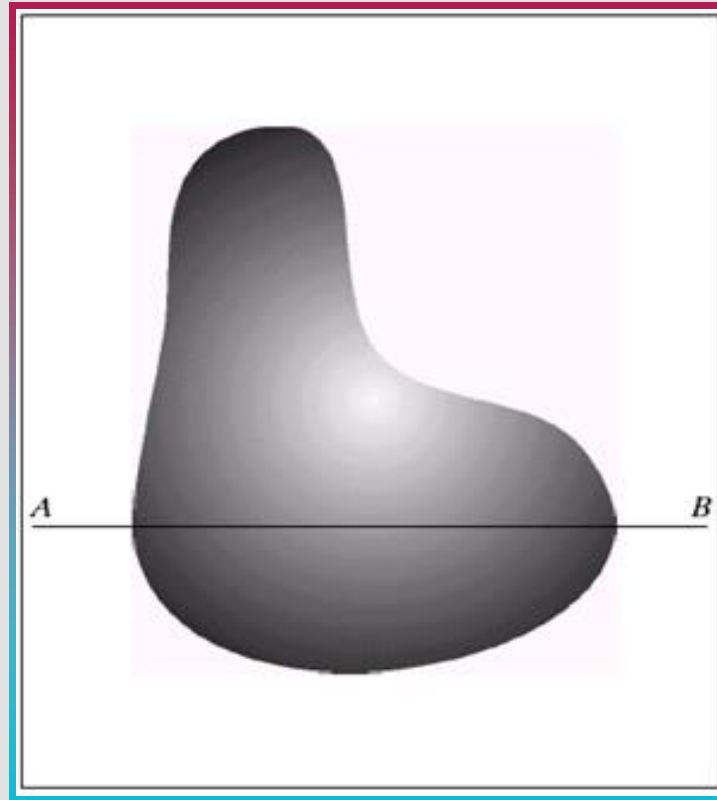
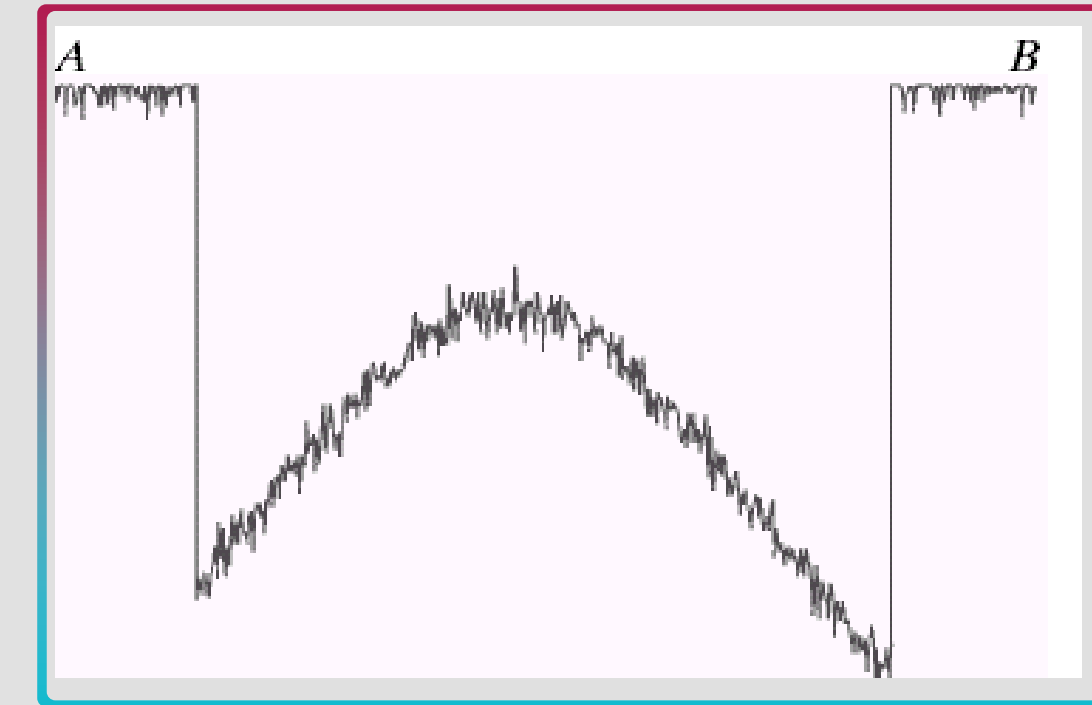


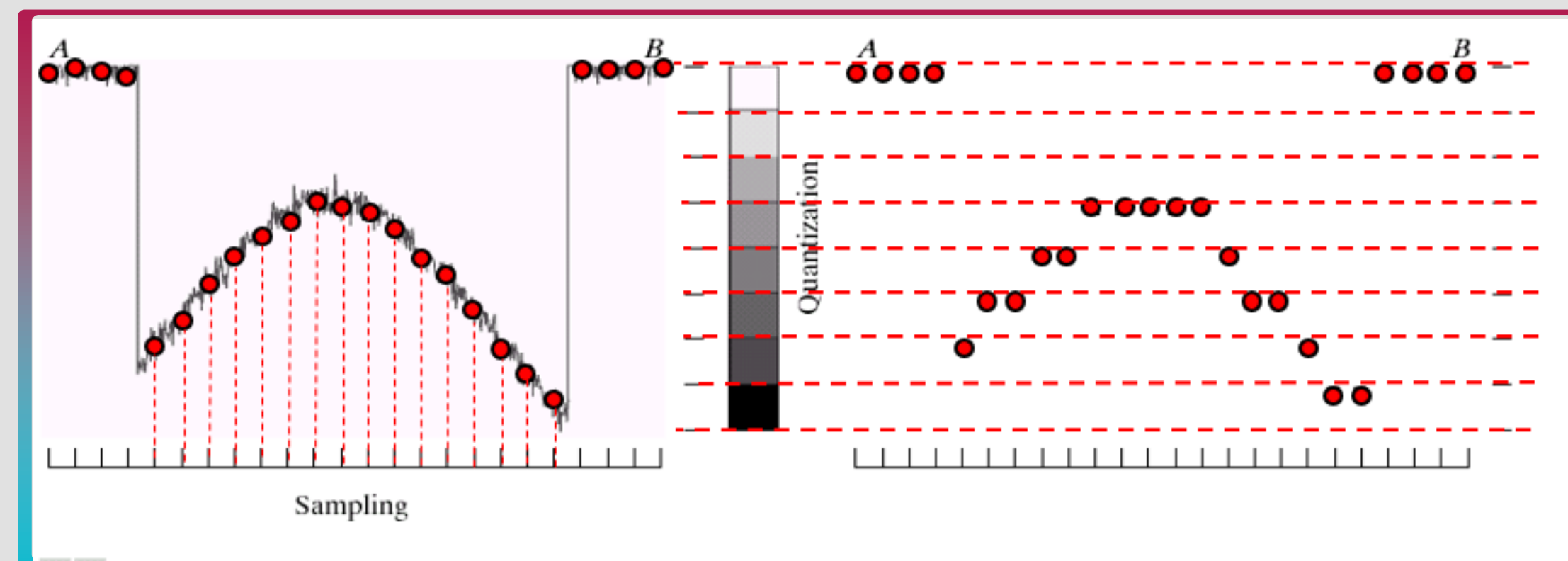
Imagen (señal 2D) continua: proyectada sobre el arreglo de sensores



Línea de perfil (función continua): amplitud a lo largo del segmento AB

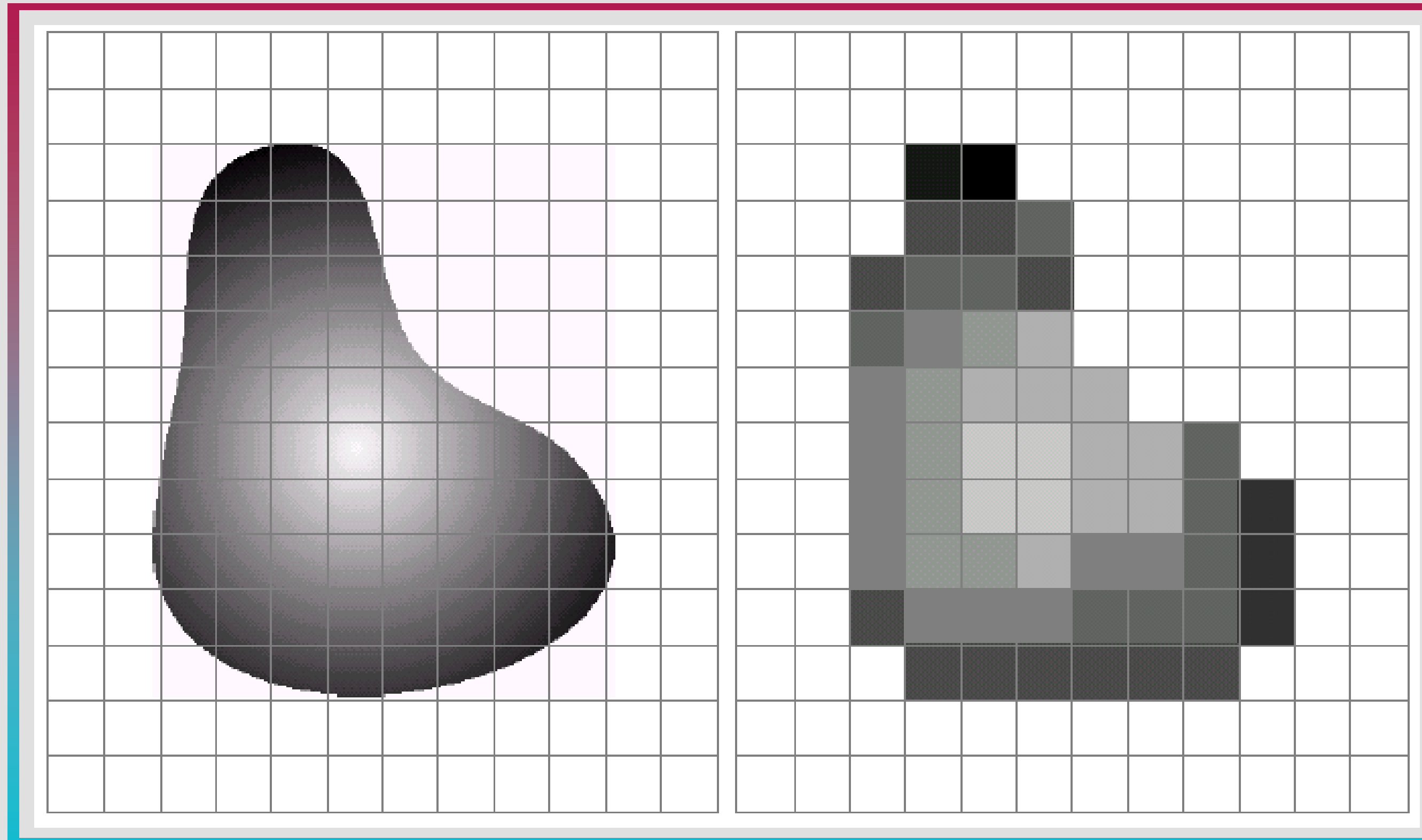
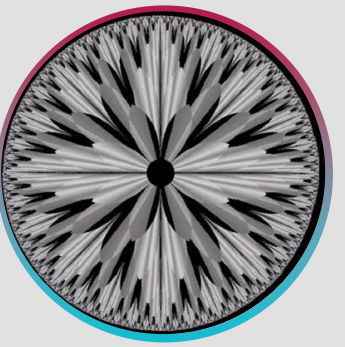


Muestreo : escoger puntos (muestras) espaciadas uniformemente



Cuantificación: asignar uno de los valores discretos de niveles de gris a cada muestra

Ejemplo de resultado de muestreo y cuantificación



El número de sensores del arreglo determina los límites del muestreo

La calidad de la imagen digital es determinada por el número de muestras y los niveles discretos de intensidad utilizados en el muestreo y la cuantificación

Representación matricial de una imagen digital

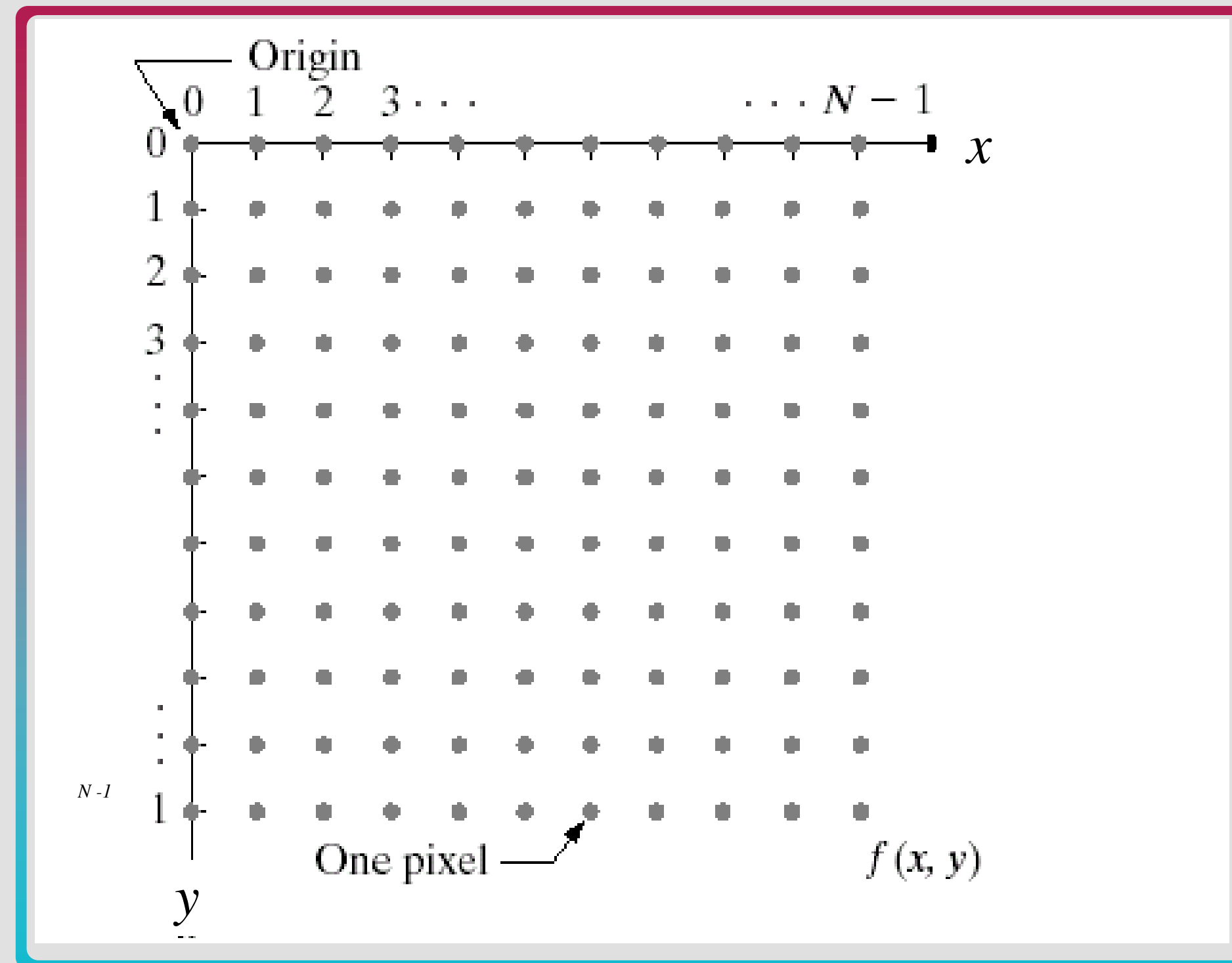
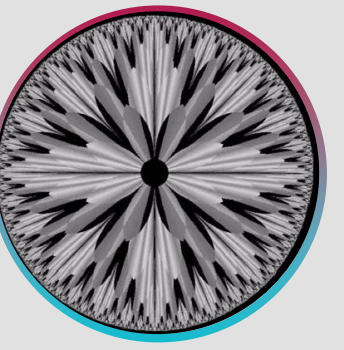
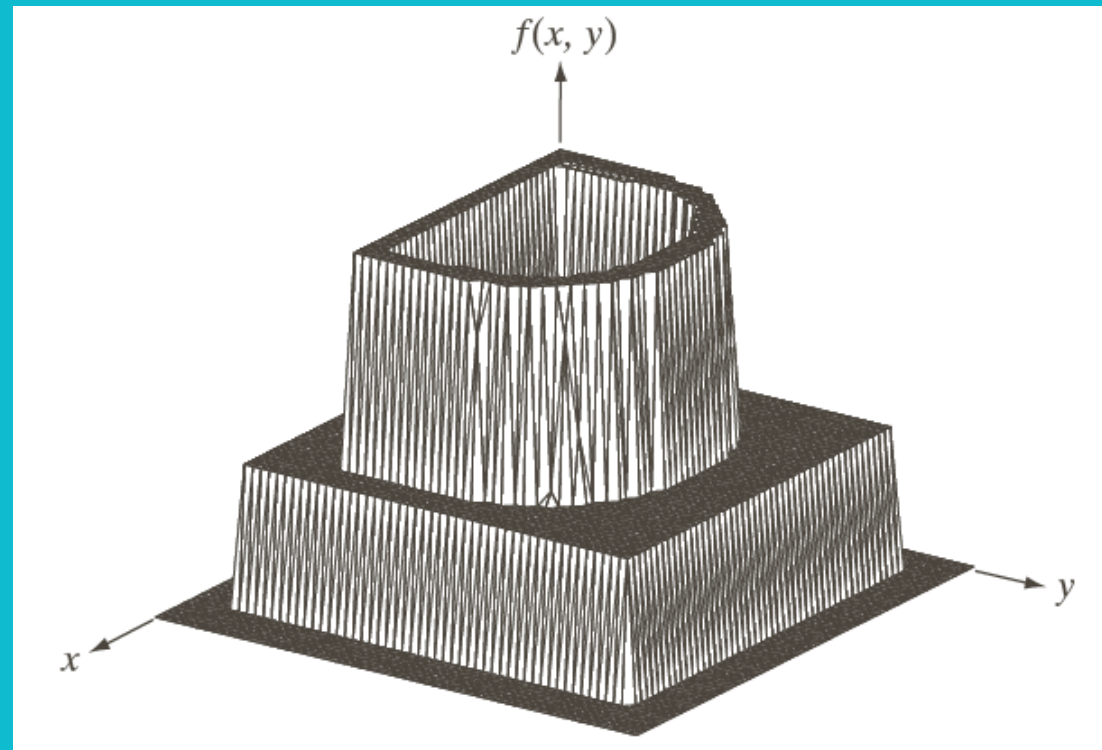
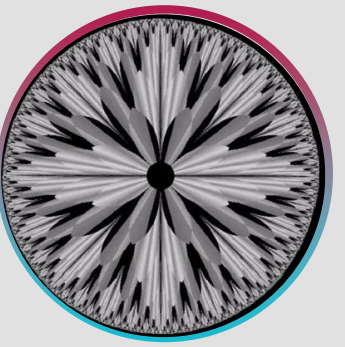


Imagen continua = $f(s, t)$ $\xrightarrow{\text{Digitalización}}$ Imagen discreta = arreglo 2D $f(x, y)$

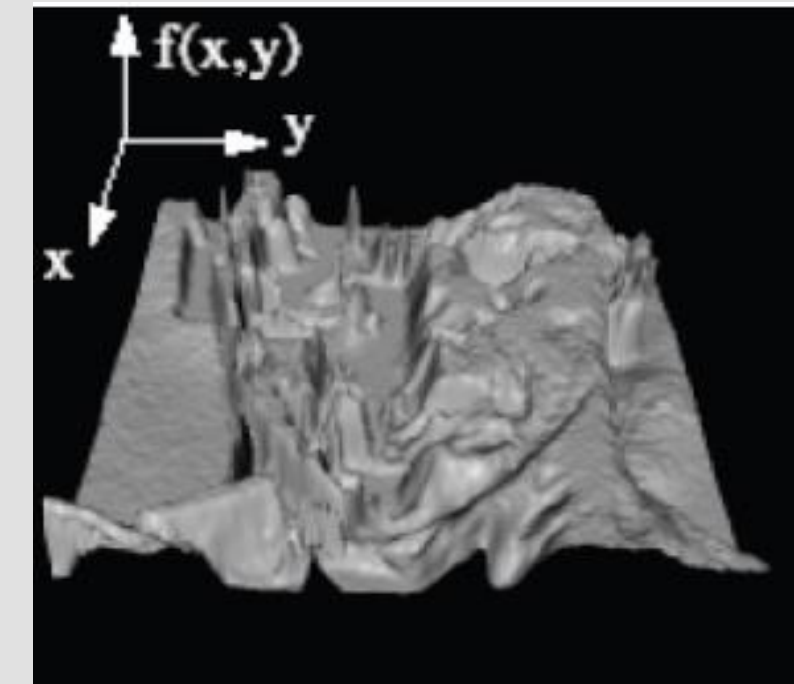
Otras representaciones de una imagen digital



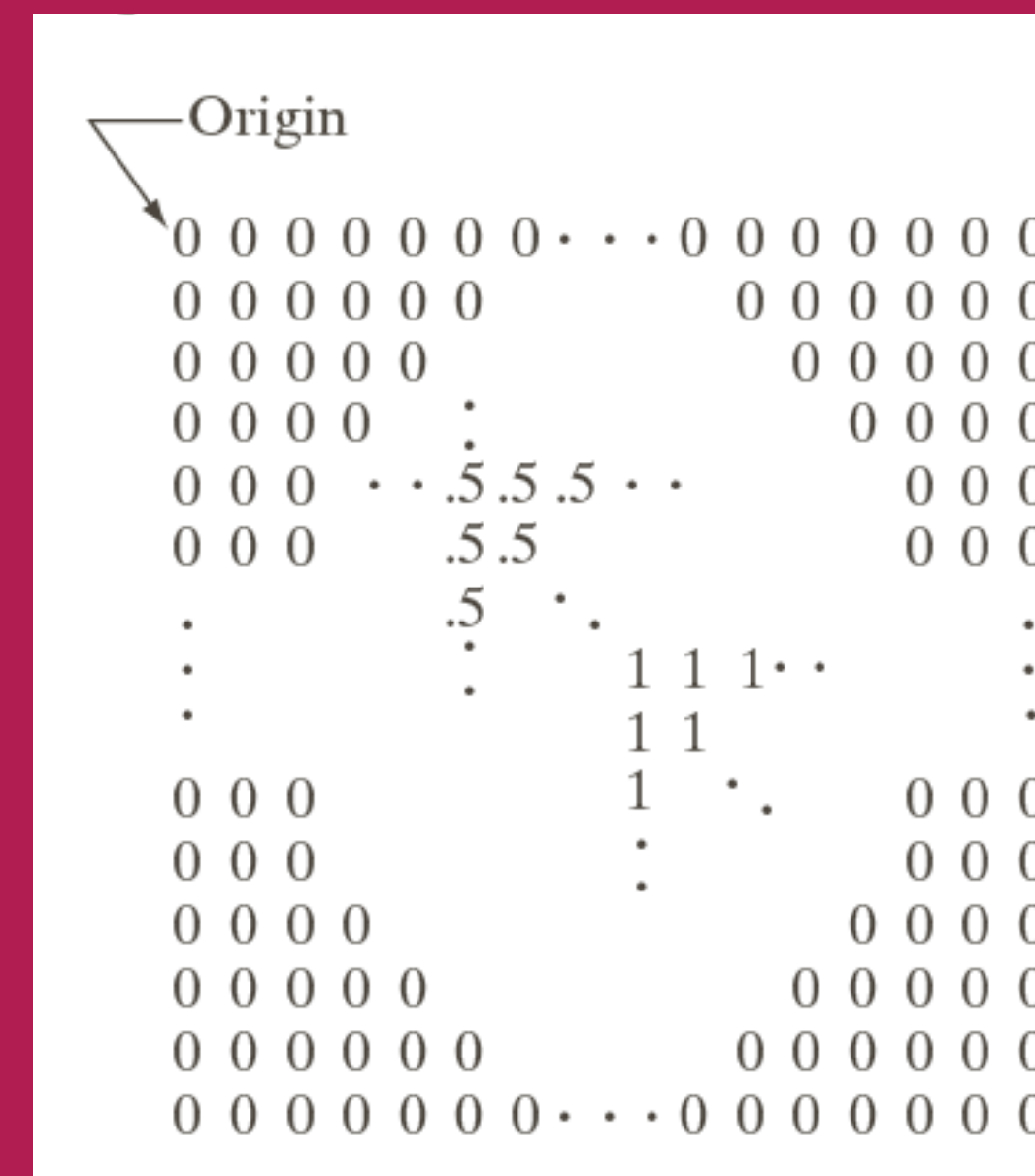
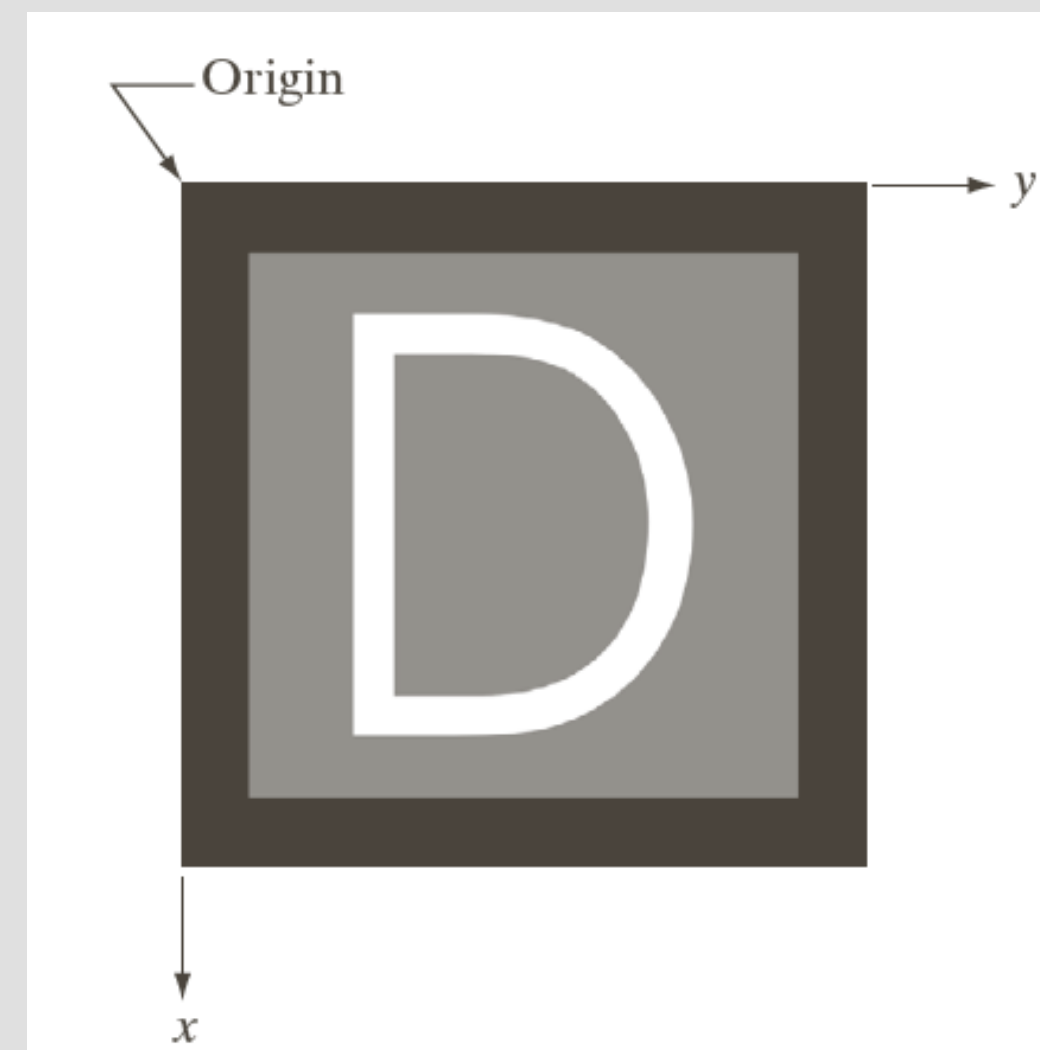
Superficie



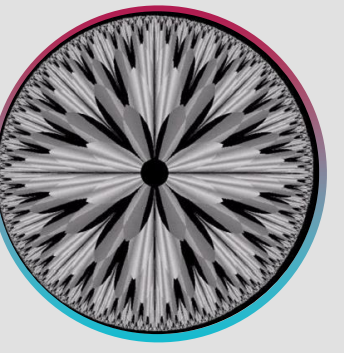
Representación en superficie



Representación tradicional
(visualización de intensidades)



Representación matricial
(valores numéricos de $f(x,y)$)

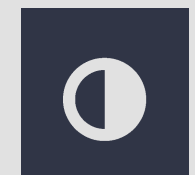


Cuando hablamos de resolución...



Espacial:

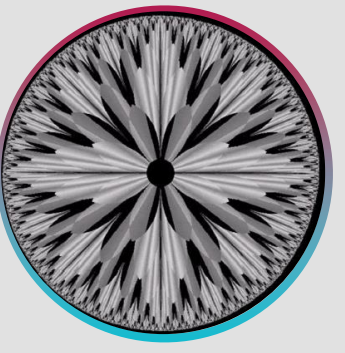
- Pixeles por unidad de distancia (ej: 600 dpi)
- Tamaño del pixel (ej: 0.4 mm)



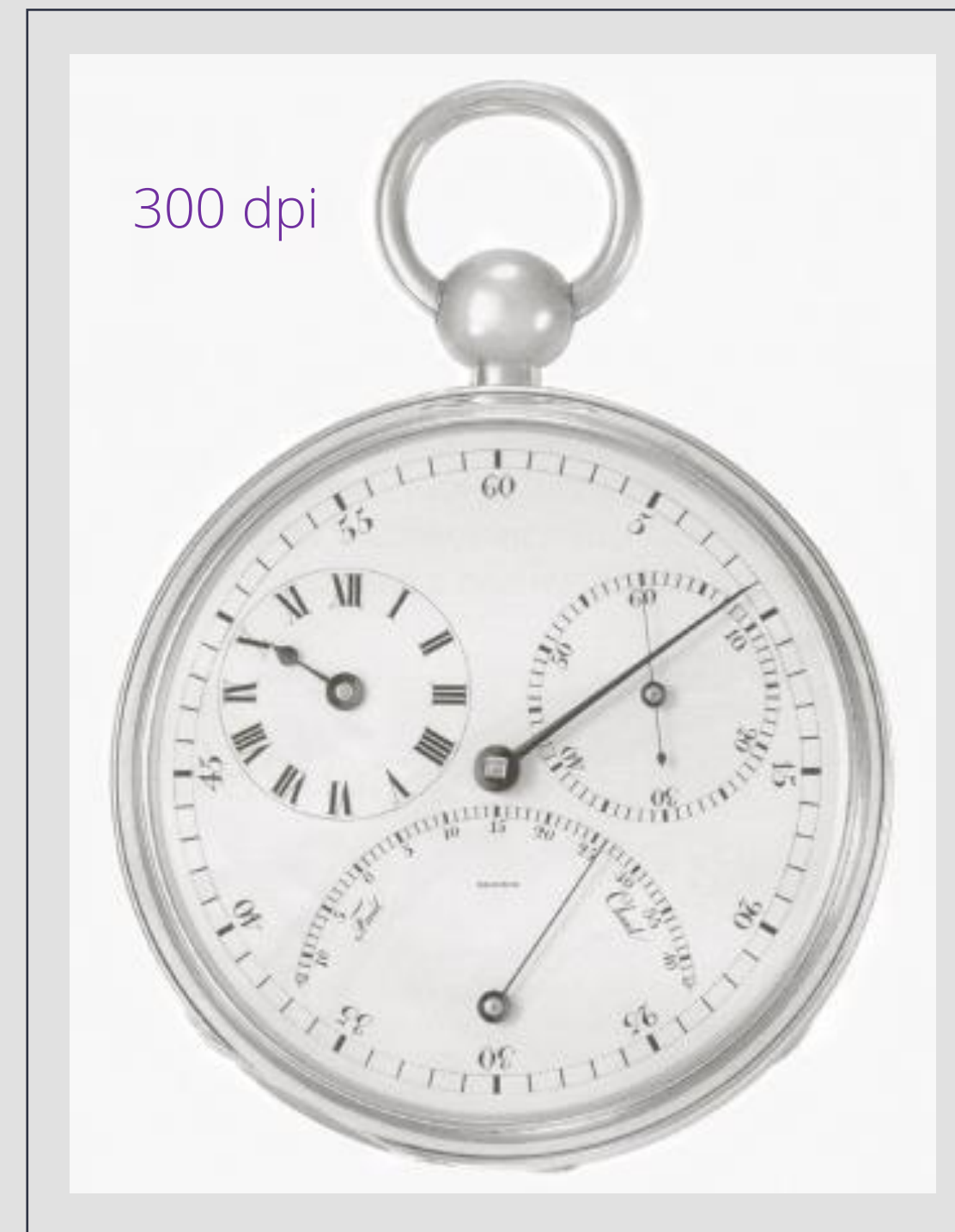
De niveles de gris:

- # de bits utilizados para cuantificar la intensidad
- Ej: imagen de 8 bits = 256 niveles de gris posibles

Ejemplos de reducción de resolución espacial

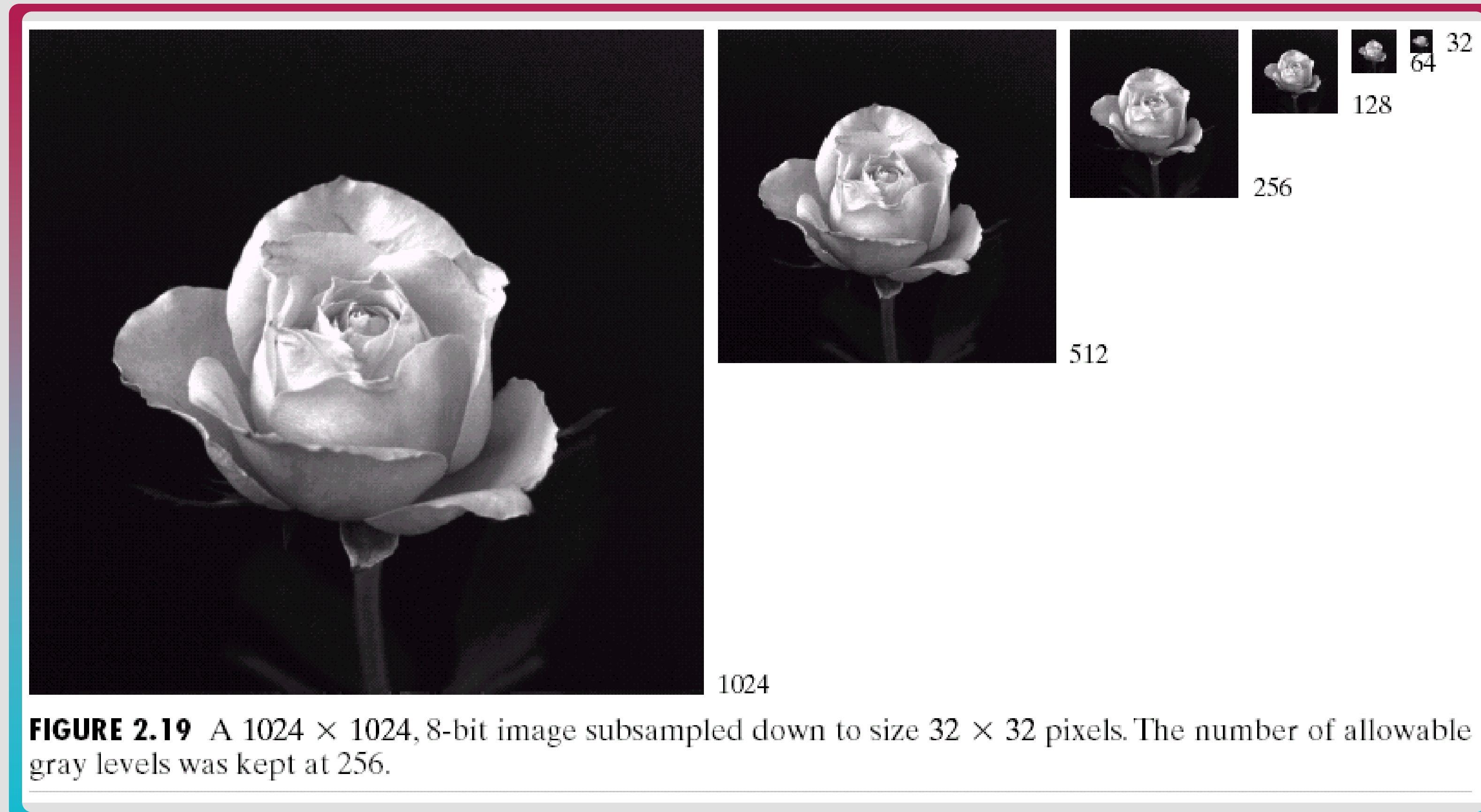
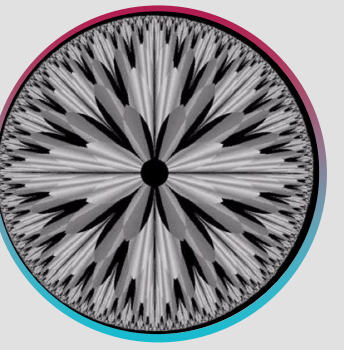


Naturalmente, las imágenes de menor resolución son más pequeñas que la original



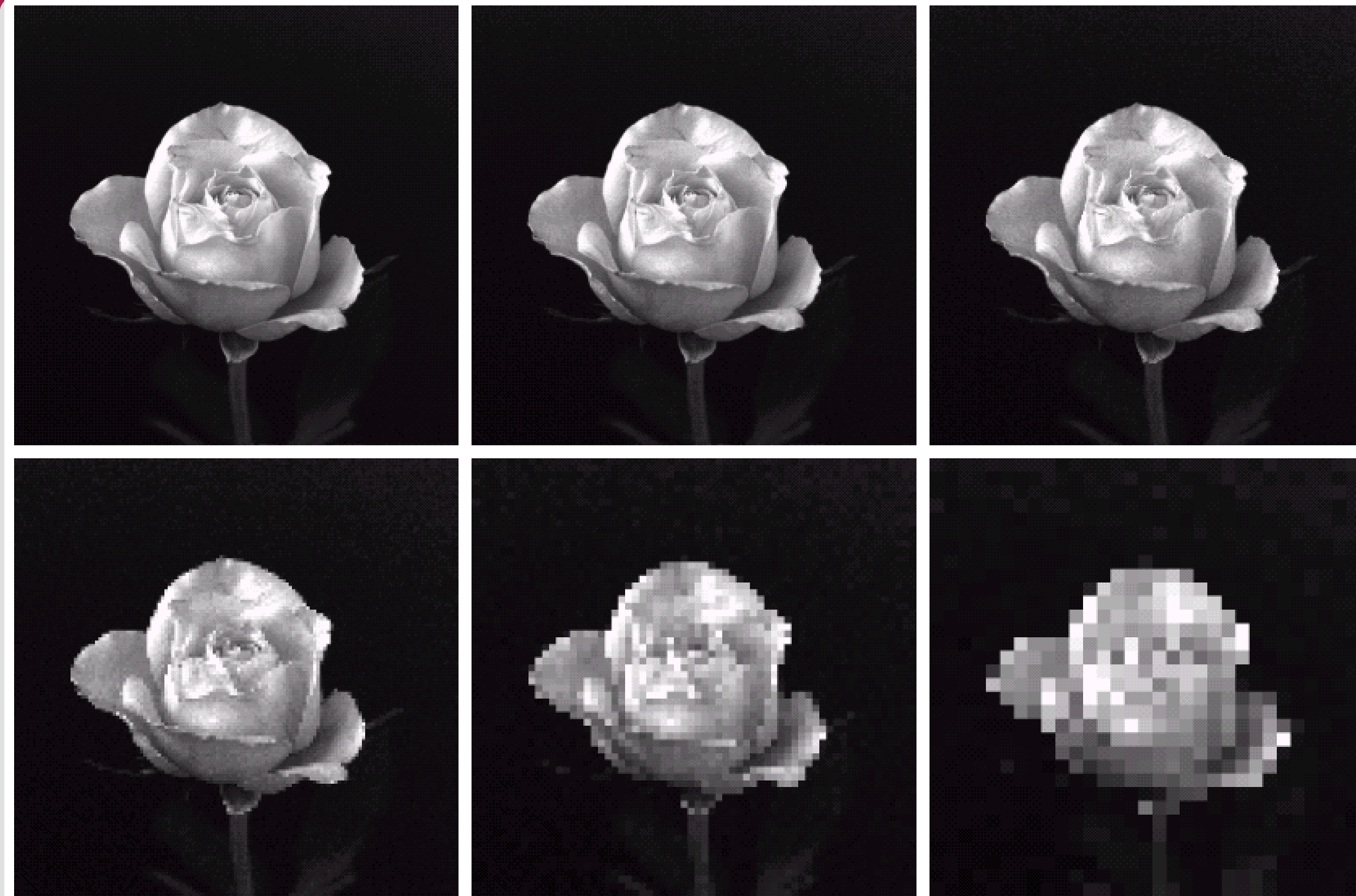
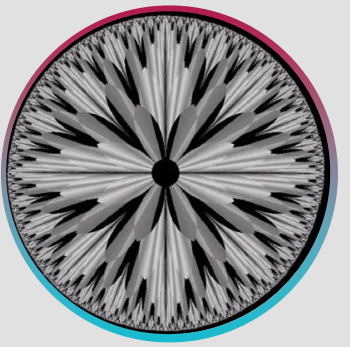
Se hizo zoom de las imágenes al tamaño original

Ejemplos de reducción de resolución espacial (Submuestreo)



Submuestreo por eliminación de filas y columnas

Re-muestreo a 1024x1024 (Ejemplo de pérdida de información por el submuestreo preliminar)

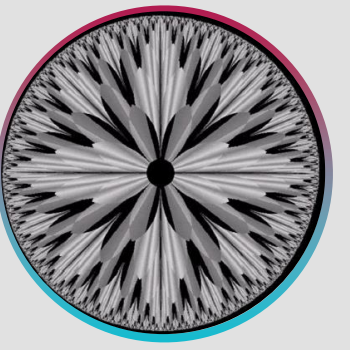


a	b	c
d	e	f

FIGURE 2.20 (a) 1024×1024 , 8-bit image. (b) 512×512 image resampled into 1024×1024 pixels by row and column duplication. (c) through (f) 256×256 , 128×128 , 64×64 , and 32×32 images resampled into 1024×1024 pixels.

Re-muestreo por
duplicación de filas y
columnas

Número de niveles discretos de intensidad: L



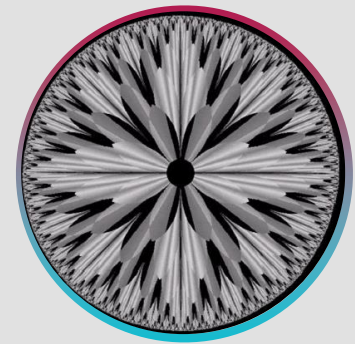
$$L = 2^k$$

Por restricciones de hardware, el número máximo de niveles de la imagen es potencia de 2

Bits necesarios para almacenar una imagen:
 $b = M \times N \times k$

Usualmente decimos que una imagen digital de tamaño $M \times N$ con L niveles de gris tiene una resolución espacial de $M \times N$ píxeles y una resolución de nivel de gris de L niveles

Número de niveles discretos de intensidad: L



$$L = 2^k$$

N/k	1 ($L = 2$)	2 ($L = 4$)	3 ($L = 8$)	4 ($L = 16$)	5 ($L = 32$)	6 ($L = 64$)	7 ($L = 128$)	8 ($L = 256$)
32	1,024	2,048	3,072	4,096	5,120	6,144	7,168	8,192
64	4,096	8,192	12,288	16,384	20,480	24,576	28,672	32,768
128	16,384	32,768	49,152	65,536	81,920	98,304	114,688	131,072
256	65,536	131,072	196,608	262,144	327,680	393,216	458,752	524,288
512	262,144	524,288	786,432	1,048,576	1,310,720	1,572,864	1,835,008	2,097,152
1024	1,048,576	2,097,152	3,145,728	4,194,304	5,242,880	6,291,456	7,340,032	8,388,608
2048	4,194,304	8,388,608	12,582,912	16,777,216	20,971,520	25,165,824	29,369,128	33,554,432
4096	16,777,216	33,554,432	50,331,648	67,108,864	83,886,080	100,663,296	117,440,512	134,217,728
8192	67,108,864	134,217,728	201,326,592	268,435,456	335,544,320	402,653,184	469,762,048	536,870,912

1 byte

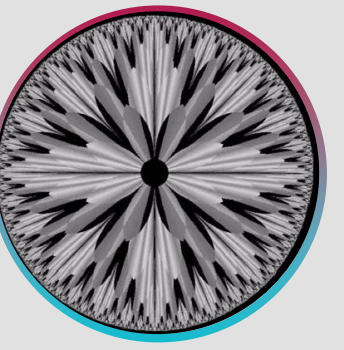


Imagen 8-bits

8 Mb

Bits necesarios para almacenar una imagen en función de N y k

Variación de la cuantificación



$K=8$
256 ng



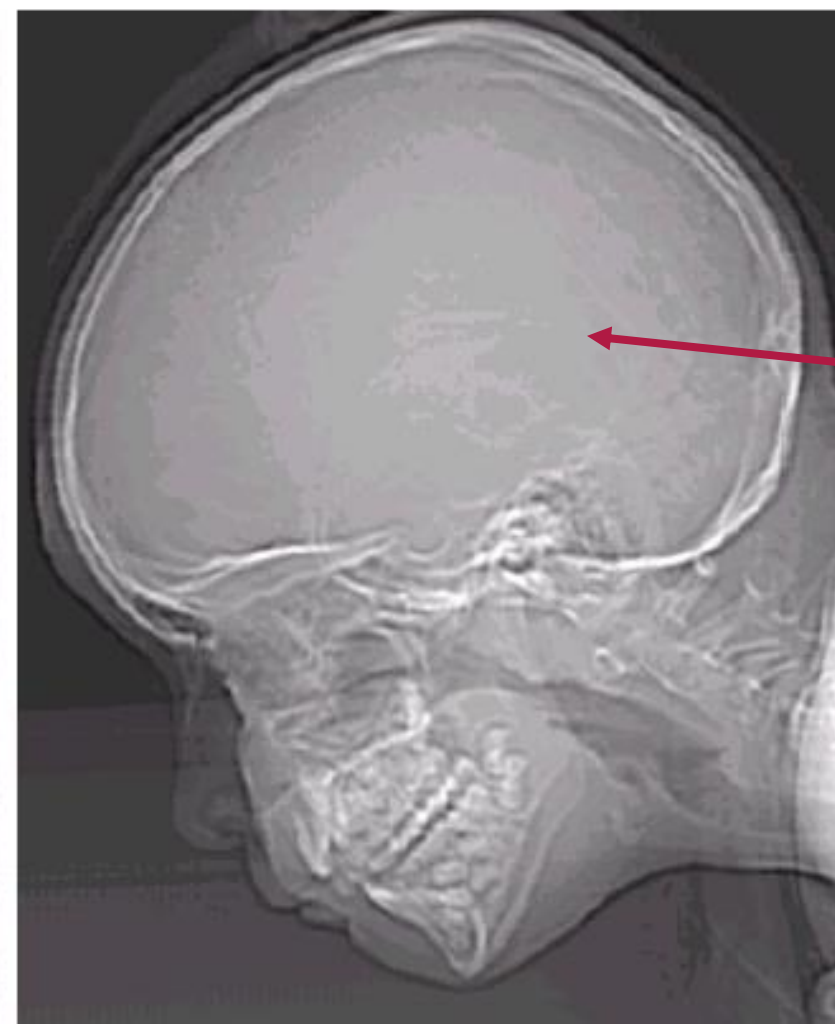
$K=7$
128 ng



$K=6$
64 ng

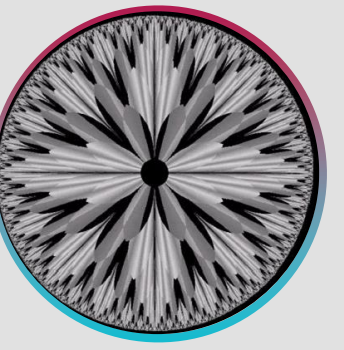


$K=5$
32 ng



Contornos falsos

Variación de la cuantificación



$K=4$
16 ng



$K=3$
8 ng



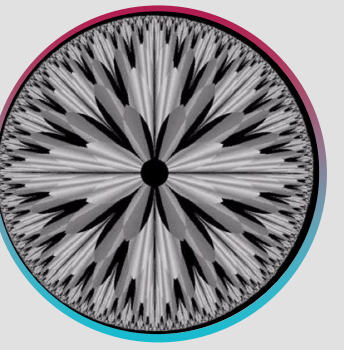
$K=2$
4 ng



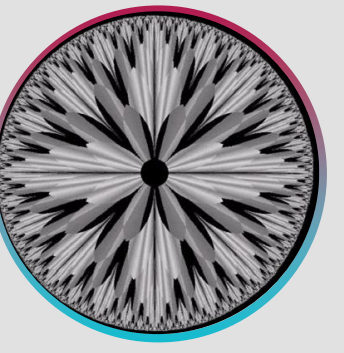
$K=1$
2 ng



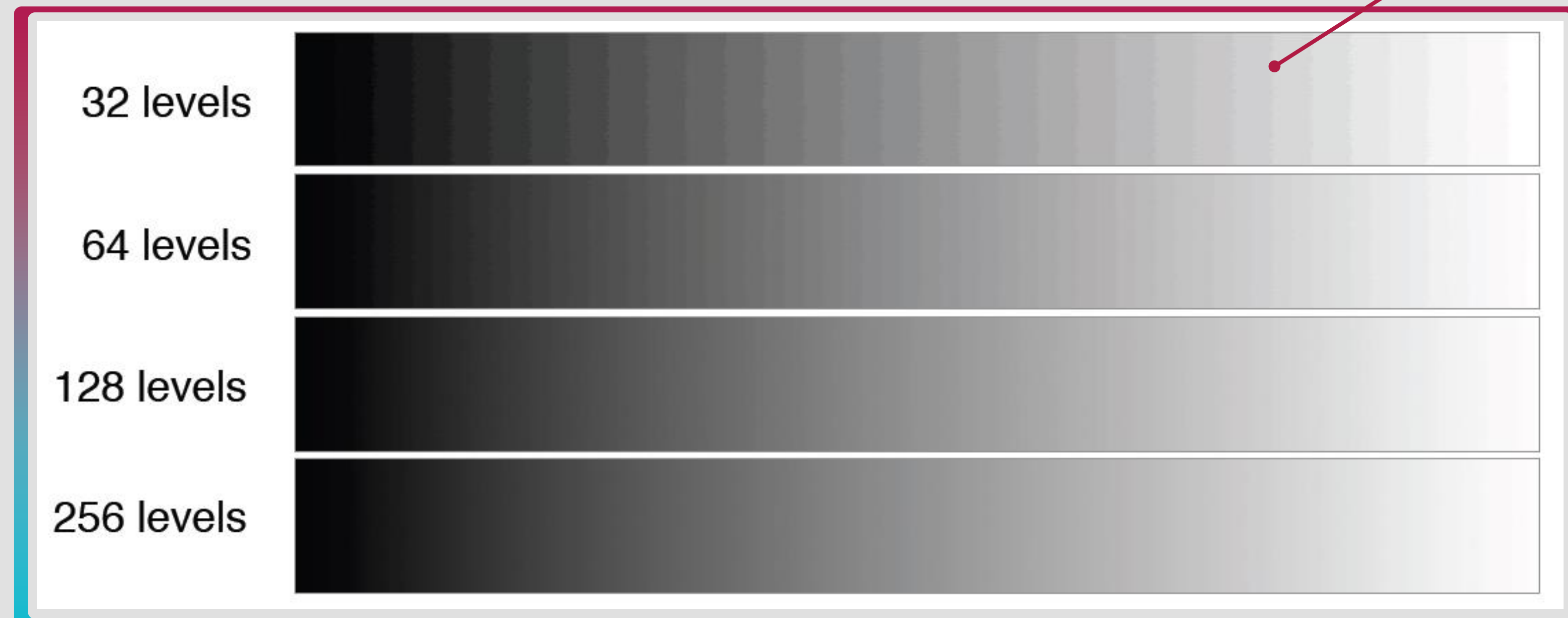
Variación de la cuantificación

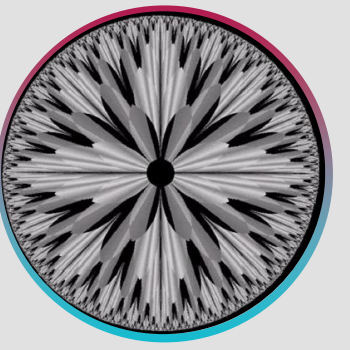


Variación de la cuantificación



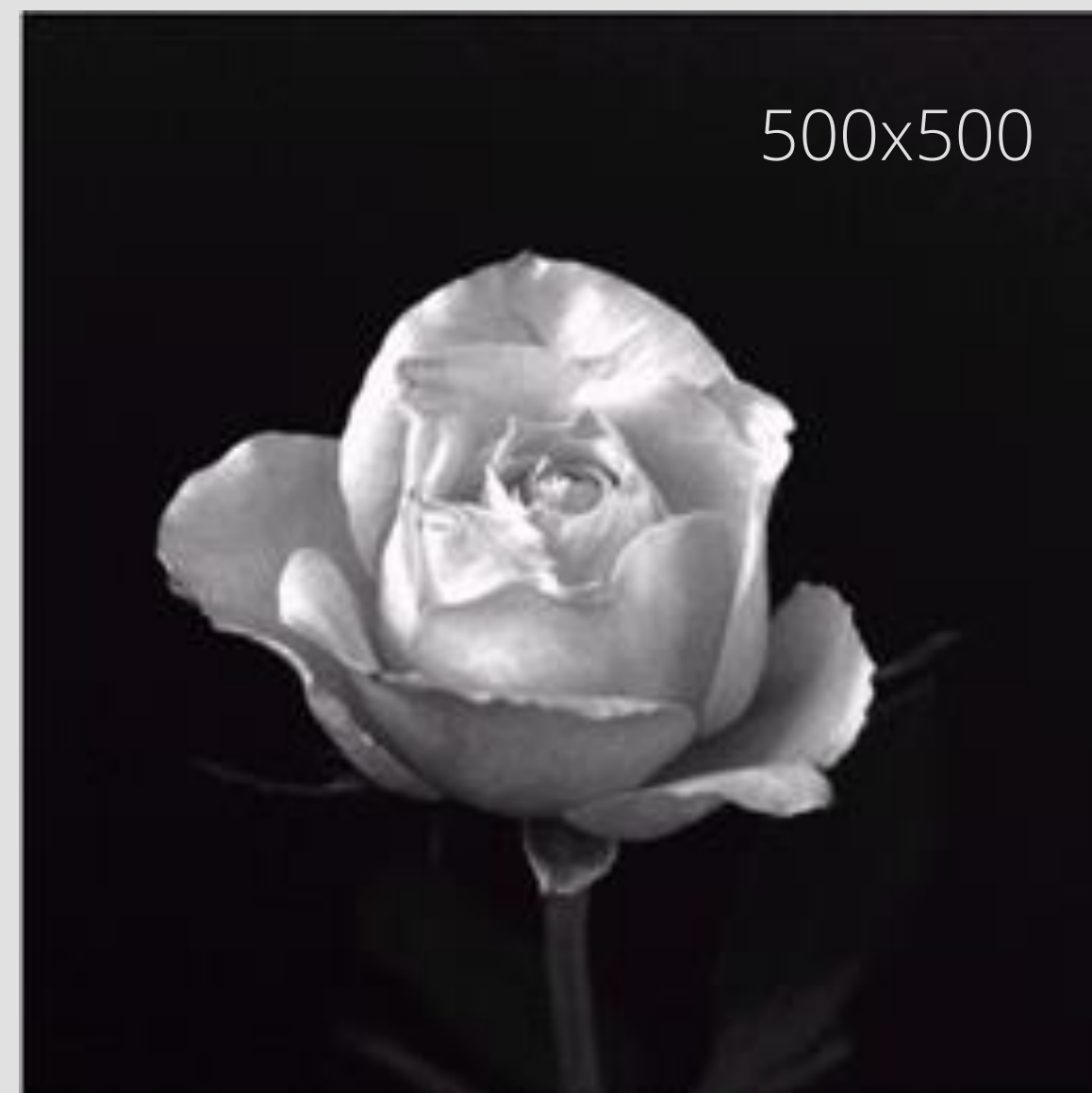
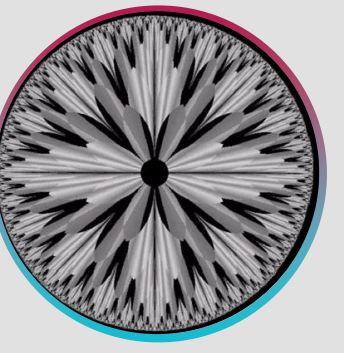
Contornos falsos son más visibles en una rampa





- Utilizar información (datos) conocida para estimar valores en posiciones desconocidas.
- Herramienta básica de remuestreo (zoom +/-), rotación, transformaciones geométricas.

Interpolación como herramienta básica de remuestreo

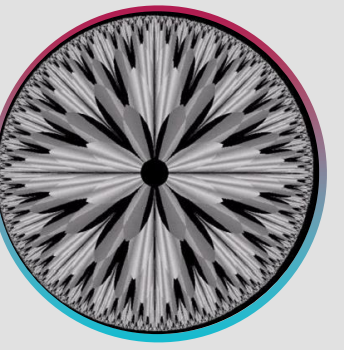


Zoom

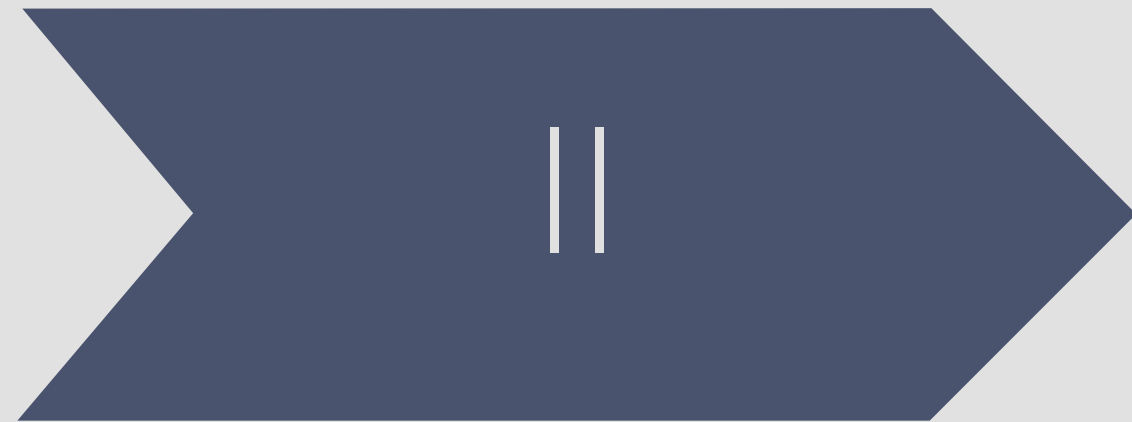


Interpolación: zoom

3 pasos.....



Creación de nuevas posiciones de pixel (malla imaginaria).



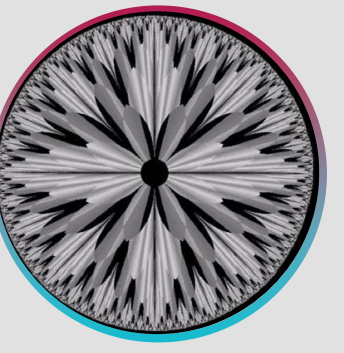
Asignación de niveles de gris a las nuevas posiciones.



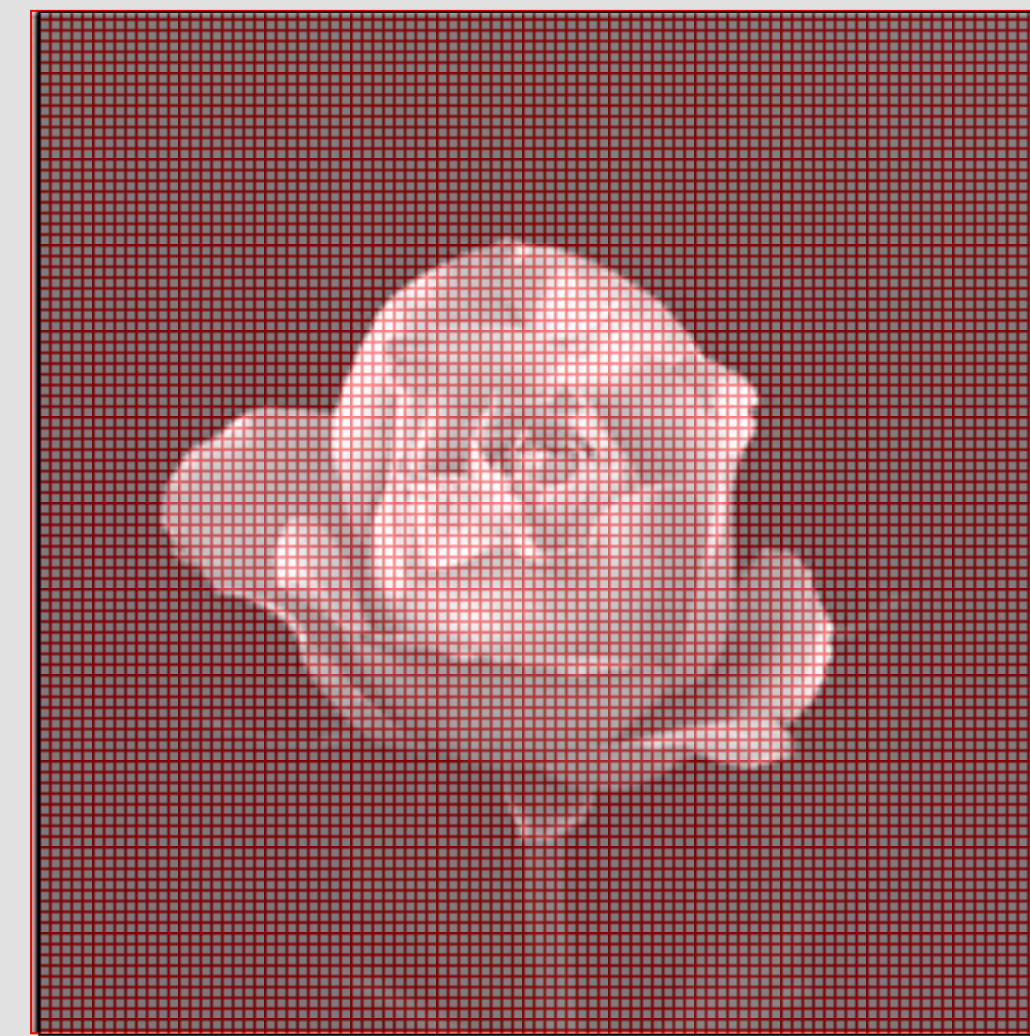
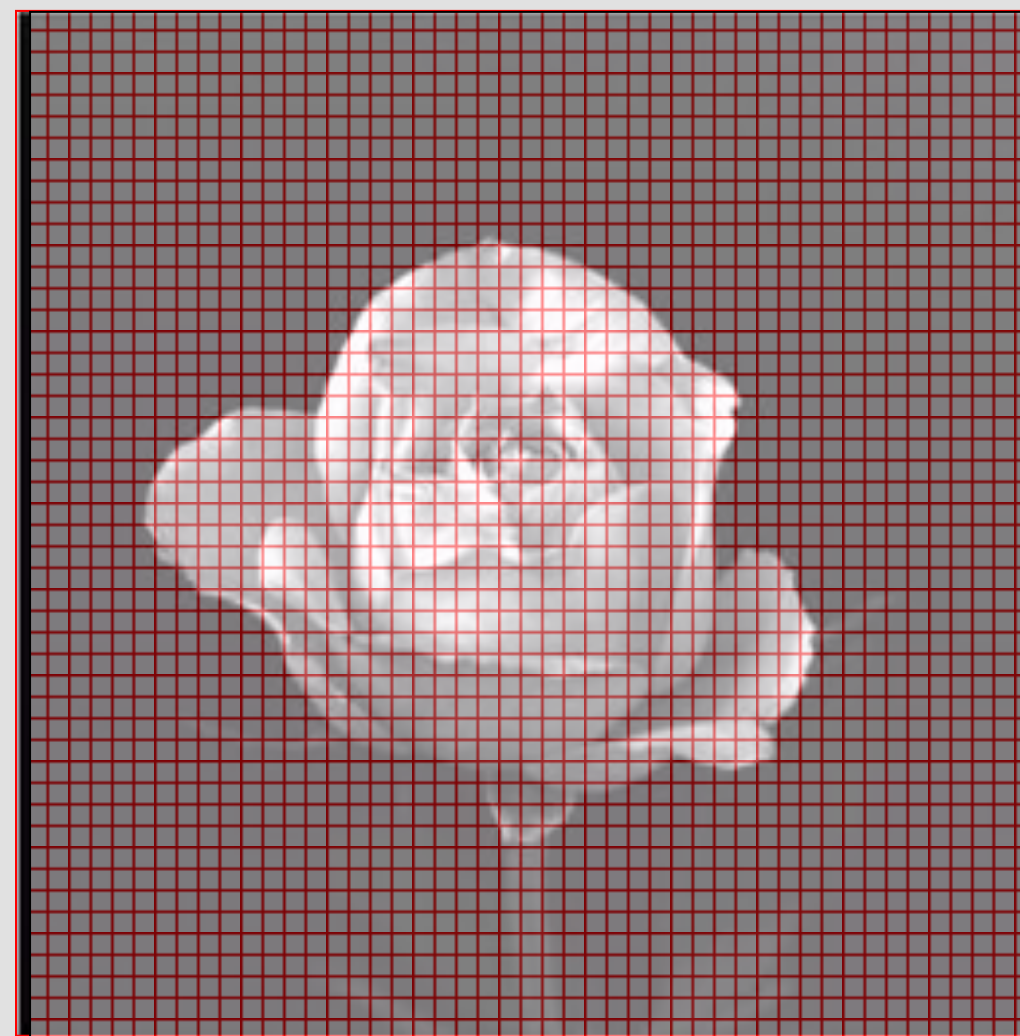
Expansión (de la malla) al tamaño deseado (para preservar la resolución inicial) .

Interpolación: zoom

3 pasos.....



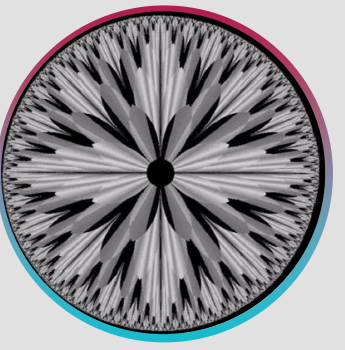
I. Creación de nuevas posiciones de pixel (malla imaginaria).



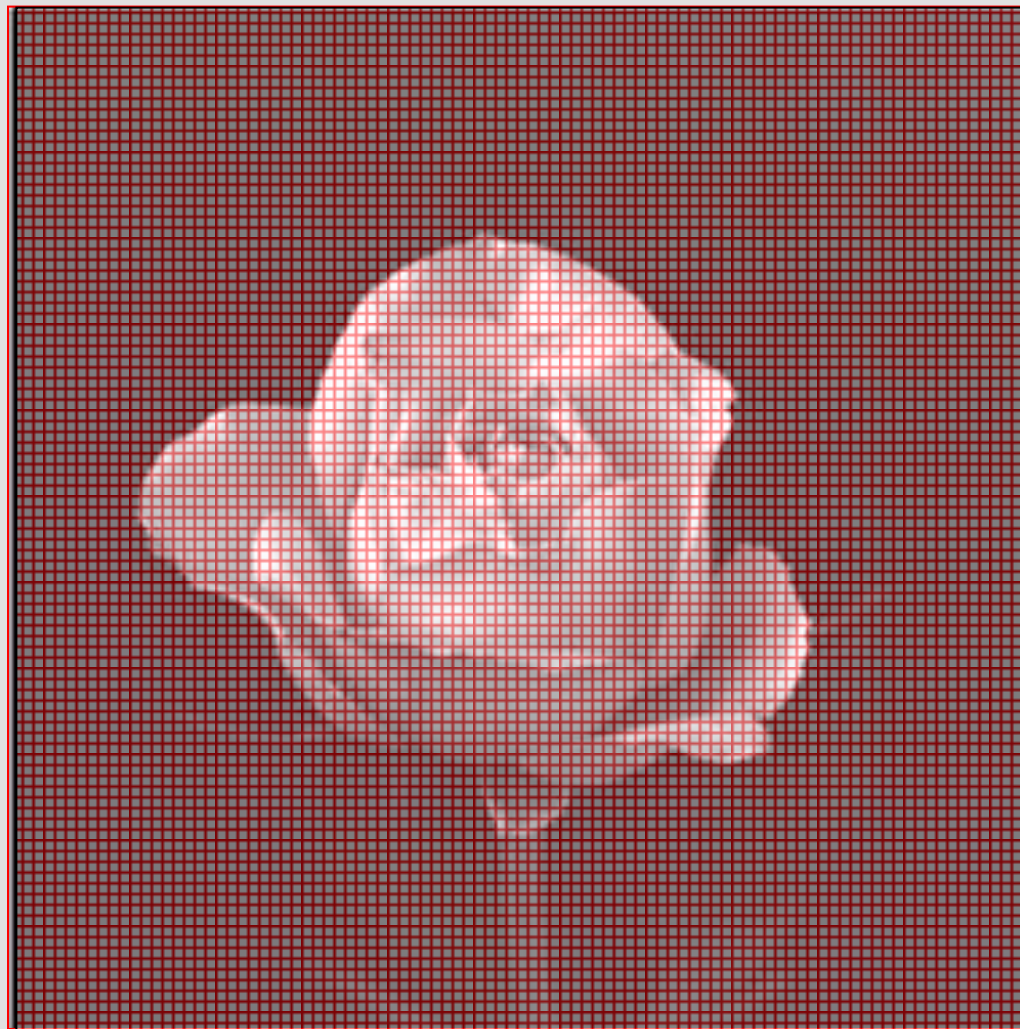
nuevas celdas < pixel original

Interpolación: zoom

3 pasos.....



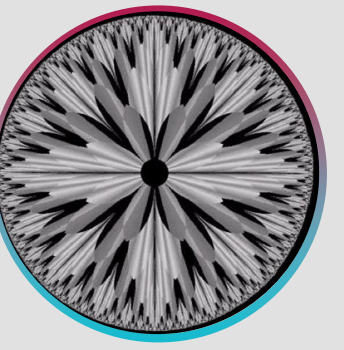
II. Asignación de niveles de gris a las nuevas posiciones.



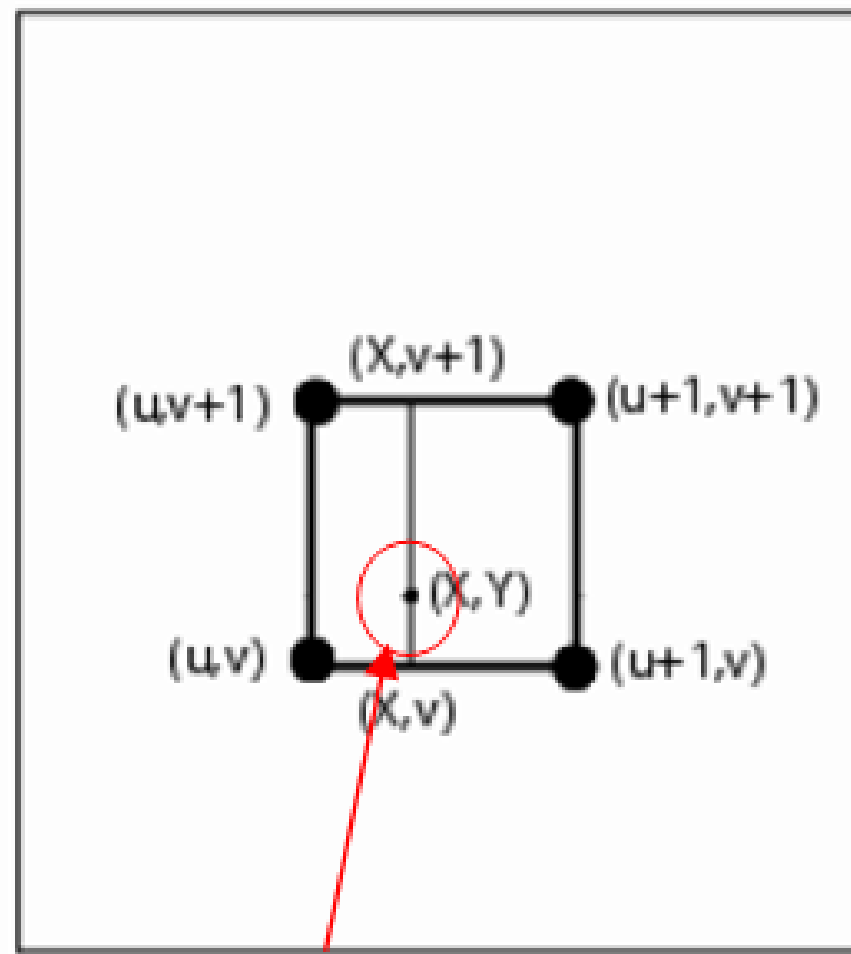
Interpolación: Utilizar información (datos) conocida para estimar valores en posiciones desconocidas

Interpolación: zoom

3 pasos.....



II. Asignación de niveles de gris a las nuevas posiciones.



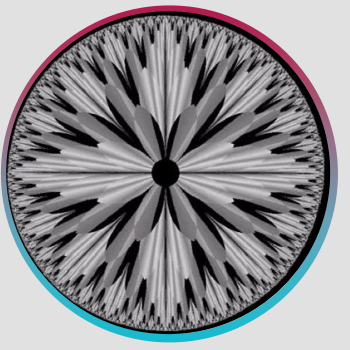
Punto en la nueva imagen

Interpolación del vecino más próximo: Nivel de gris del punto más cercano en la imagen original

$$I(X,Y) = I(u,v)$$

Interpolación: zoom

3 pasos.....



II. Asignación de niveles de gris a las nuevas posiciones.

Interpolación bilineal: promedio ponderado de los 4 vecinos más cercanos

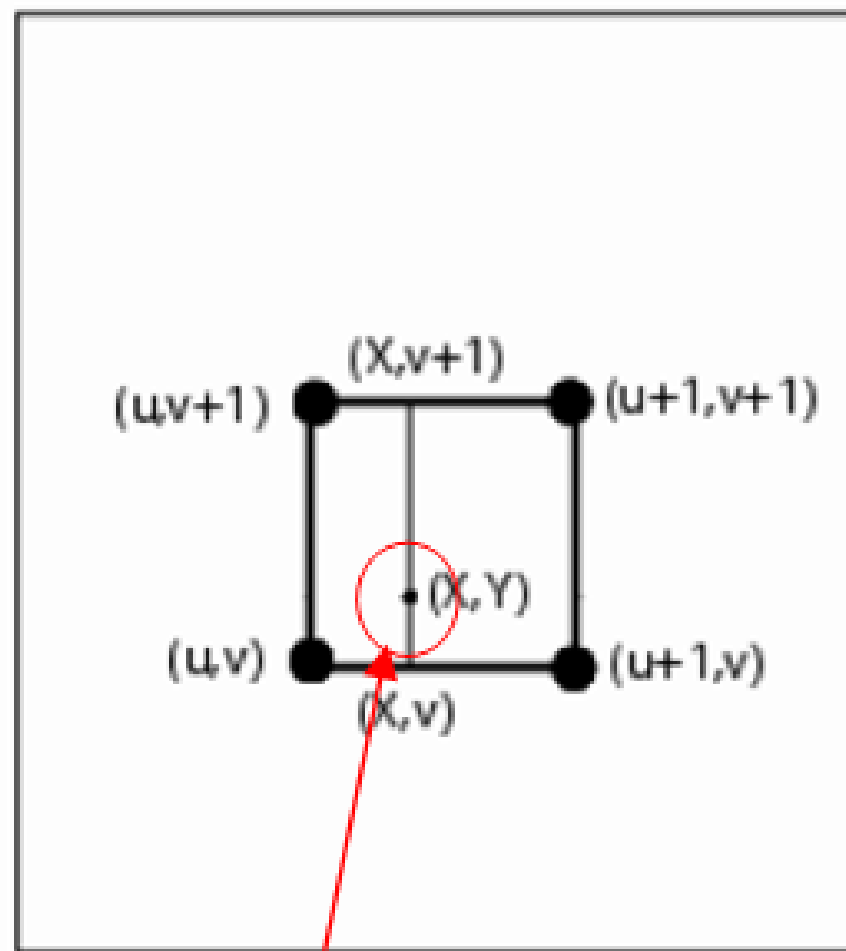
$$I(X, Y) = W_{u,v}I(u, v) + W_{u+1,v}I(u+1, v) \\ + W_{u,v+1}I(u, v+1) + W_{u+1,v+1}I(u+1, v+1)$$

$$W_{u,v} = (u+1-x)(v+1-y)$$

$$W_{u+1,v} = (x-u)(v+1-y)$$

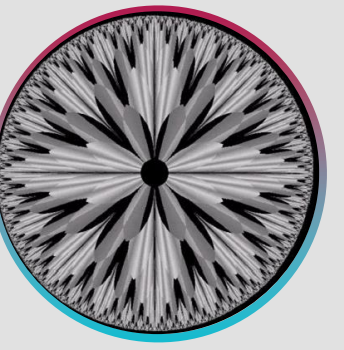
$$W_{u,v+1} = (u+1-x)(y-v)$$

$$W_{u+1,v+1} = (x-u)(y-v)$$



Punto en la nueva imagen

Ejemplos de zoom



Vecino mas próximo (+ rápido
pero efectos escalera en los
contornos y pixelado)

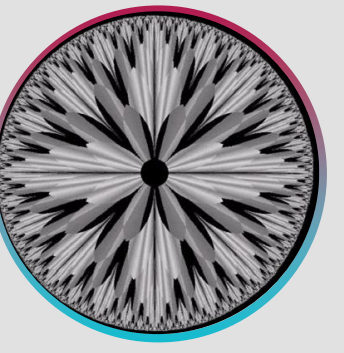


Interpolación bilineal

a	b	c
d	e	f

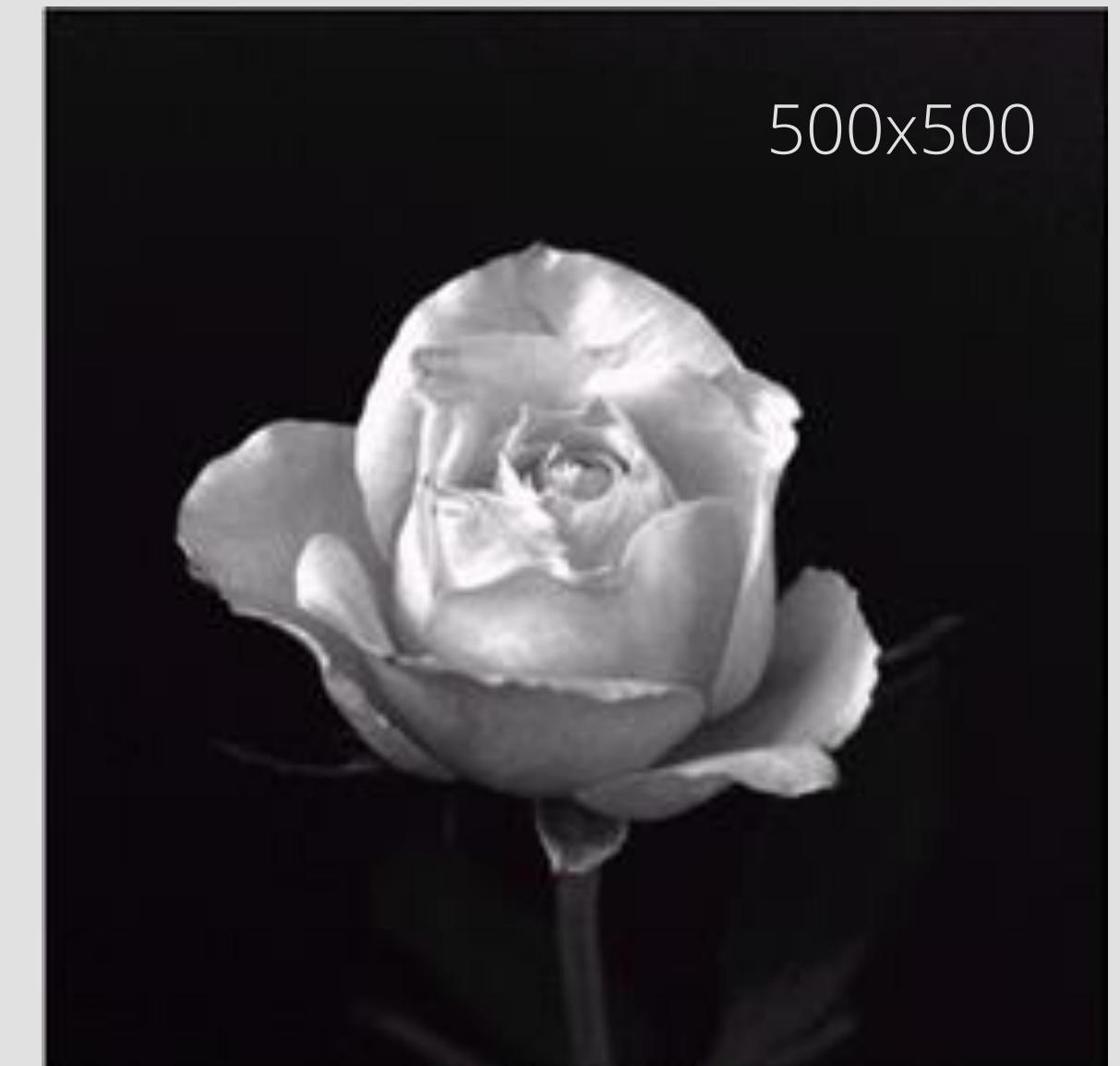
FIGURE 2.25 Top row: images zoomed from 128×128 , 64×64 , and 32×32 pixels to 1024×1024 pixels, using nearest neighbor gray-level interpolation. Bottom row: same sequence, but using bilinear interpolation.

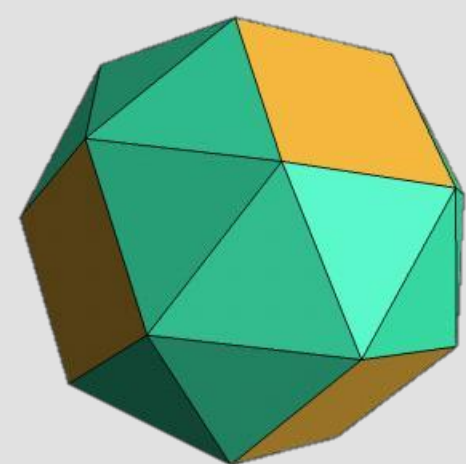
Zoom - : supresión de píxeles



Zoom-

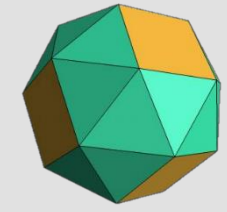
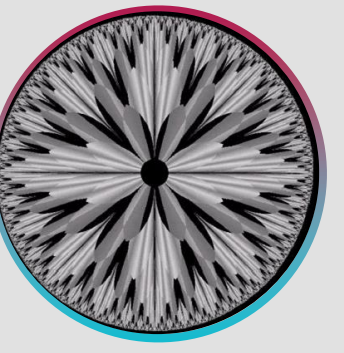
- Eliminación de filas y columnas
- Promedio o mediana de los vecinos



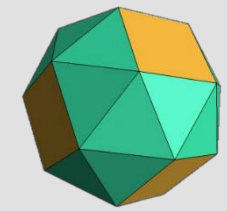


Geometría de la imagen

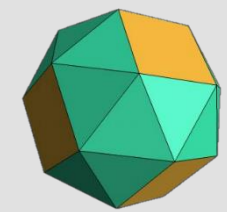
Geometría de la imagen= relaciones básicas entre píxeles



Vecinos de un pixel

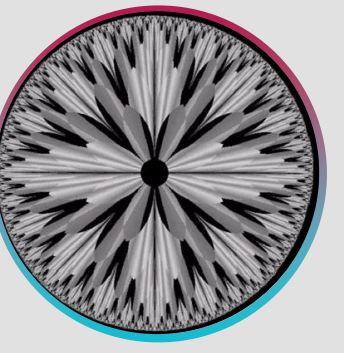


Adyacencia, conectividad, regiones y fronteras

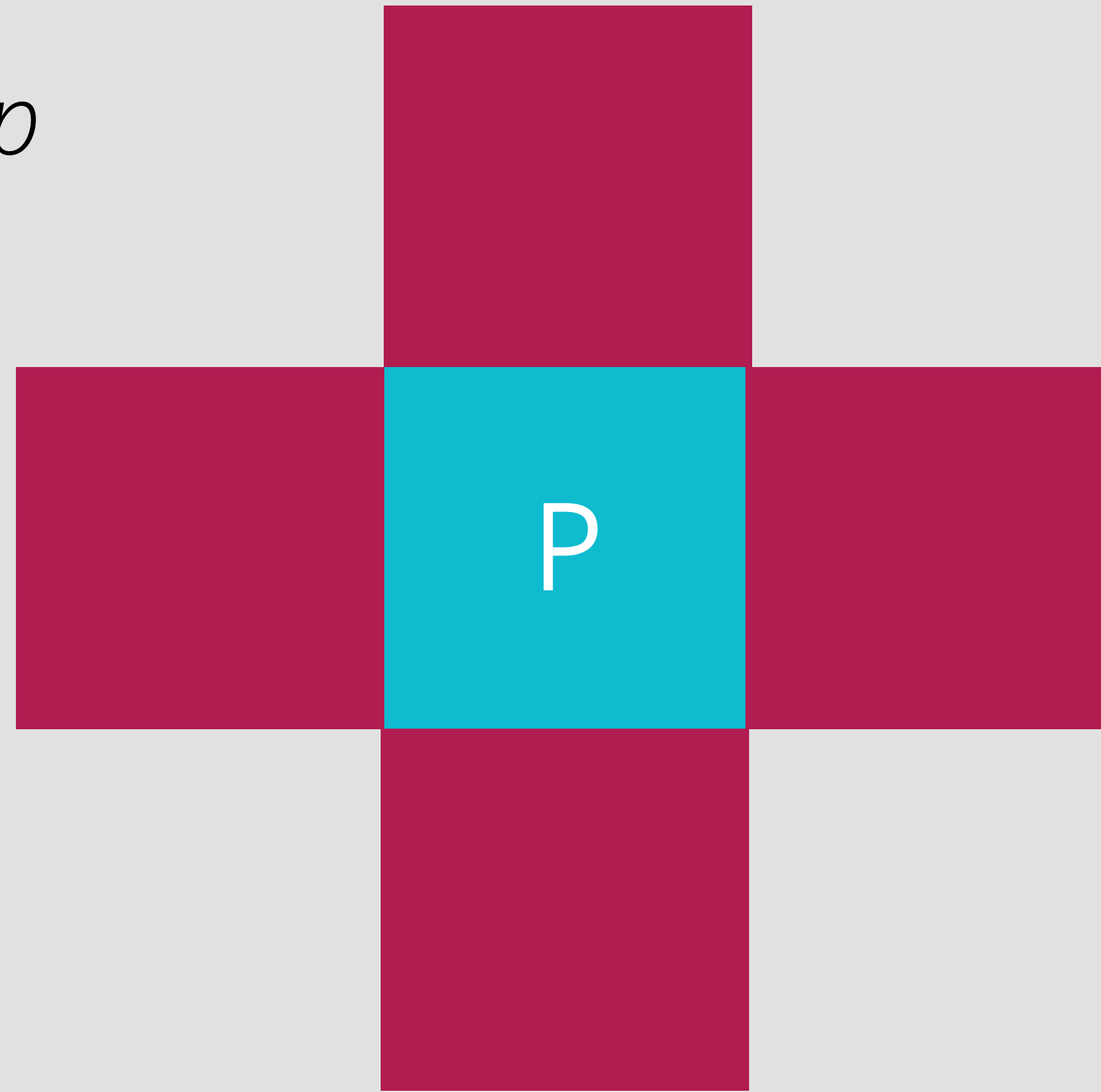


Medidas de distancia

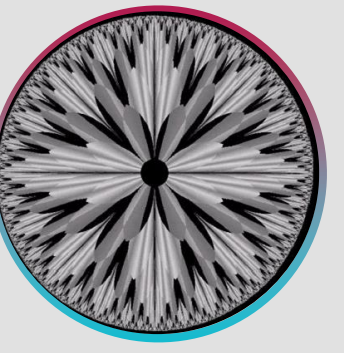
Vecinos de un pixel $p(x,y)$



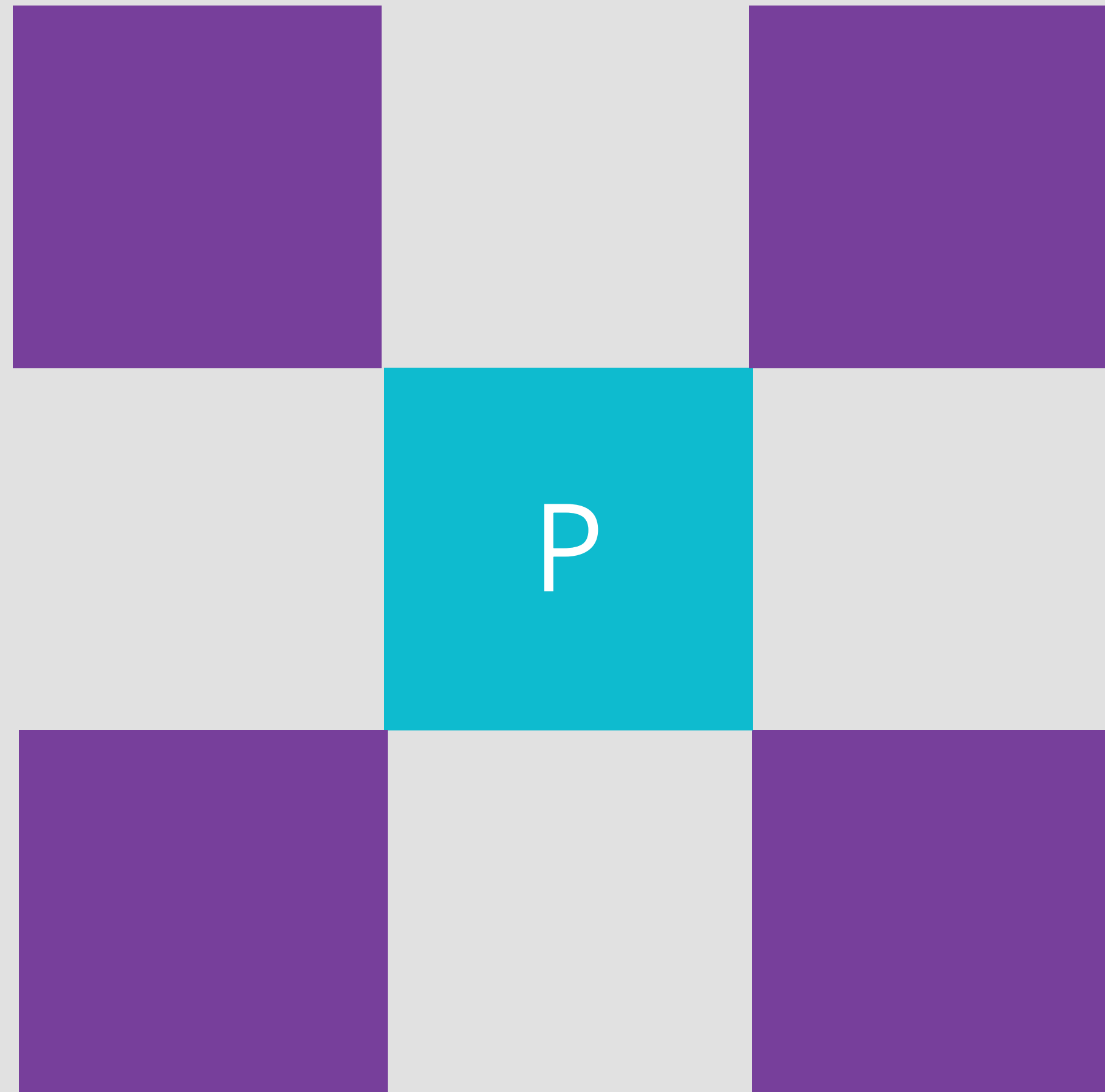
$N_4(p)$: 4-vecinos de p



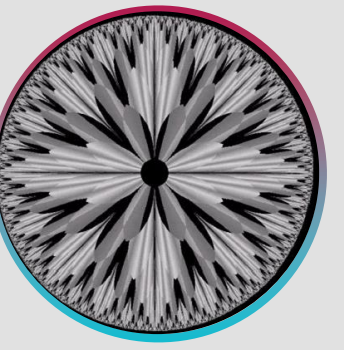
Vecinos de un pixel $p(x,y)$



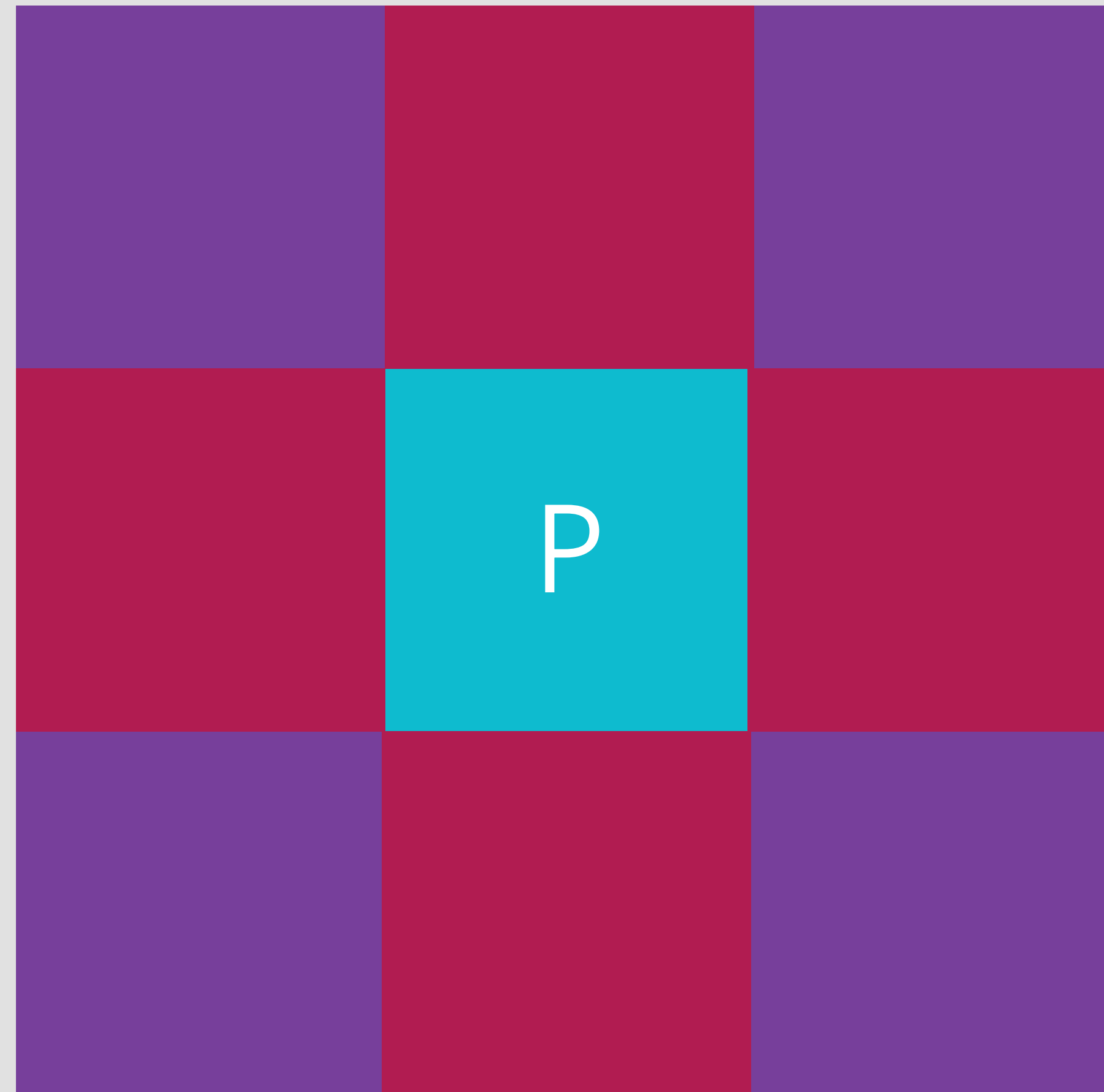
$N_D(p)$: vecinos
diagonales de p

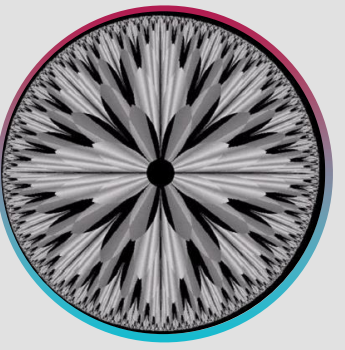


Vecinos de un pixel $p(x,y)$



$N_8(p)$: 8-vecinos de p





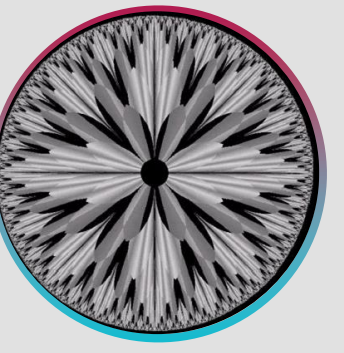
✓ Base para definir la conectividad (que a la vez es el concepto fundamental para definir regiones y fronteras)

○ 2 píxeles son **adyacentes** si:
Son vecinos
Satisfacen algún criterio de similaridad:

- Mismo nivel de gris
- Diferencia máxima de niveles de gris
- Tienen un nivel de gris que pertenece a un conjunto V limitado de niveles de gris.

✎ Ejemplo imagen binaria (ng 0 o 1):
 $V = \{1\}$: 2 pixeles son adyacentes si son vecinos y tienen un ng = 1.

Tipos de adyacencia entre p y q



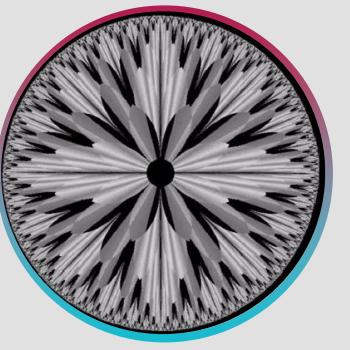
I 4-adyacencia:

- $q \in N_4(p)$ Y
- p y q tienen valores de V

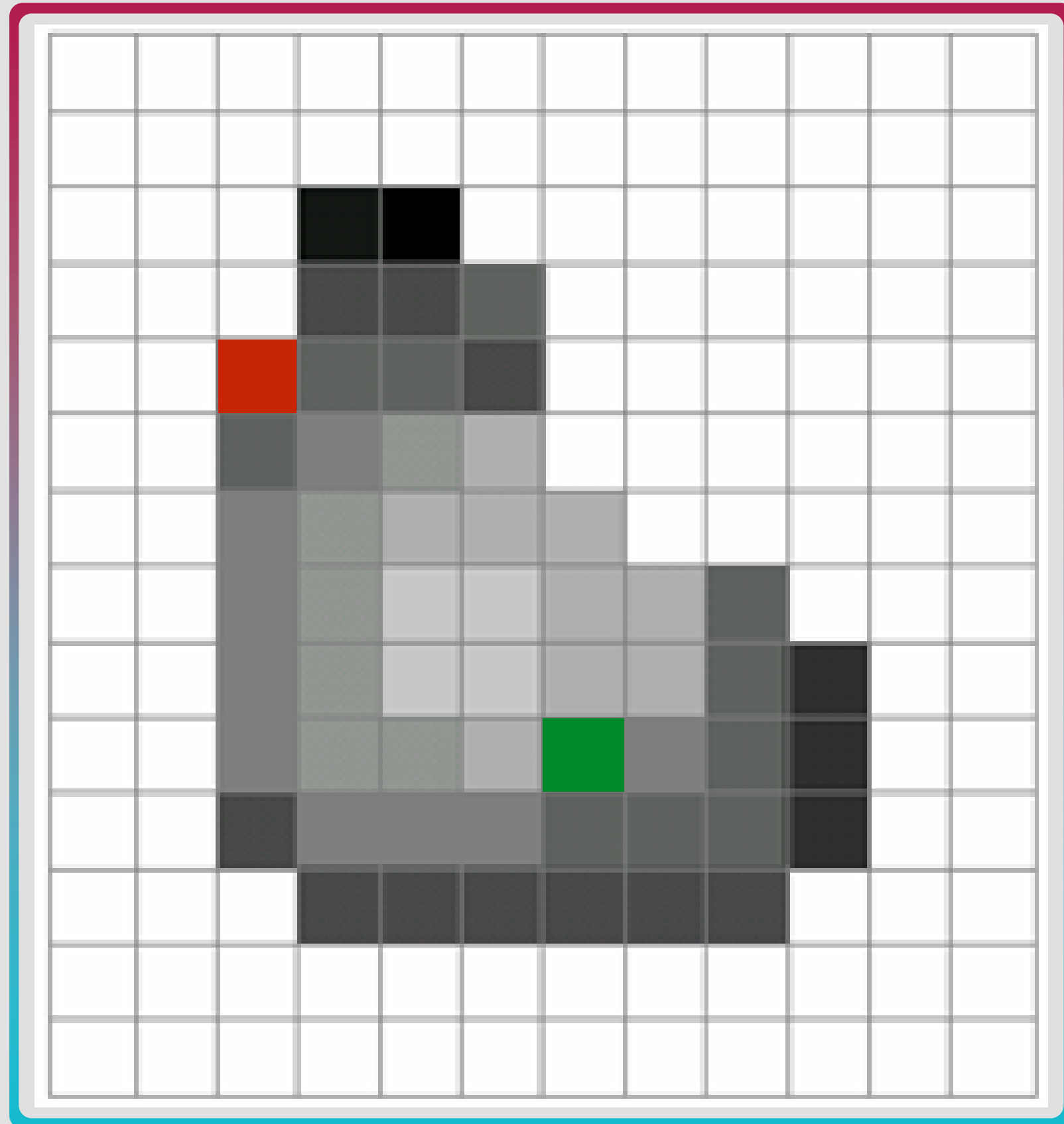
II 8-adyacencia:

- $q \in N_8(p)$ Y
- p y q tienen valores de V

Camino de $p(x,y)$ a $q(s,t)$



n = Longitud del camino

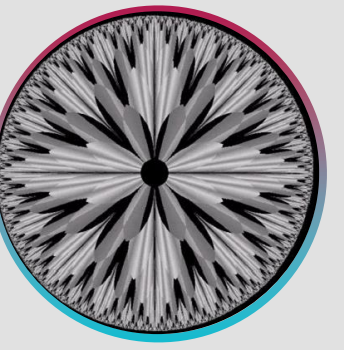


$$(x_o, y_o), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$$

$$(x_o, y_o) = (x, y)$$

$$(x_n, y_n) = (s, t)$$

(x_i, y_i) y (x_{i-1}, y_{i-1}) son adyacentes



Camino cerrado:

$$(x_0, y_0) = (x_n, y_n)$$

Más sobre caminos

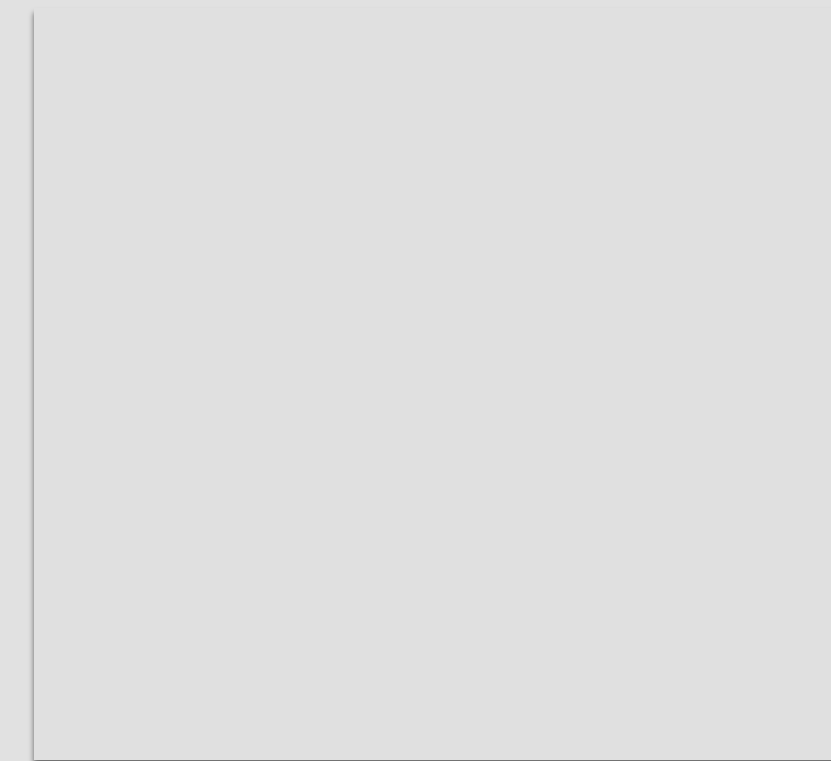
4-,8- caminos:

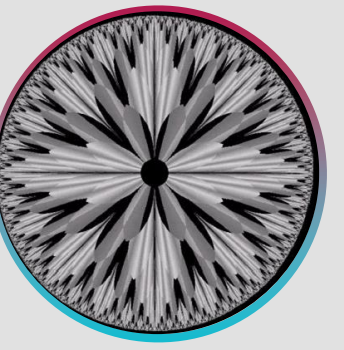
Camino dependiendo de la adyacencia especificada.

0	1	1
0	1	0
0	0	1

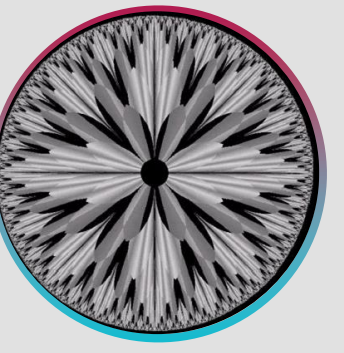
0	1	1
0	1	0
0	0	1

8-camino





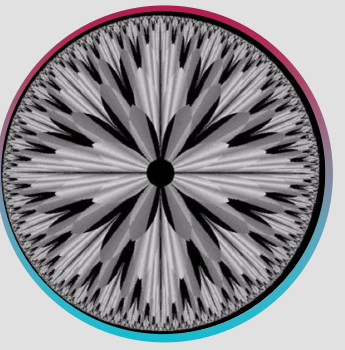
- Dentro de un subconjunto S de píxeles de la imagen:
 - p y q son conexos si existe un camino entre los dos, compuesto por píxeles de S
- **Componente conexo:**
 - Conjunto de píxeles conexos a un pixel p en S .
 - Si sólo hay un componente conexo en S , se llama *conjunto conexo*.



Región:

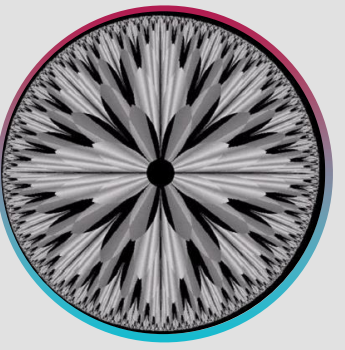
Subconjunto de píxeles de una imagen que es un conjunto conexo.

- **Regiones adyacentes (4 y 8):**
Su unión forma un conjunto conexo.
- **Regiones disyuntas:**
No son adyacentes.



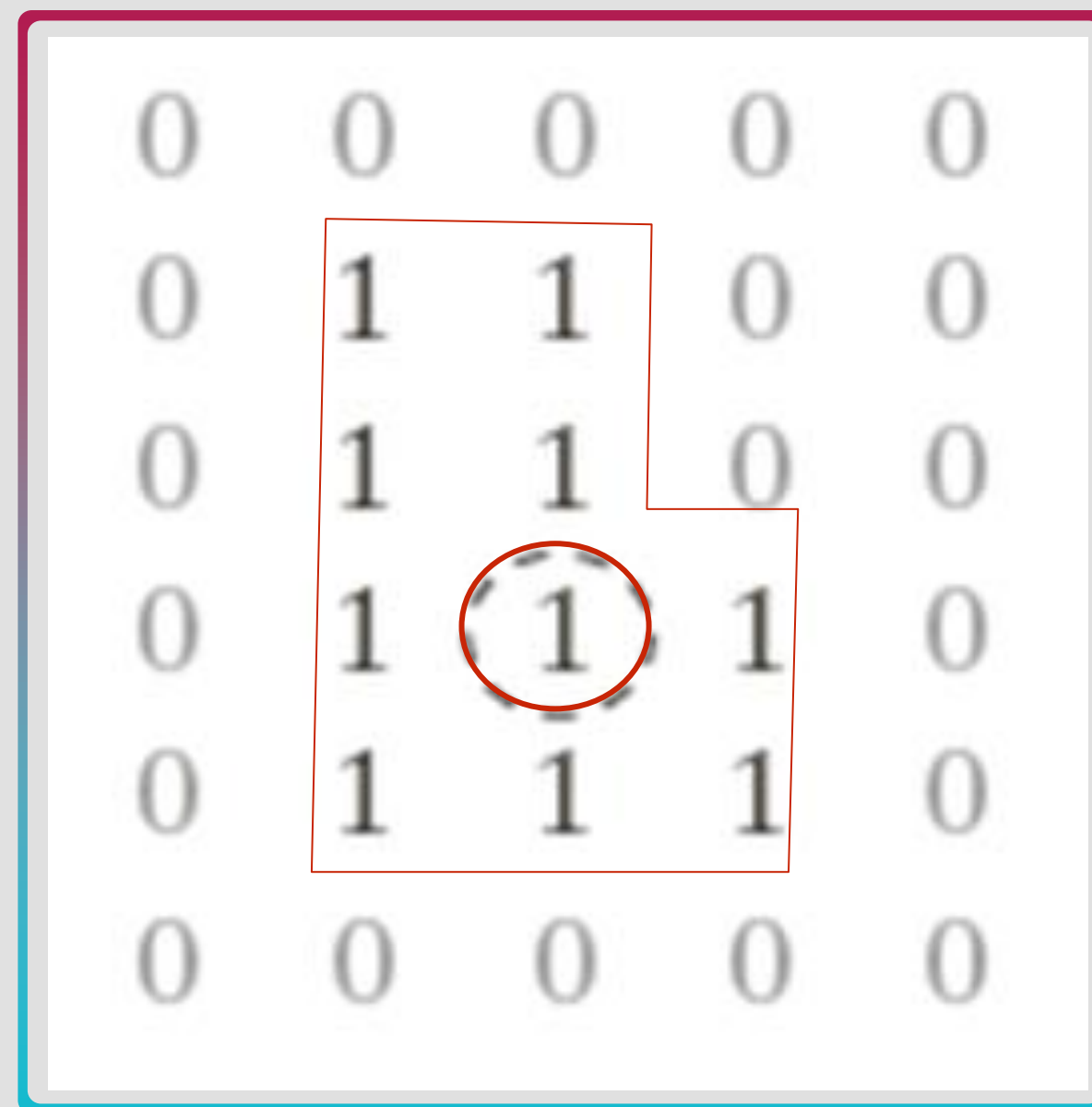
El tipo de adyacencia debe ser especificado

R_i y R_j son regiones (de 1s) adyacentes si se usa 8-adyacencia. Con 4-adyacencia son disyuntas



Frontera de una región:

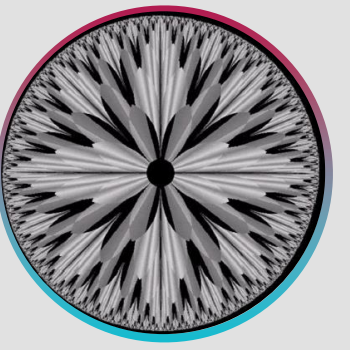
Conjunto de píxeles de la región que tienen uno o más vecinos que no pertenecen a la región.



El tipo de adyacencia debe ser especificado

No haría parte de la frontera si se usa 4-adyacencia

Regla general: 8-adyacencia

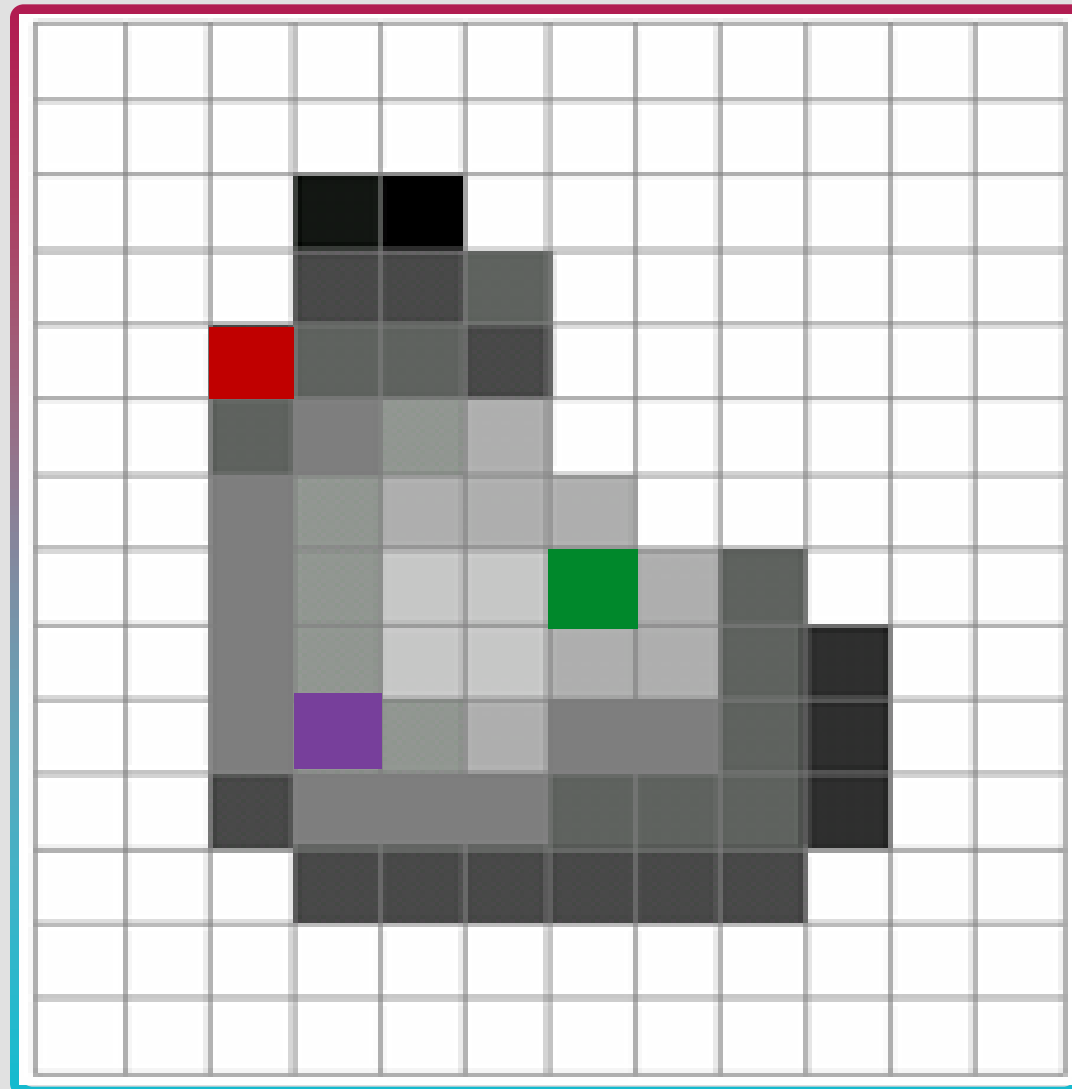
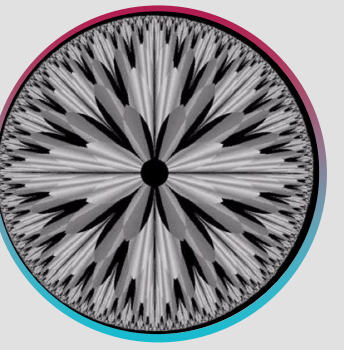


Frontera
Camino cerrado.

Borde

- Discontinuidad del nivel de gris en un punto
- Puntos donde la derivada de la imagen es superior a un umbral.

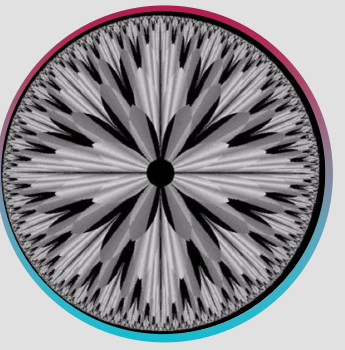
En imágenes binarias: *Borde = Frontera*



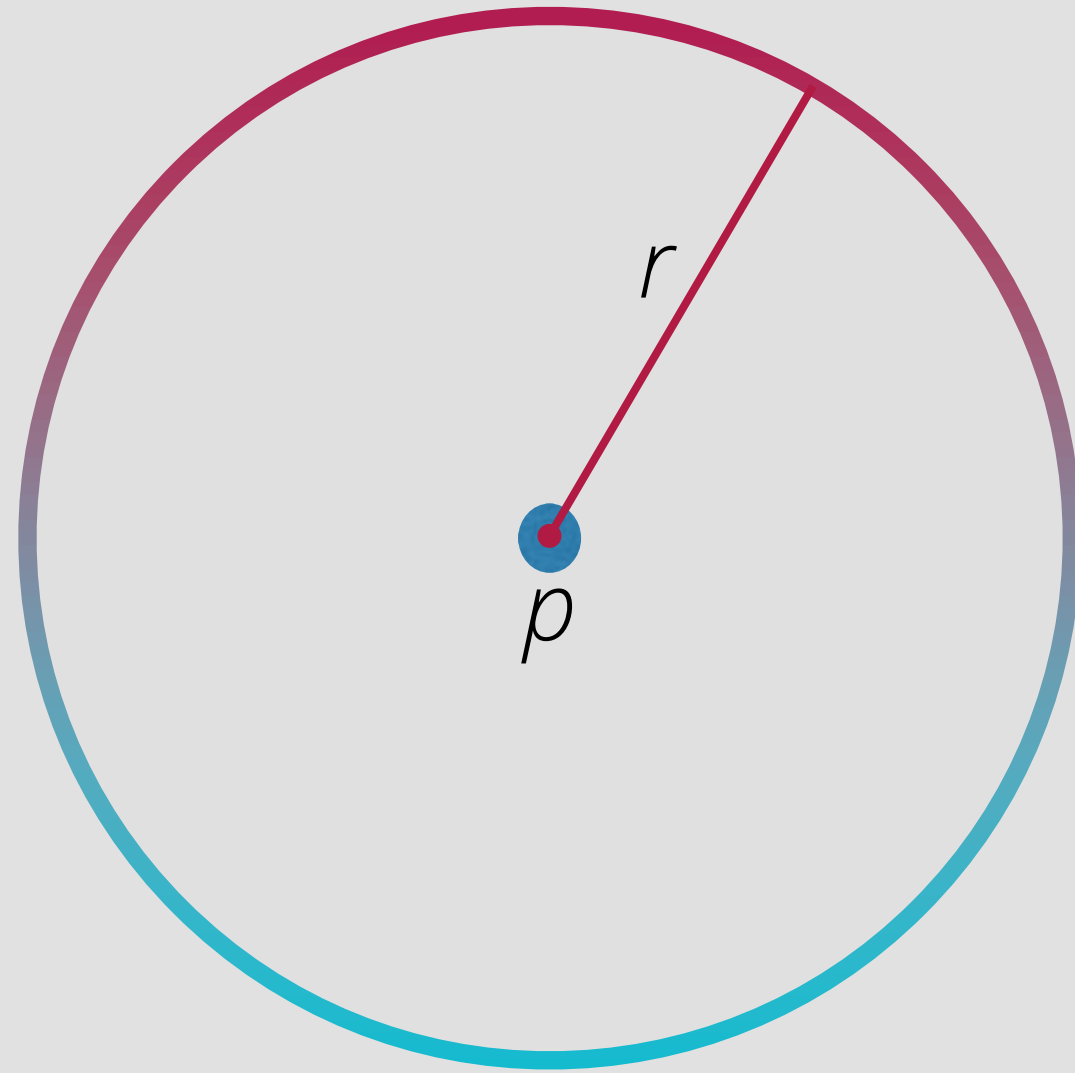
$p: (x,y)$ $q: (s,t)$ $z: (v,w)$

D es una función de distancia o métrica si:

- $D(p,q) \geq 0$ ($D(p,q) = 0$ ssi $p=q$),
- $D(p,q) = D(q,p)$,
- $D(p,z) \leq D(p,q) + D(q,z)$



$p: (x,y)$ $q: (s,t)$



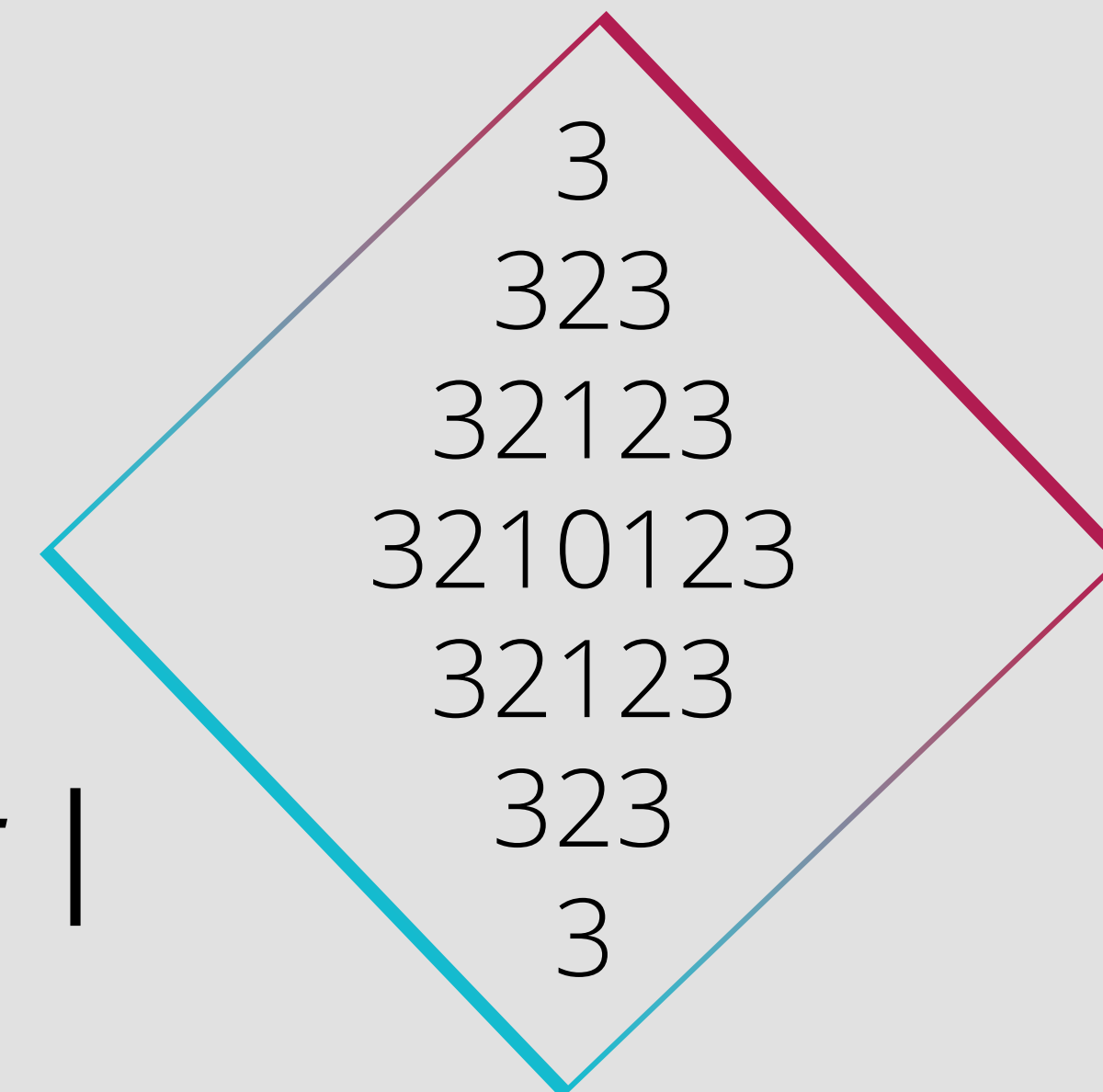
$m \mid D_e(p,m) < r$

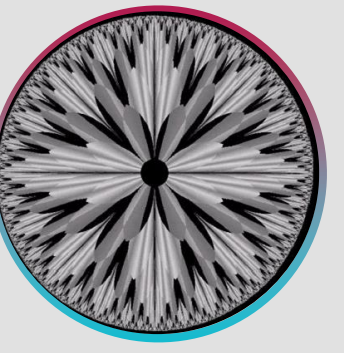
Distancia euclidiana:

$$D_e(p, q) = \sqrt{(x - s)^2 + (y - t)^2}$$

Distancia D_4 (citi-block):

$$D_4(p, q) = |x - s| + |y - t|$$



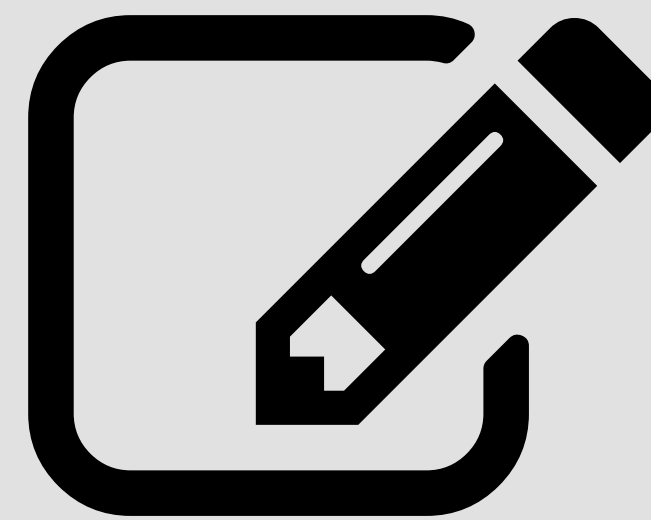


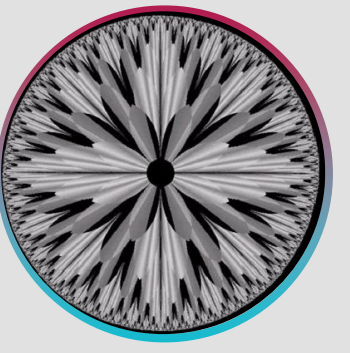
3	3	3	3	3	3	3
3	2	2	2	2	2	3
3	2	1	1	1	2	3
3	2	1	0	1	2	3
3	2	1	1	1	2	3
3	2	2	2	2	2	3
3	3	3	3	3	3	3

Distancia D_8 :

$$D_8(p,q) = \max (| x - s | , | y - t |)$$

Operaciones entre imágenes



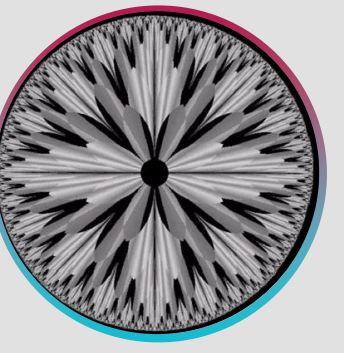


Operaciones aritméticas

- Adición
- Sustracción
- Máximo
- Mínimo

Operaciones lógicas

- AND
- OR
- XOR
- NOT



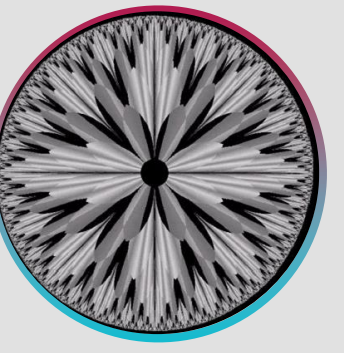
- En la teoría:
$$s(x,y) = f(x,y) + g(x,y)$$
- En la práctica:
$$s(x,y) = \text{gain} * (f(x,y) + g(x,y) - \text{offset})$$
- Otra solución:
Dejar en 255 (niv. de gris max) todos los píxeles que exceden 255

Llevar el mínimo a 0

$$1. s_m = s - \min(s)$$

$$2. s_f = K (s_m / \max(s_m))$$

Reescalar los valores en el rango $[0, K]$



– En la teoría:

$$s(x,y) = f(x,y) - g(x,y)$$

– En la práctica:

$$s(x,y) = \text{gain} * (f(x,y) - g(x,y) + \text{offset})$$

– Ejemplos:

1. Sumar 255 a cada pixel y luego dividir entre 2

2. Llevar el mínimo a 0 (sumando el valor + negativo) y luego escalar todos los valores al intervalo [0,255], multiplicando cada pixel por 255/max de la imagen.

Ejemplos de sustracción

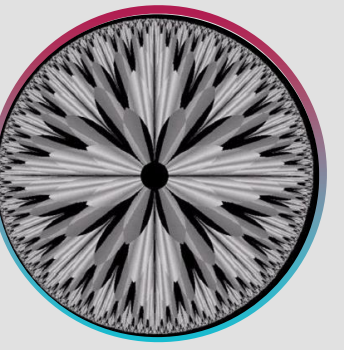


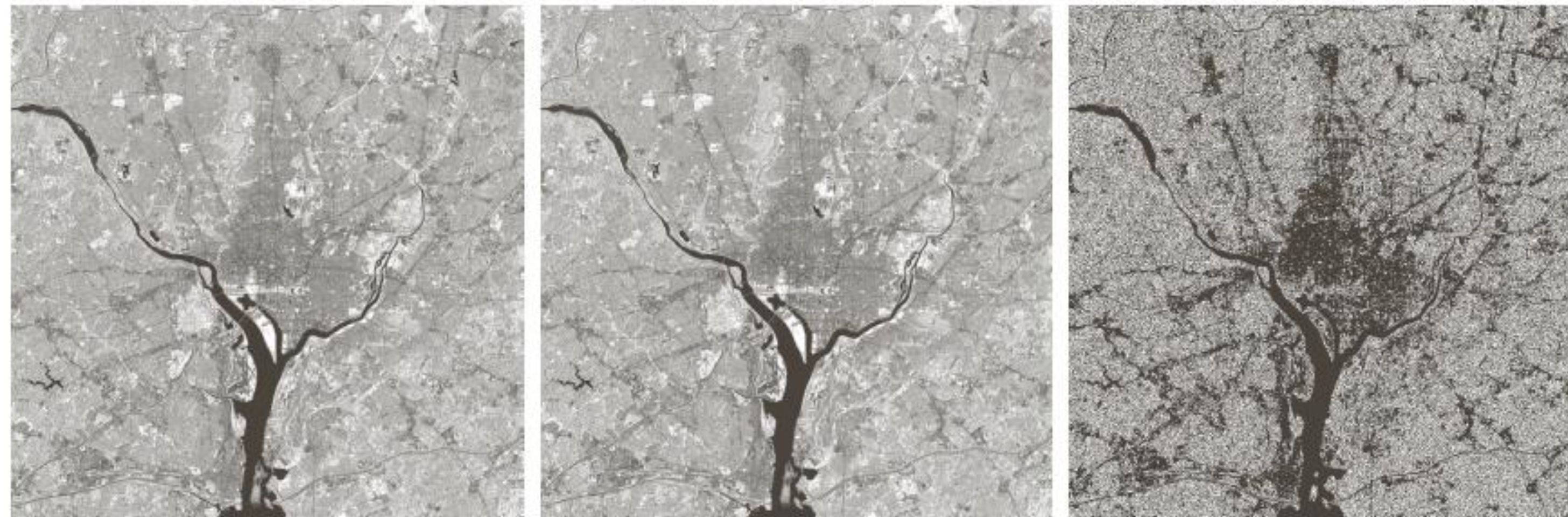
Imagen infrarroja

Bit menos significativo
de cada pixel = 0

A

B

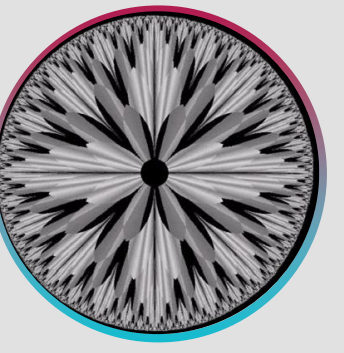
A-B reescalado en [0,255]



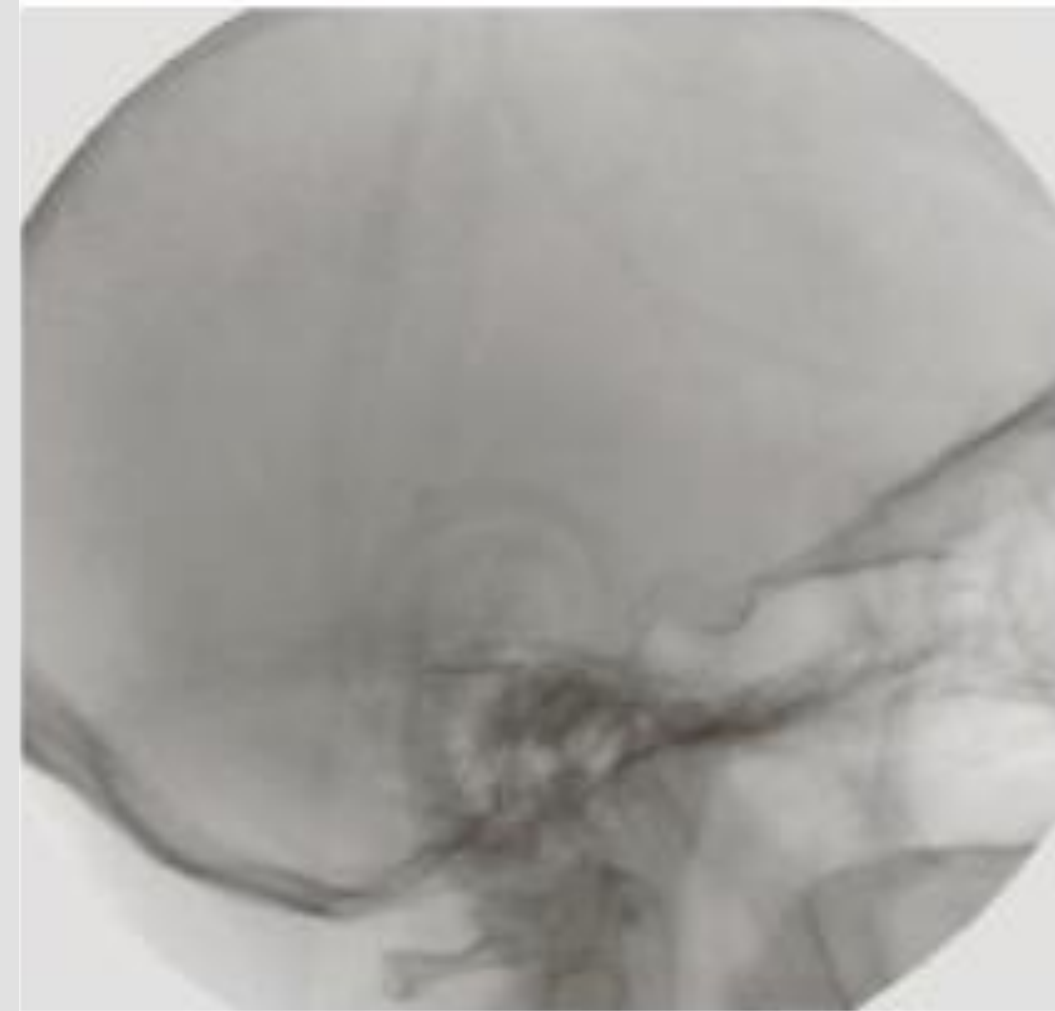
a b c

FIGURE 2.27 (a) Infrared image of the Washington, D.C. area. (b) Image obtained by setting to zero the least significant bit of every pixel in (a). (c) Difference of the two images, scaled to the range [0, 255] for clarity.

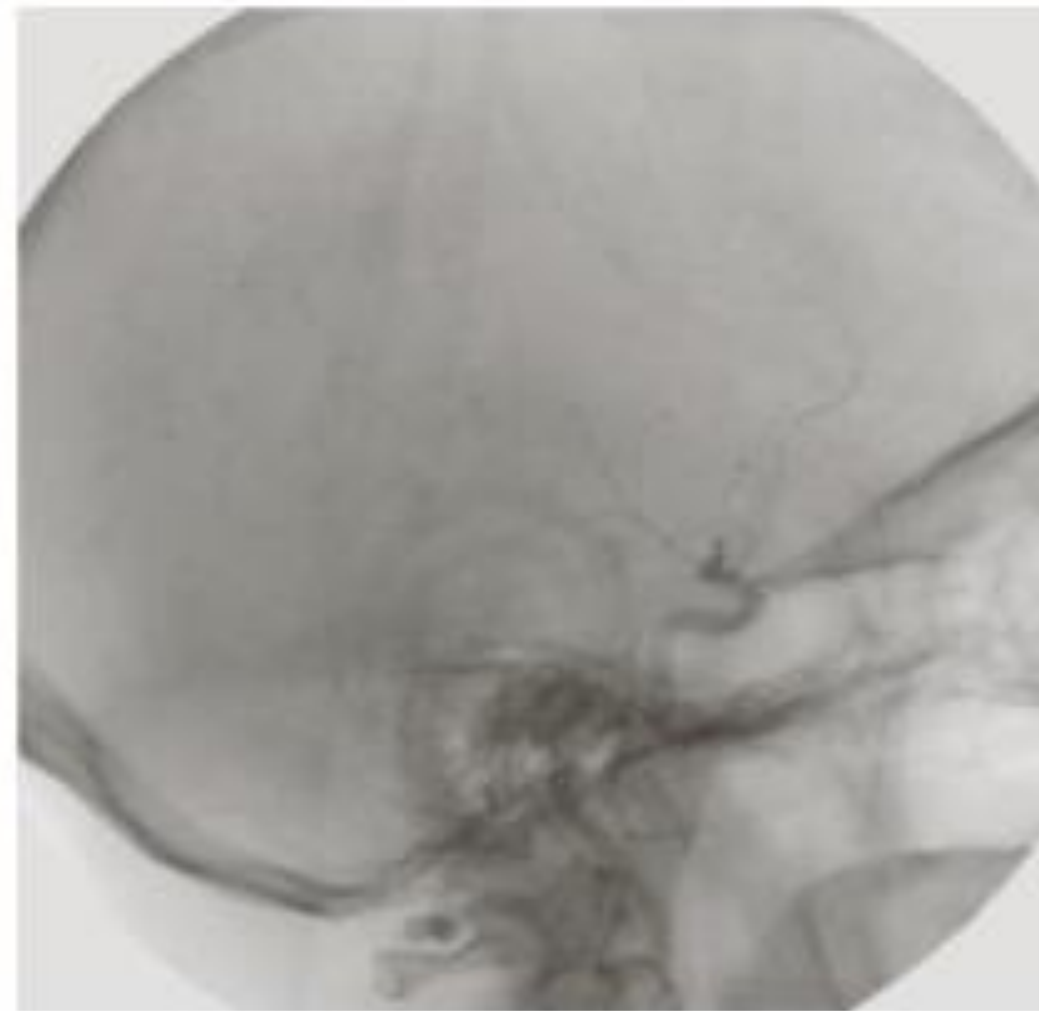
Ejemplos de sustracción



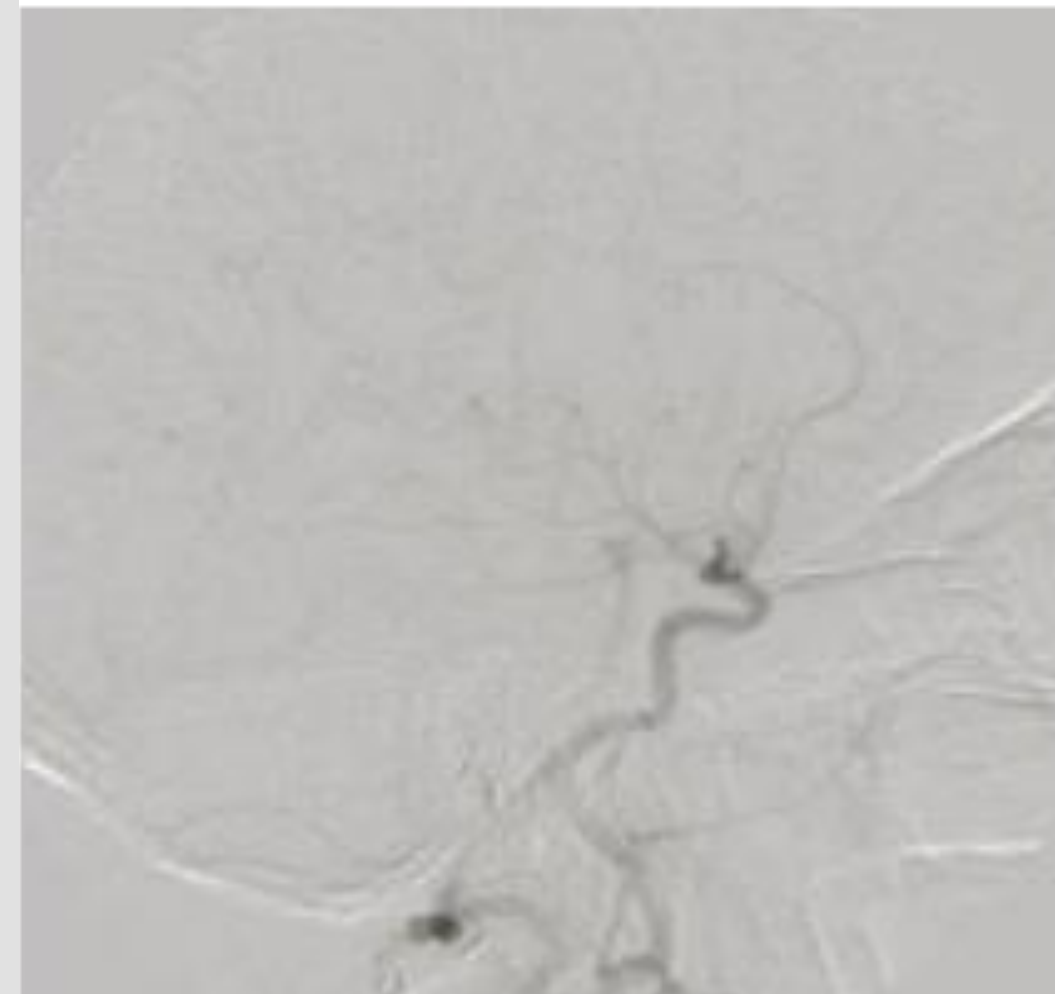
A: Imagen antes de inyección
de producto de contraste



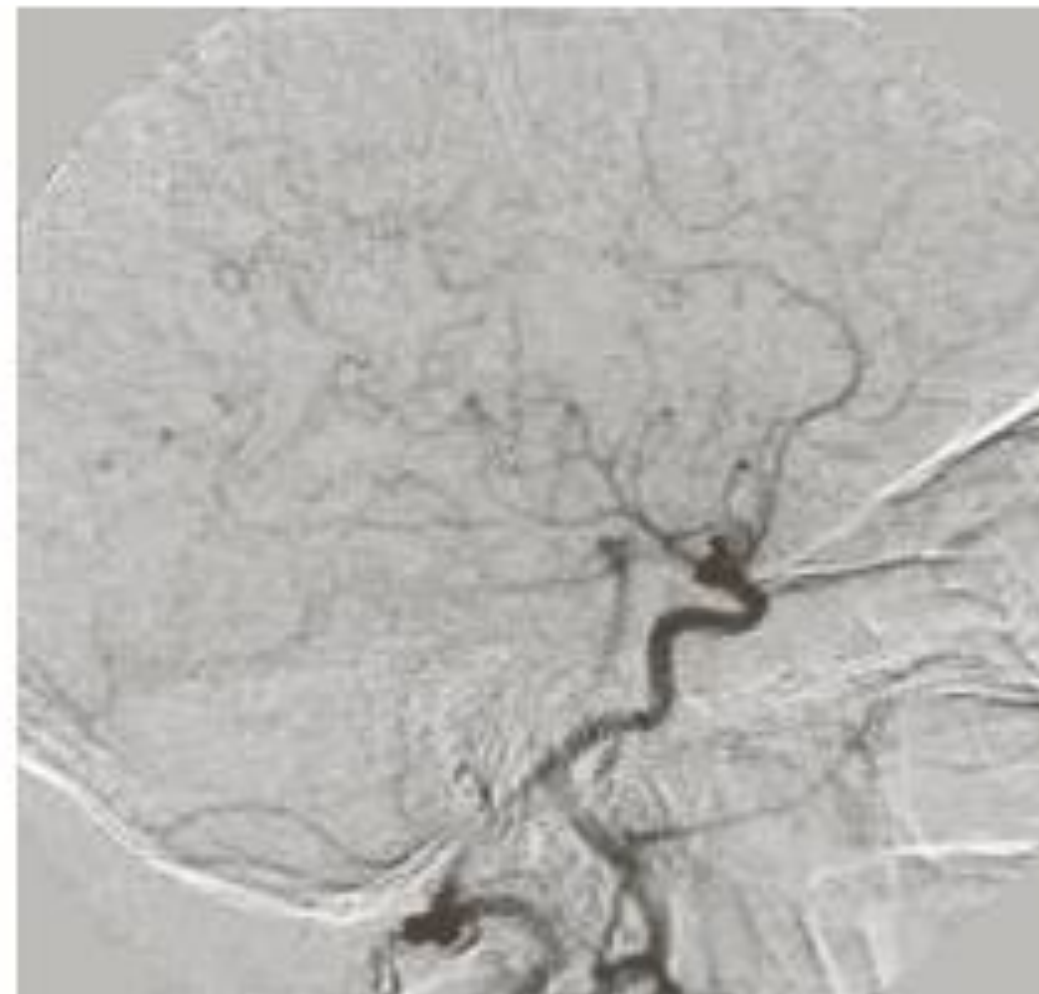
B: Imagen después de
inyección de producto de
contraste

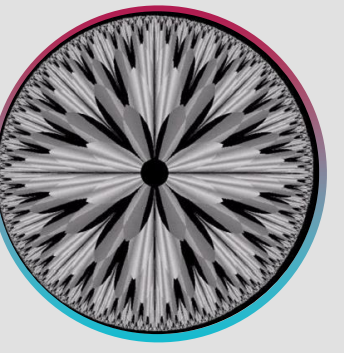


A - B



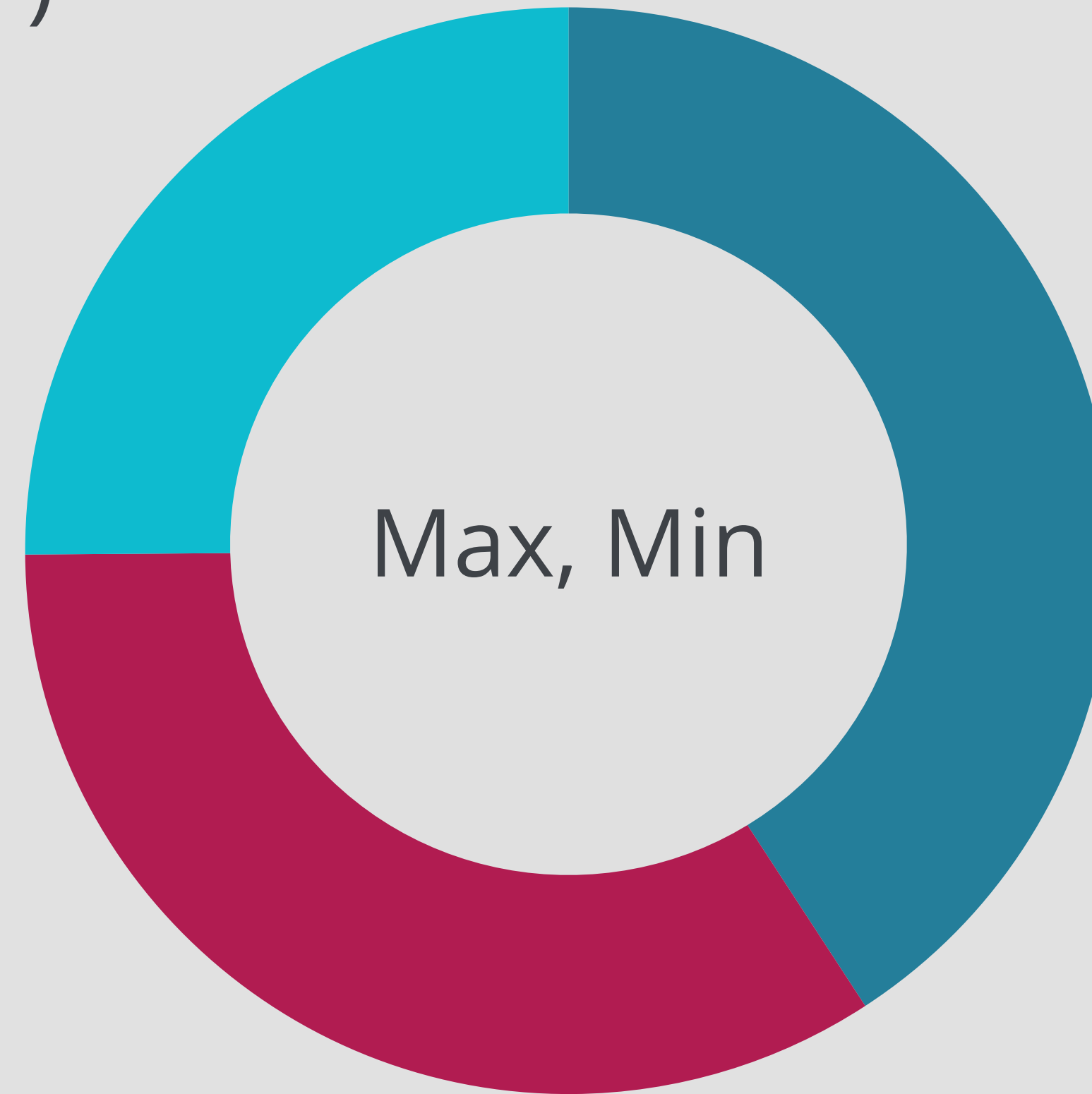
A - B reescalada





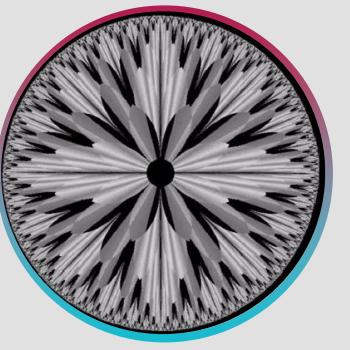
Máximo:

$$s(x,y) = \max (f(x,y) , g(x,y))$$



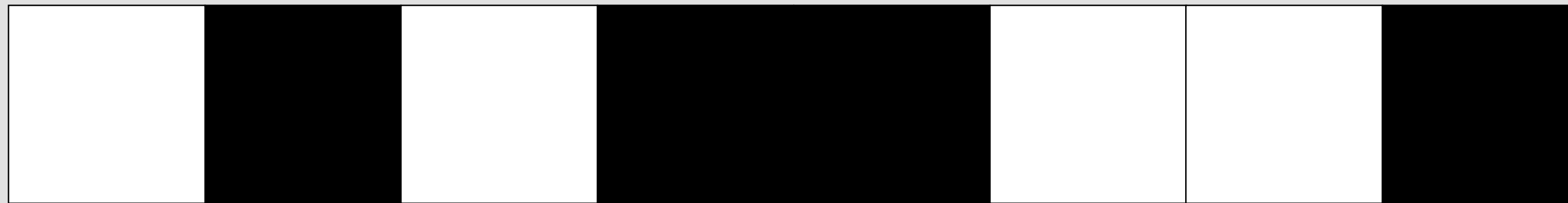
Mínimo:

$$s(x,y) = \min (f(x,y) , g(x,y))$$



El valor del pixel es procesado como una cadena de números binarios

$$1*2^7 + 0*2^6 + 1*2^5 + 0*2^4 + 0*2^3 + 1*2^2 + 1*2^1 + 0*2^0 = 166$$

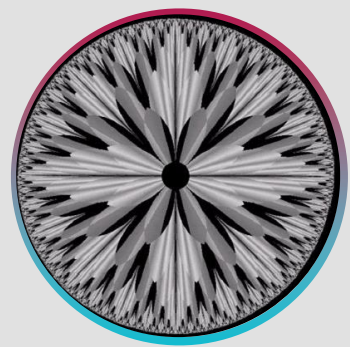


La operación se hace bit a bit

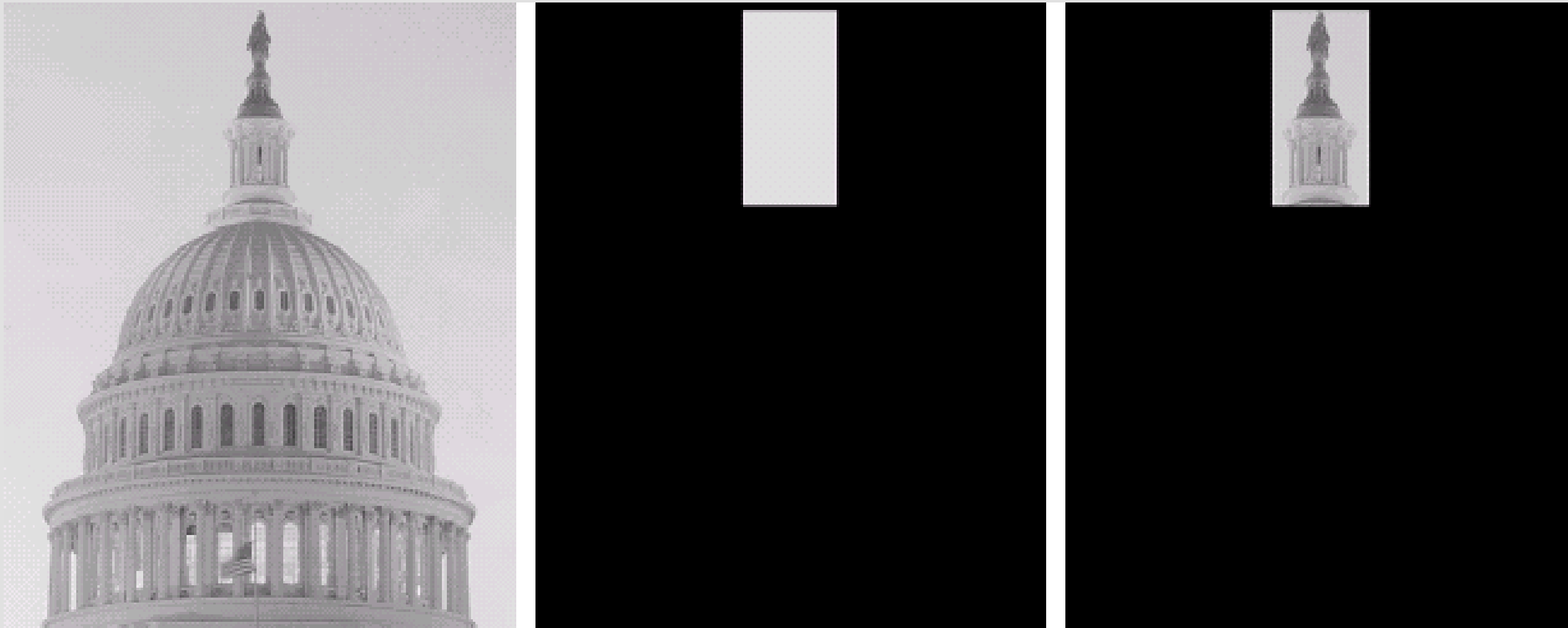
Operaciones:

AND, OR: Se usan como máscaras para seleccionar ROIs
(regiones de interés de una imagen)

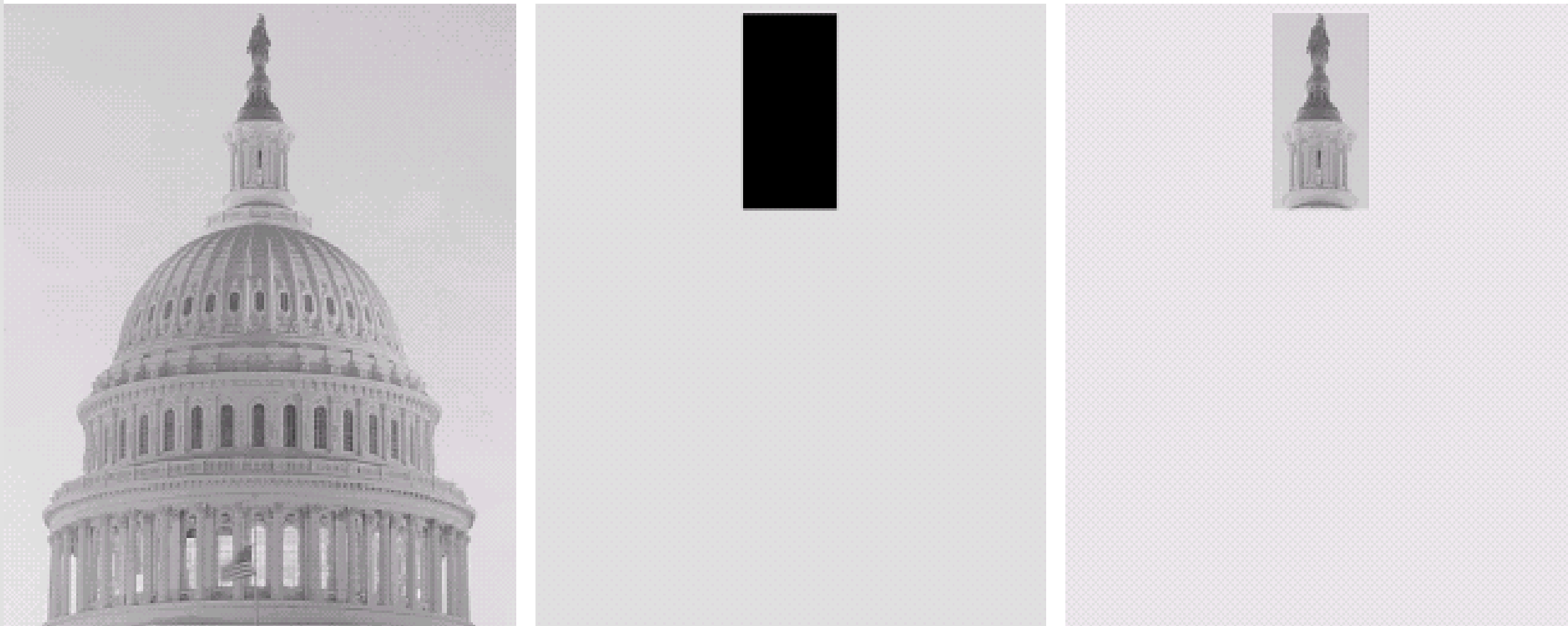
NOT: pixel negro (0) se vuelve blanco (1)



AND



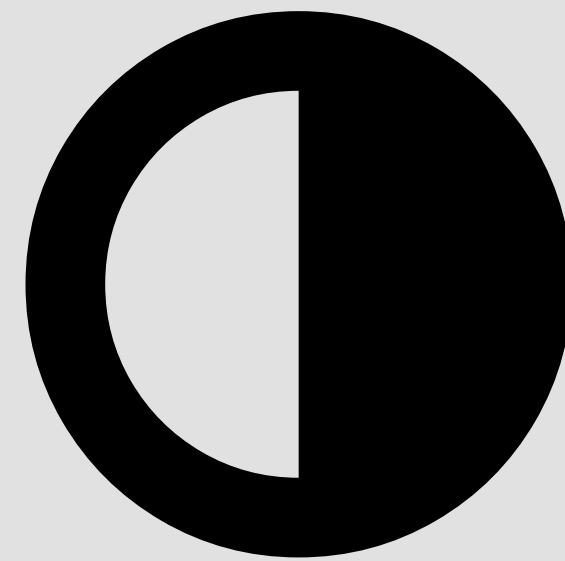
OR

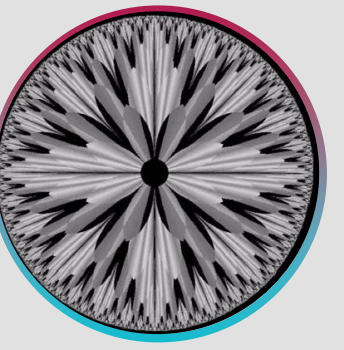


a	b	c
d	e	f

FIGURE 3.27
(a) Original image. (b) AND image mask. (c) Result of the AND operation on images (a) and (b). (d) Original image. (e) OR image mask. (f) Result of operation OR on images (d) and (e).

Transformaciones básicas de la intensidad (nivel de gris de la imagen)





Objetivo: Mejorar la calidad de la imagen para una aplicación específica.

- No hay regla para mejorar la imagen.
- Evaluación cualitativa (subjetiva) o cuantitativa.

Procesamiento puntual:

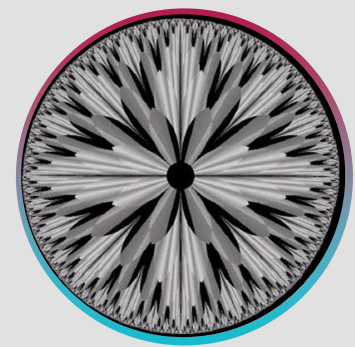
$$g(x,y) = T [f(x,y)]$$

Imagen de salida

$$s = T(r)$$

Imagen de entrada

Ejemplos de funciones de transformación de intensidad



Aclara niveles superiores a m

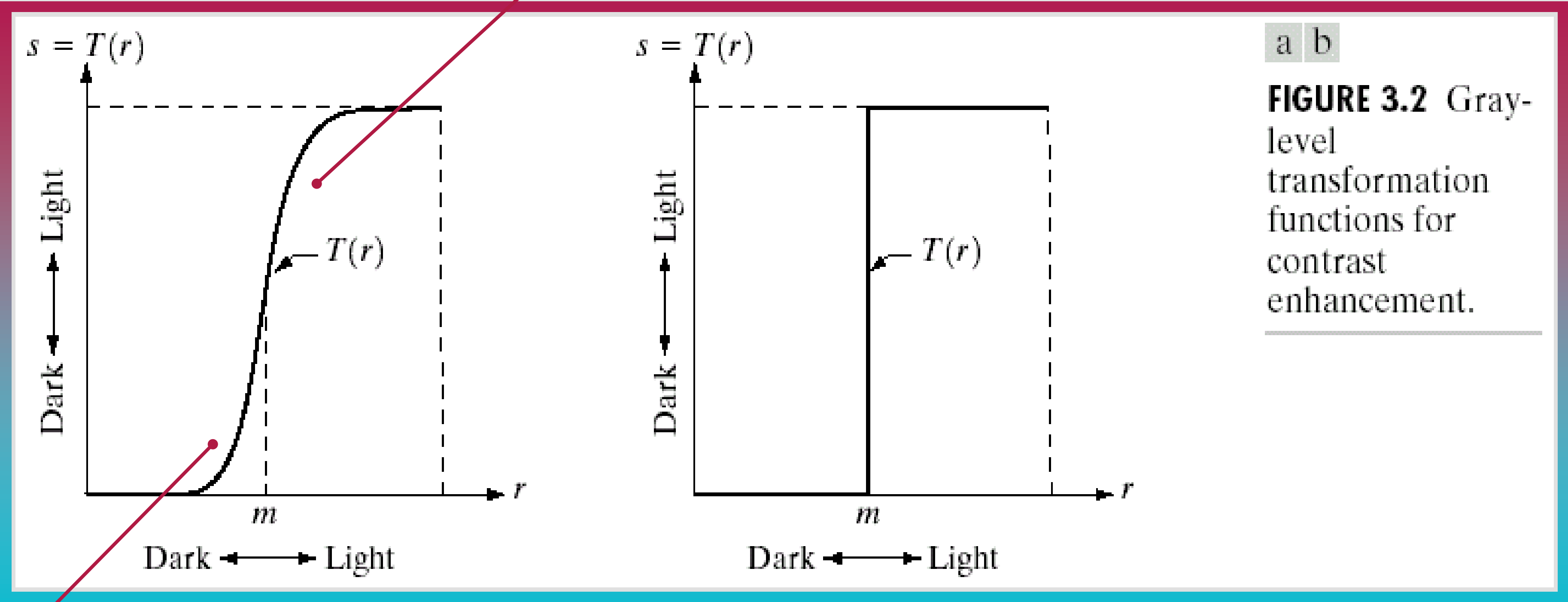
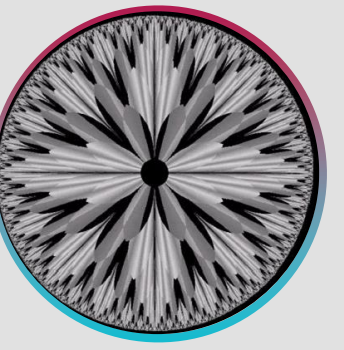


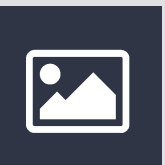



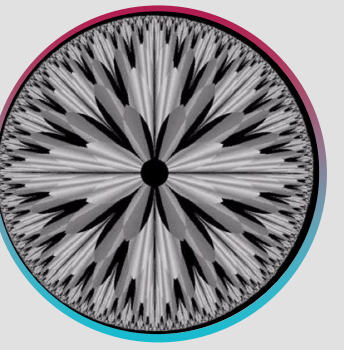
FIGURE 3.2 Gray-level transformation functions for contrast enhancement.

Función de umbralización

Oscurece niveles inferiores a m



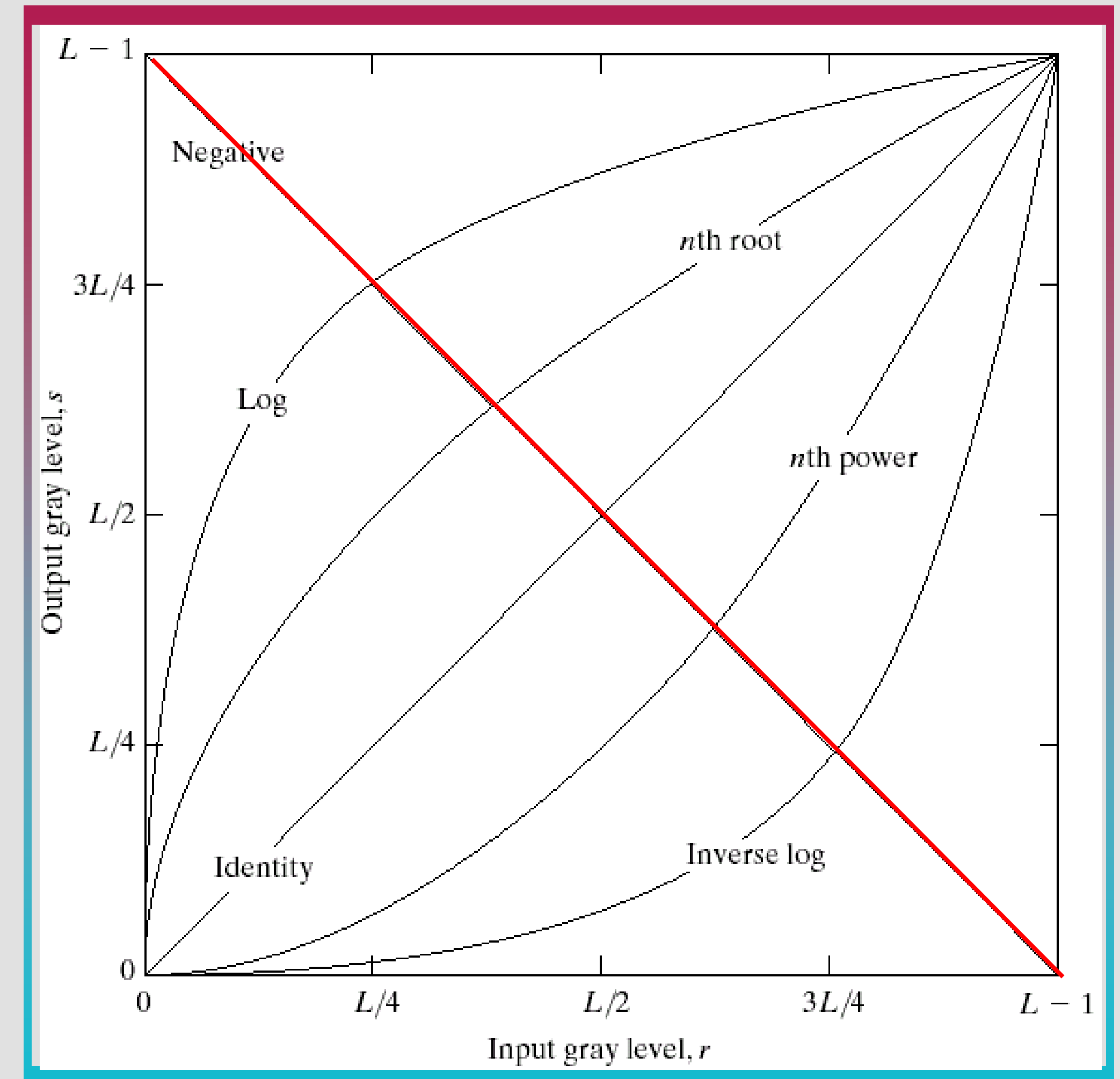
-  Negativo
-  Transformación logarítmica
-  Transformación exponencial
-  Funciones de transformación lineal definidas a trozos
 - Calibración o Expansión del contraste
 - Realce de rango
 - Realce de bits

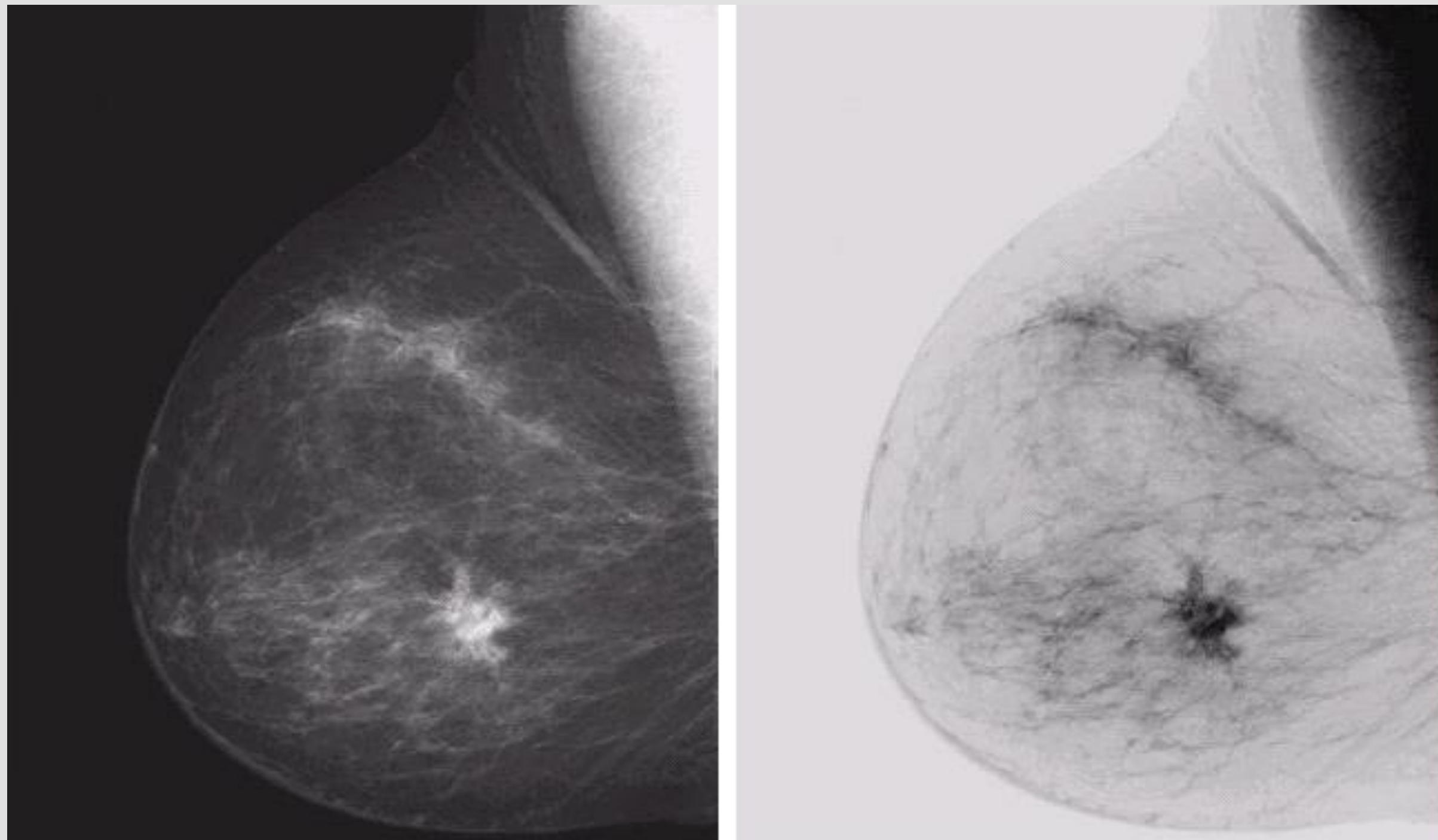
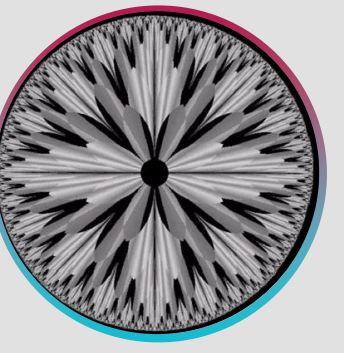


Uso: Resaltar detalles blancos o grises sobre fondos oscuros.

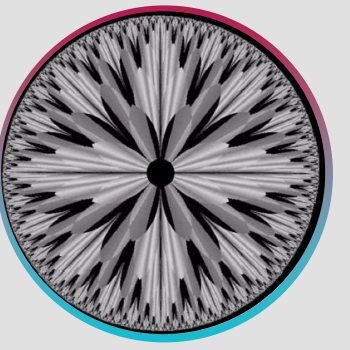
$$s = T(r)$$

$$s = L - 1 - r$$





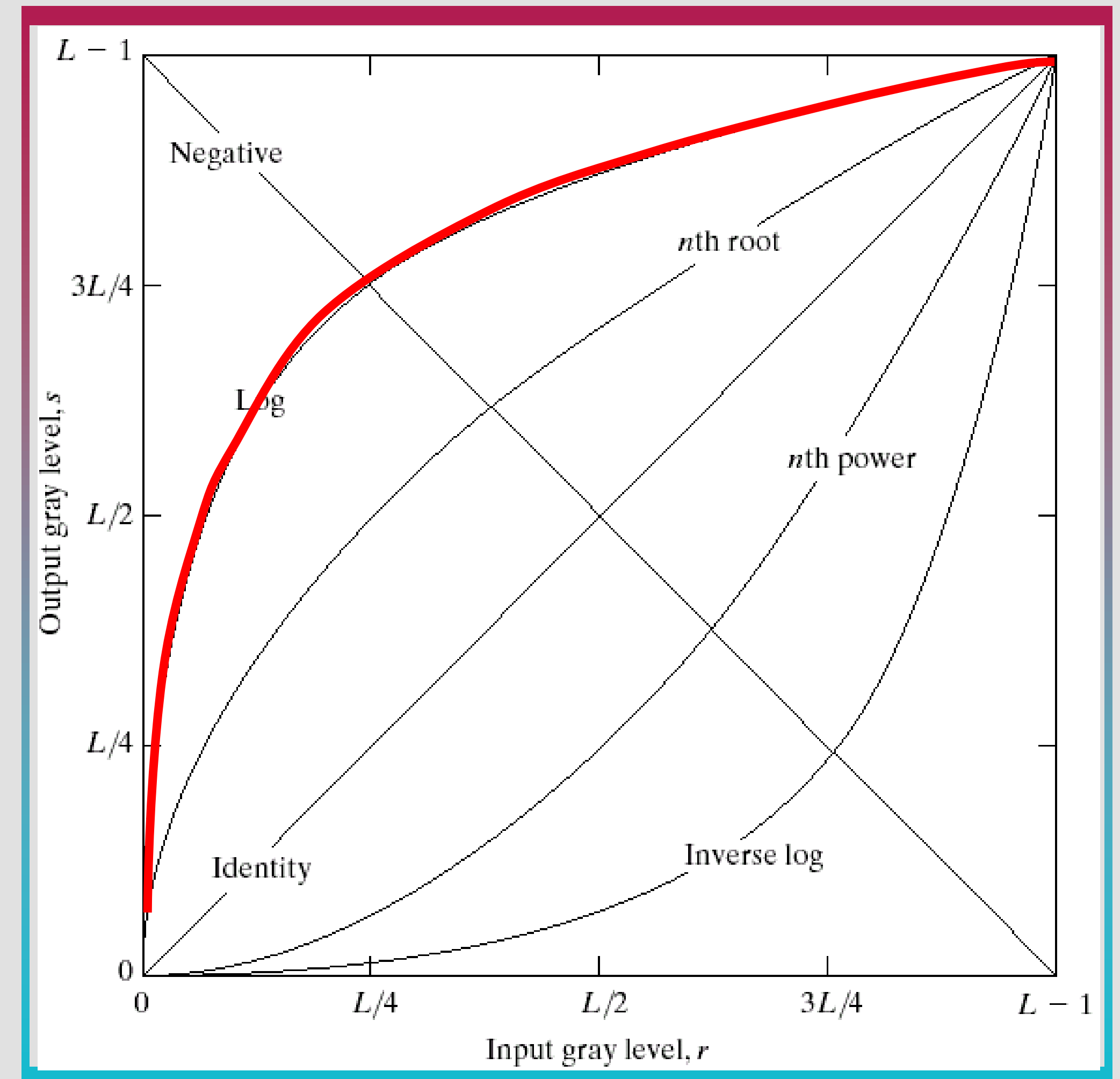
- Contenido idéntico.
- Facilita el análisis visual.
- Es equivalente al NOT lógico.



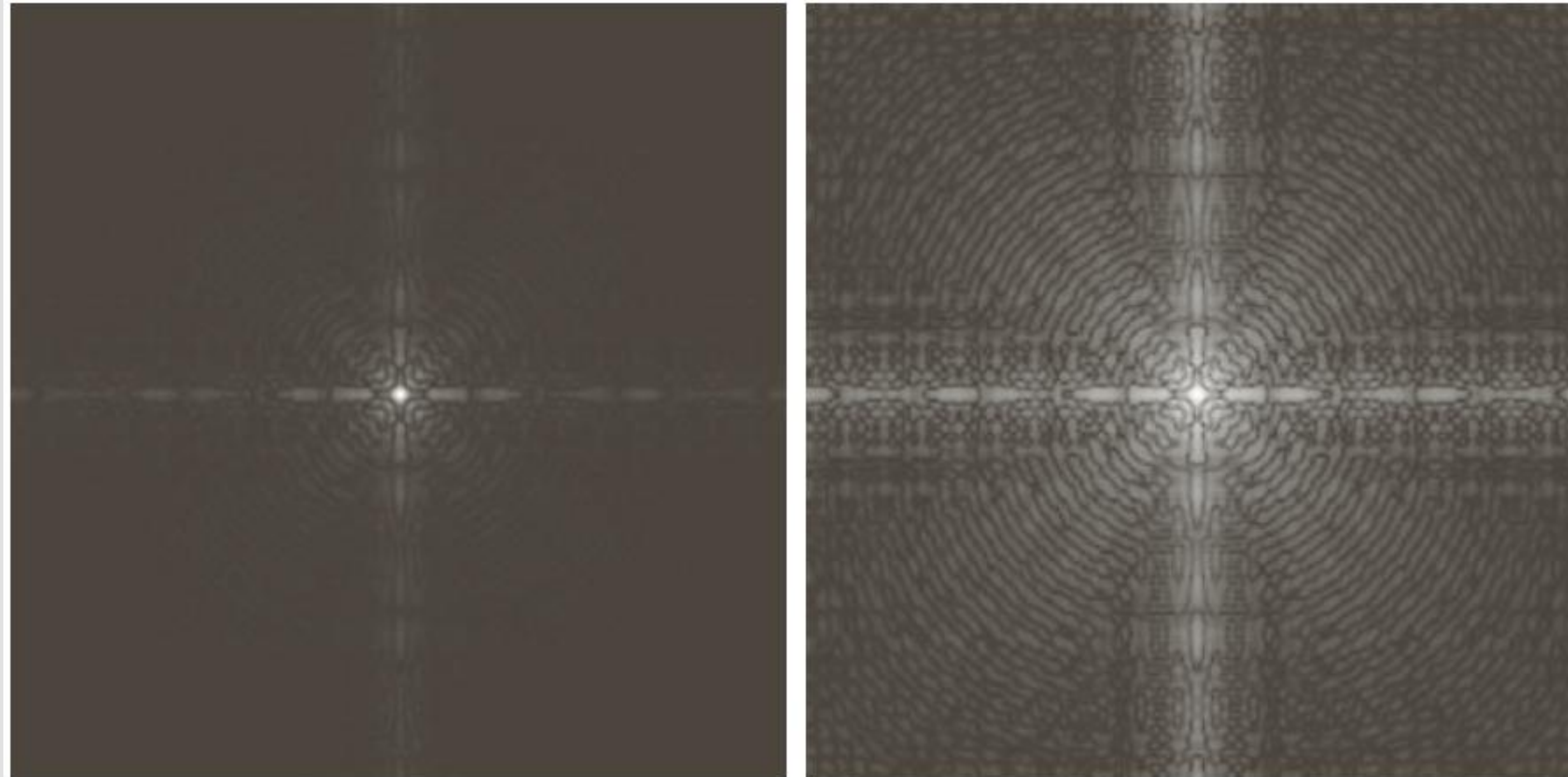
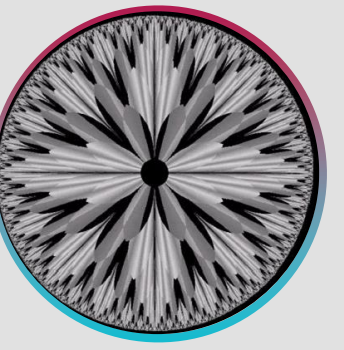
Mapa un estrecho rango de niveles de gris bajos de la imagen de entrada en un amplio rango de niveles de salida

$$s = c \log(1 + r)$$

cte ≥ 0

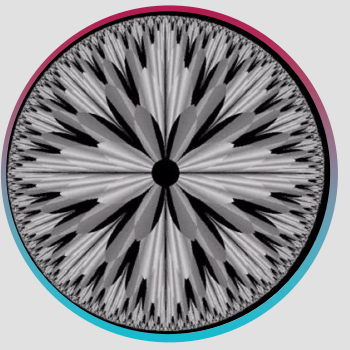


Ejemplo de transformación logarítmica



$c=1$

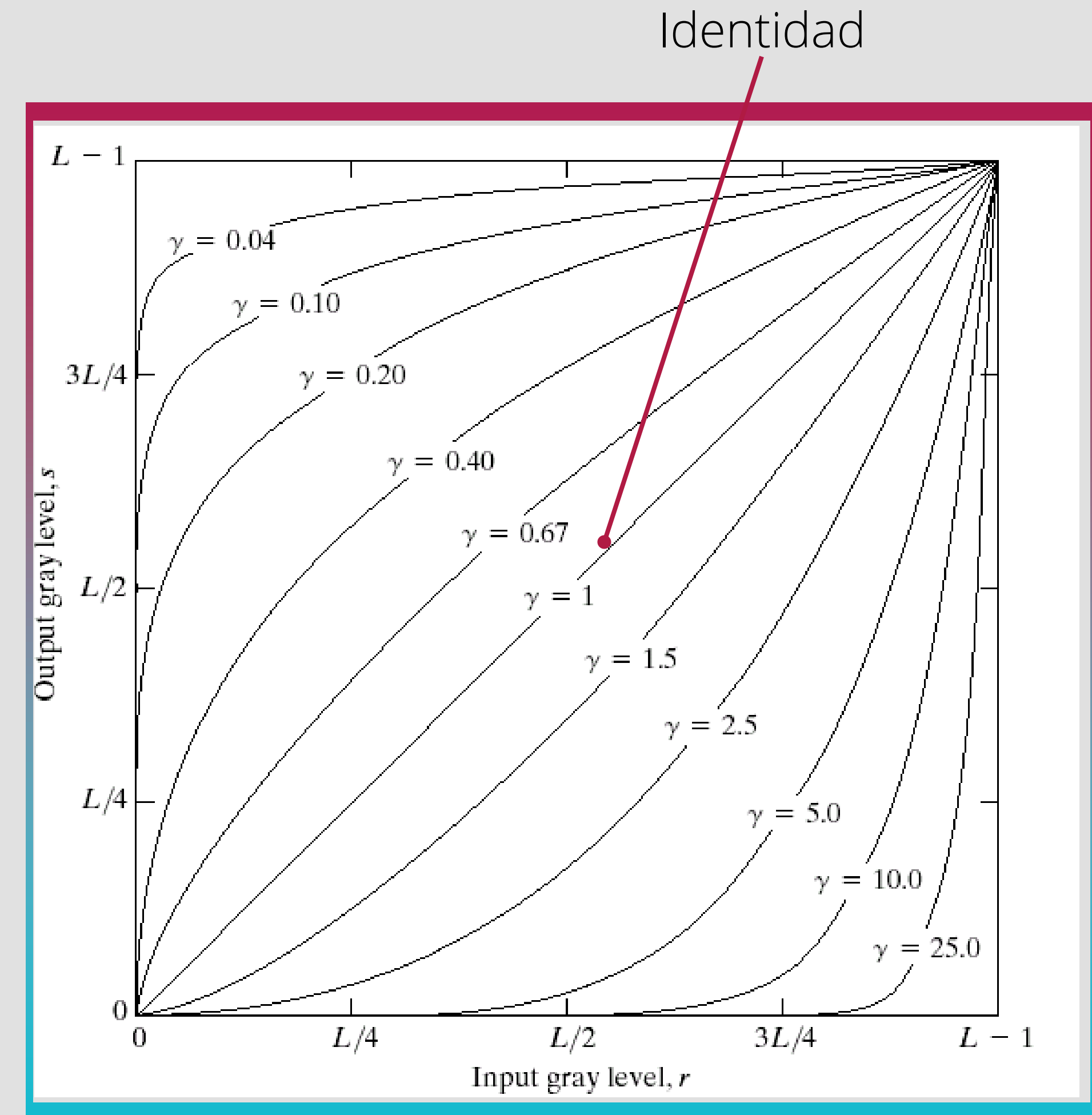
Transformaciones exponenciales



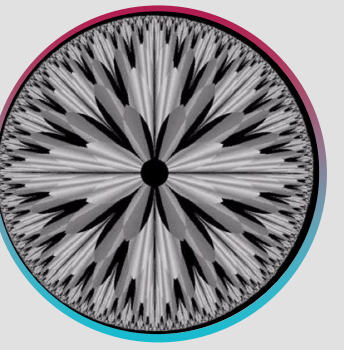
cte positiva

$$S = C r^\gamma$$

- Solo variando γ se obtienen muchas curvas de transformación
- Valores fraccionales de $\gamma \cong$ transformación logarítmica



Ejemplo de transformación exponencial



$$f(x, y)$$



$$a \cdot (f(x, y))^{\gamma} \text{ con } \gamma = 1.5$$

Ejemplo de transformación exponencial

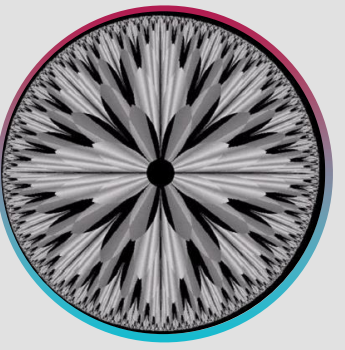


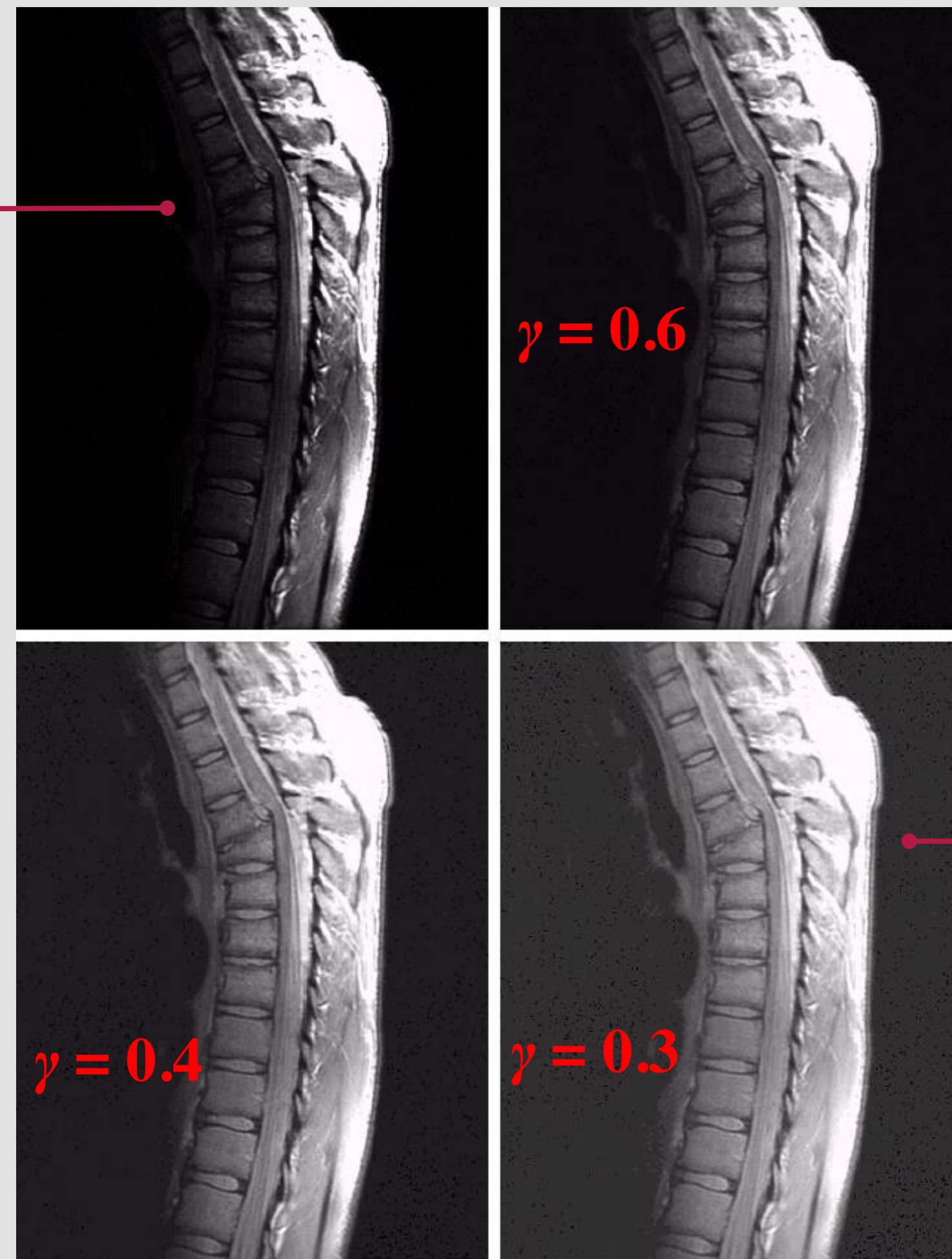
Imagen demasiado oscura



Expansión de niveles de gris



Transformación exponencial con $\gamma < 1$



a b
c d

FIGURE 3.8
(a) Magnetic resonance (MR) image of a fractured human spine.
(b)–(d) Results of applying the transformation in Eq. (3.2-3) with $c = 1$ and $\gamma = 0.6, 0.4$, and 0.3 , respectively. (Original image for this example courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology and Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)

Reducción de contraste

Ejemplo de transformación exponencial

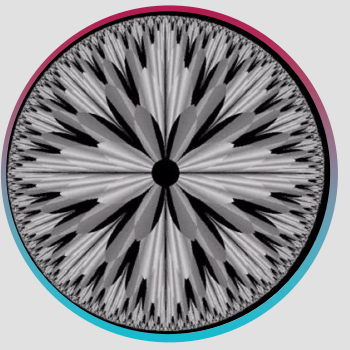
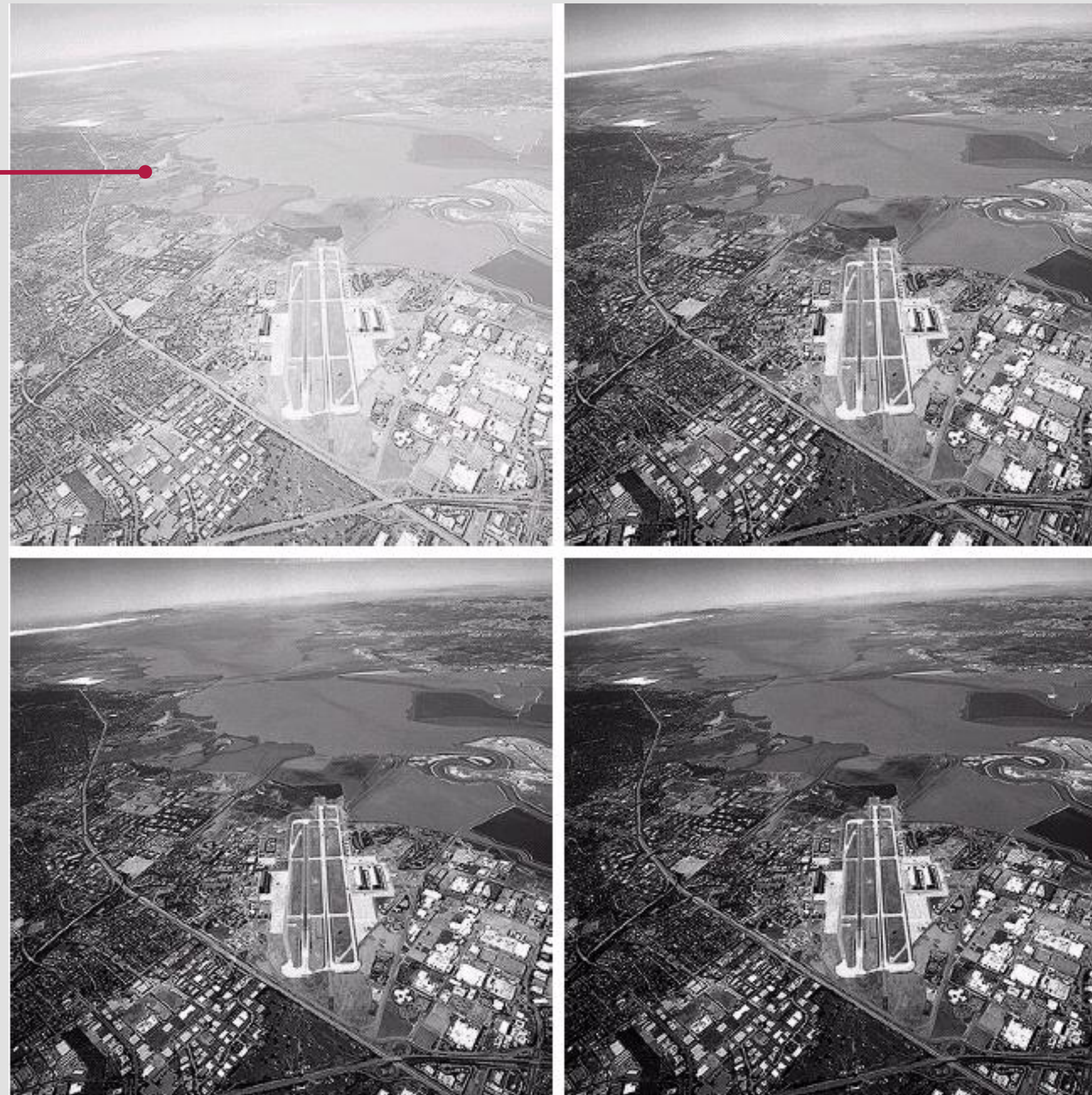


Imagen demasiado clara

Compresión de niveles de gris

Transformación exponencial con $\gamma < 1$



$\gamma = 3$

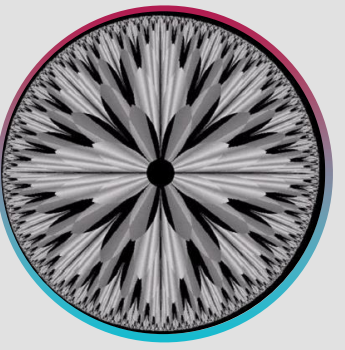
$\gamma = 4$

$\gamma = 5$

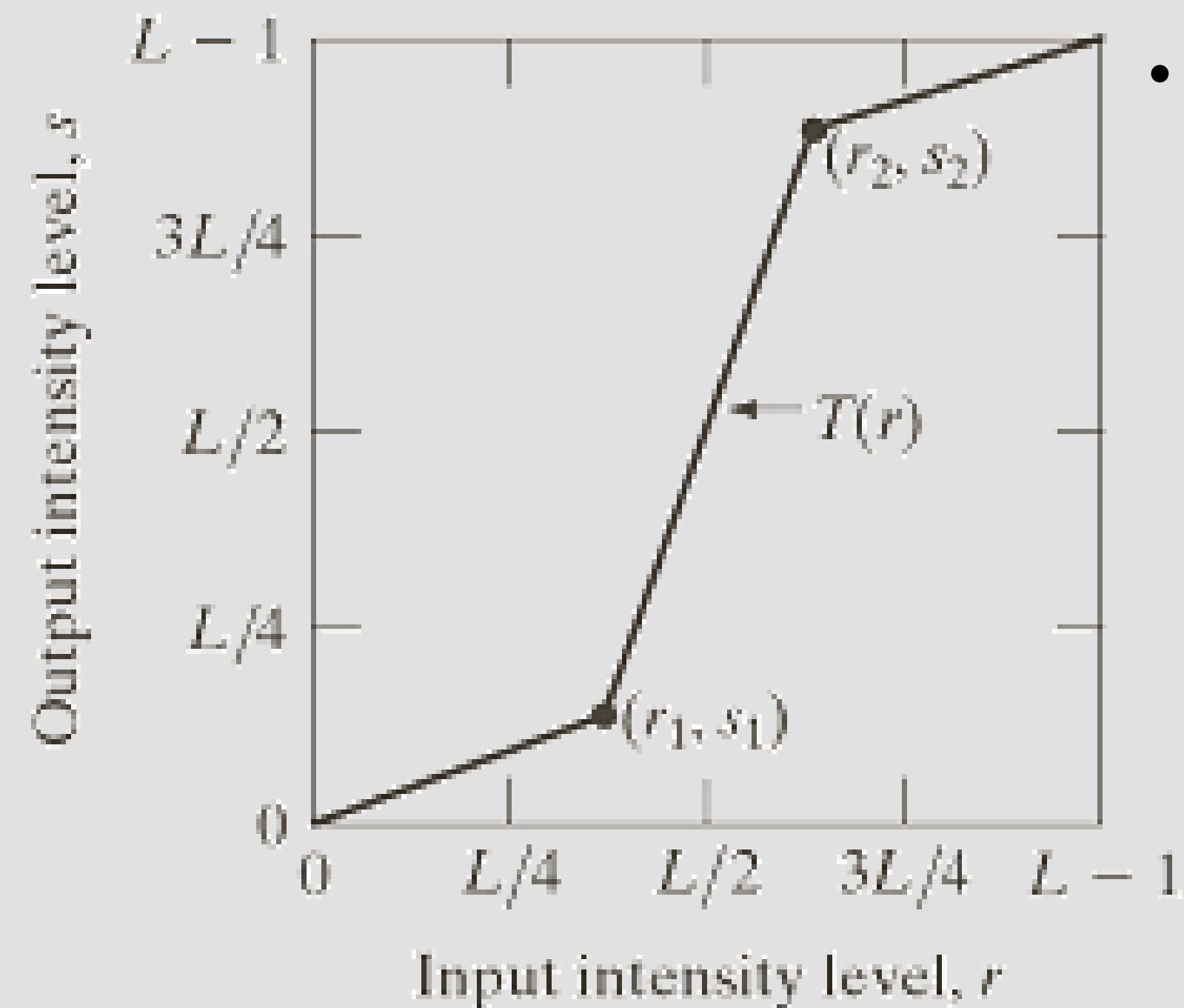
a b
c d

FIGURE 3.9
(a) Aerial image.
(b)–(d) Results of applying the transformation in Eq. (3.2-3) with $c = 1$ and $\gamma = 3.0, 4.0,$ and 5.0 , respectively. (Original image for this example courtesy of NASA.)

Función de transformación lineal definida a trozos



- La forma de la función puede ser muy compleja.
- Algunas transformaciones solo pueden ser formuladas como funciones a trozos.



- (r_1, s_1) y (r_2, s_2) controlan la forma de la transformación:

Identidad:

$$r_1 = s_1$$

$$r_2 = s_2$$

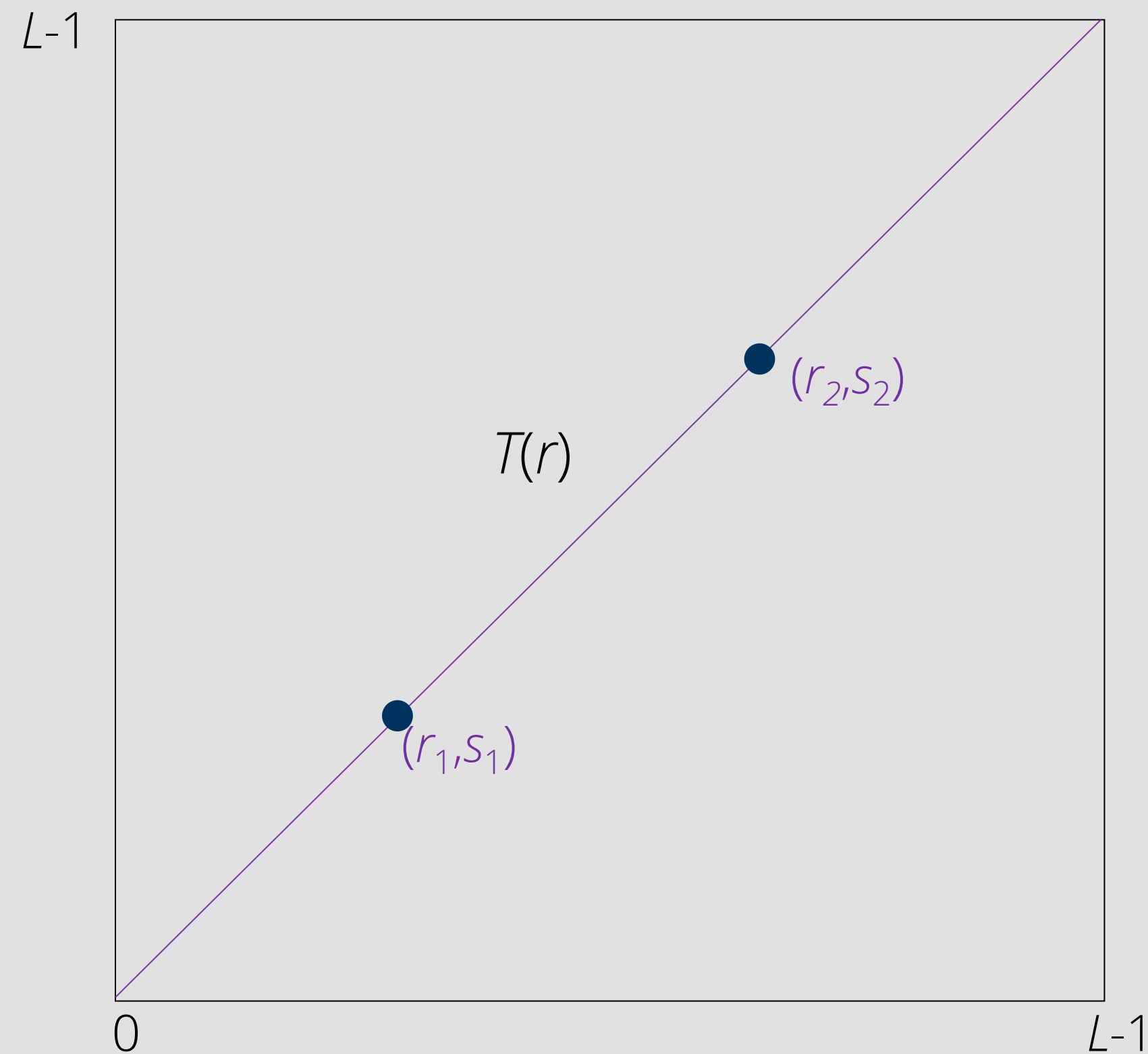
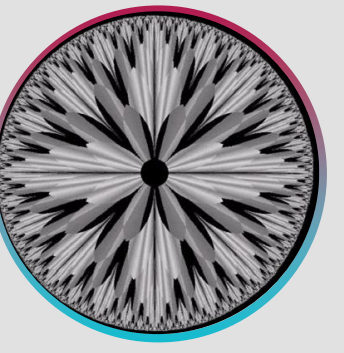
Umbralización:

$$r_1 = r_2$$

$$s_1 = 0$$

$$s_2 = L-1$$

Función de transformación lineal definida a trozos



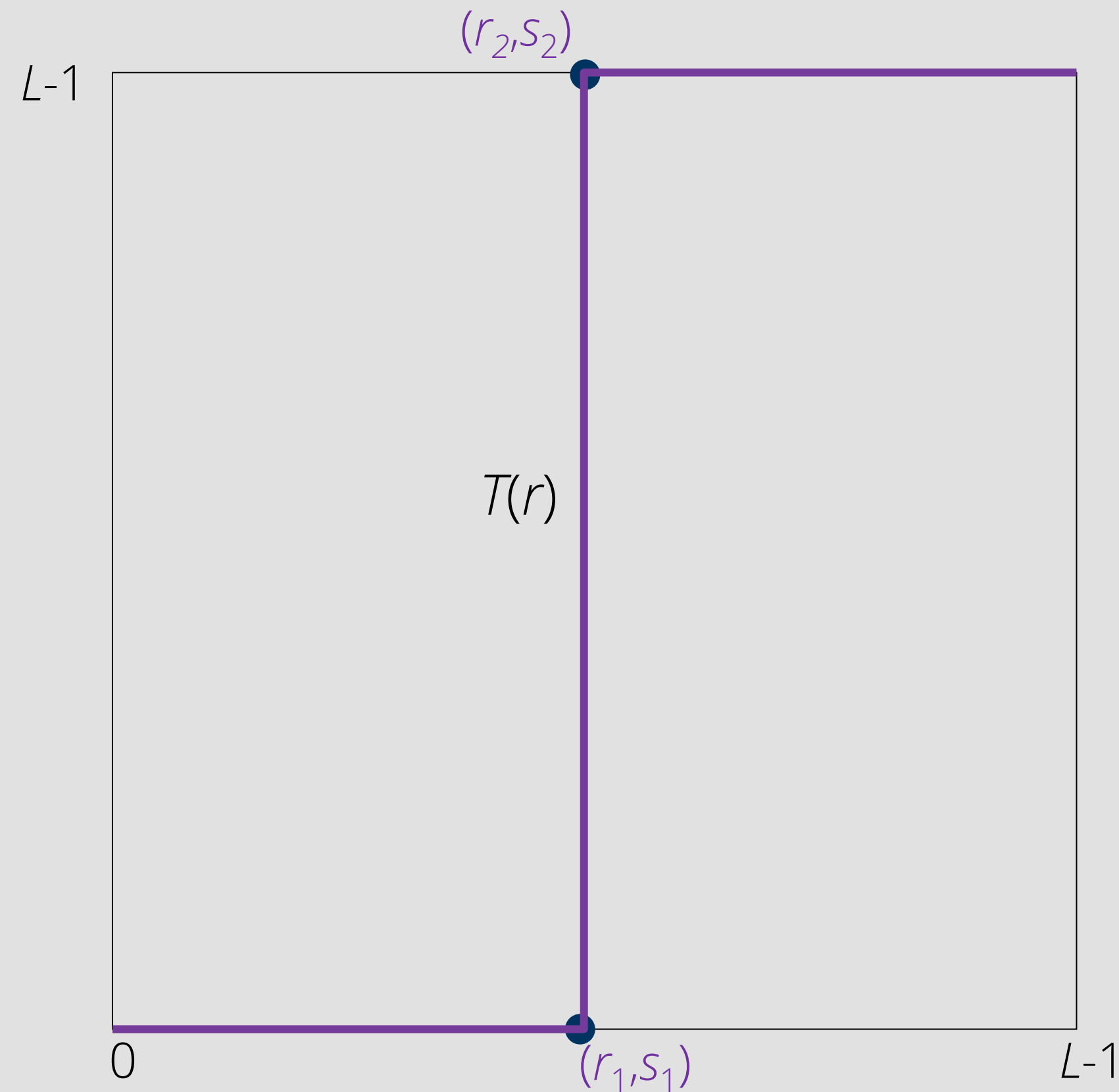
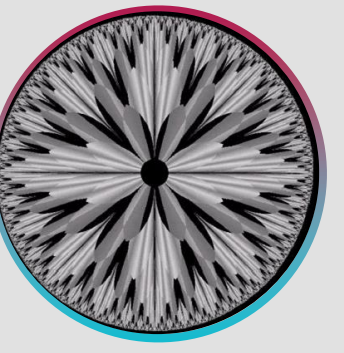
(r_1, s_1) y (r_2, s_2) controlan la forma de la transformación:

Identidad:

$$r_1 = s_1$$

$$r_2 = s_2$$

Función de transformación lineal definida a trozos



(r_1, s_1) y (r_2, s_2) controlan la forma de la transformación:

Identidad:

$$r_1 = s_1$$

$$r_2 = s_2$$

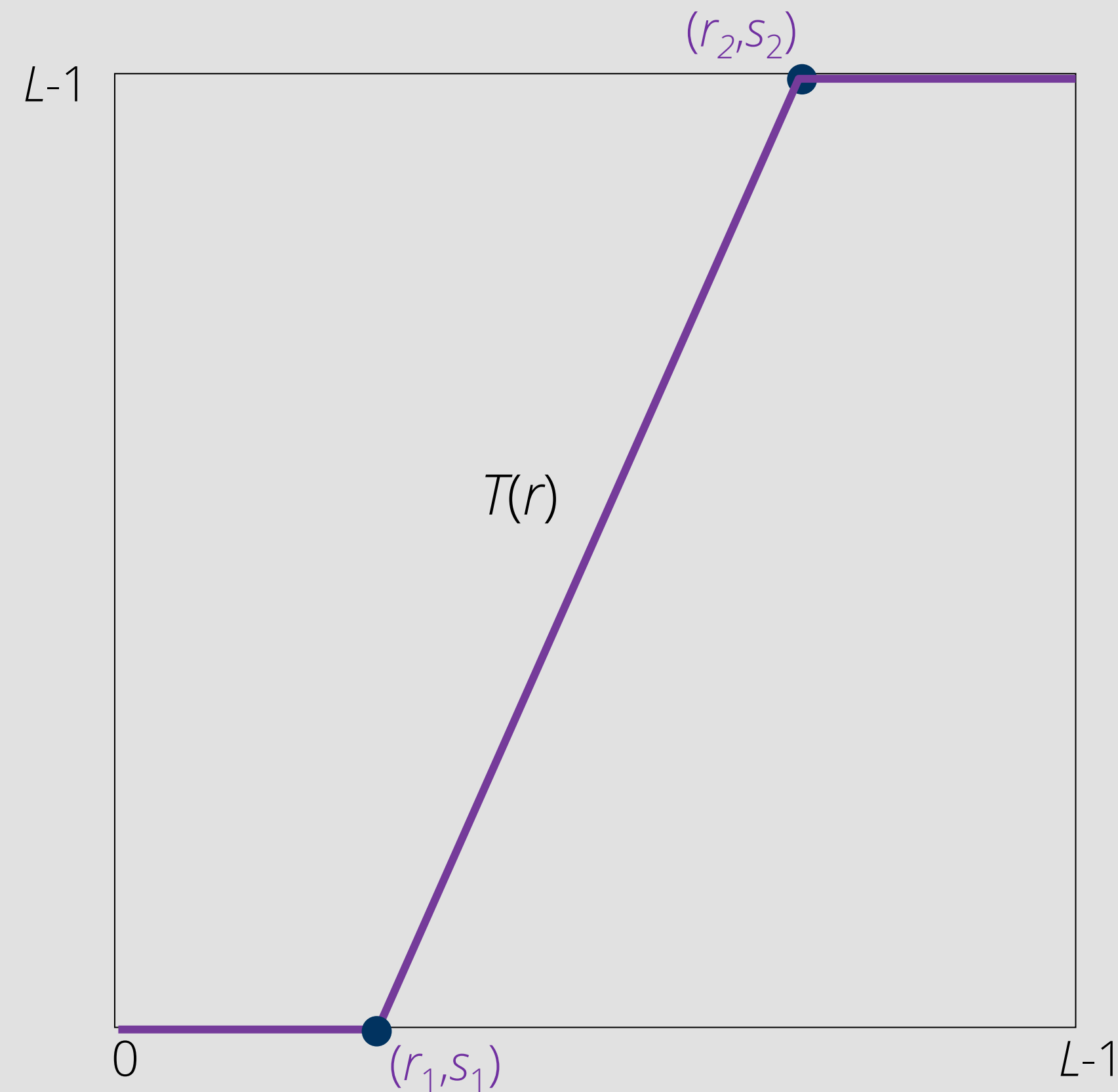
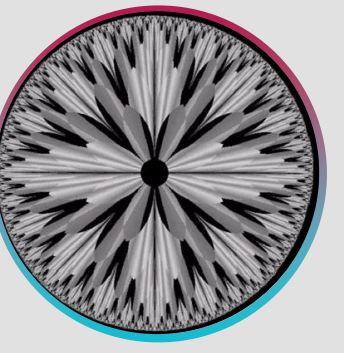
Umbralización:

$$r_1 = r_2$$

$$s_1 = 0$$

$$s_2 = L-1$$

Función de transformación lineal definida a trozos

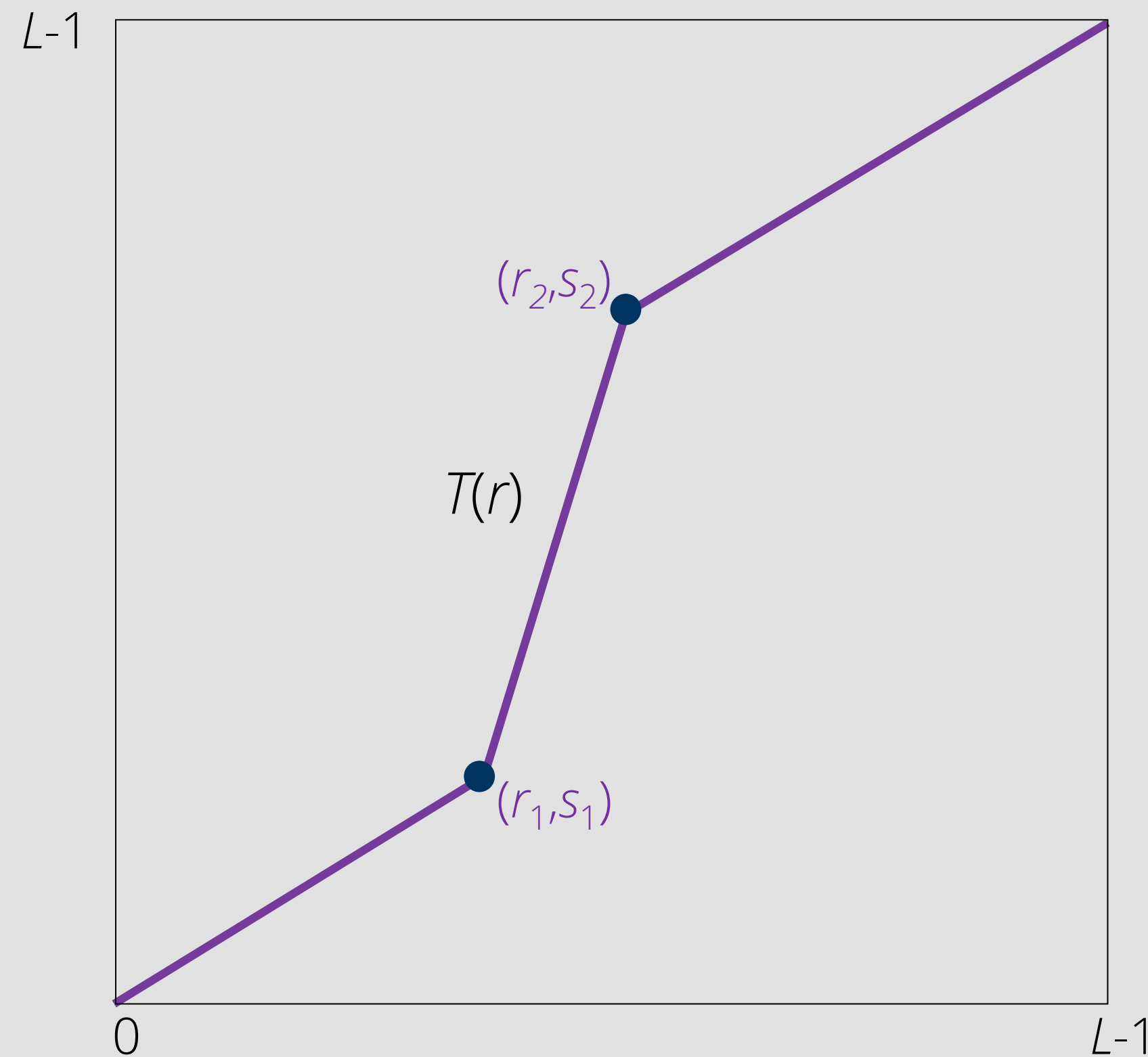
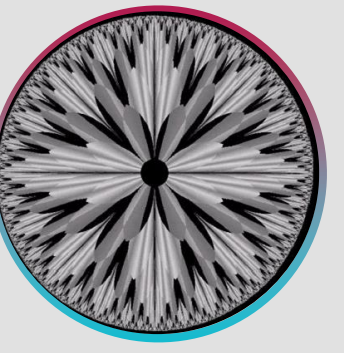


(r_1, s_1) y (r_2, s_2) controlan la forma de la transformación:

Calibración o Expansión del contraste:

$$\begin{aligned} r_1 &= r_{\min} \\ s_1 &= 0 \\ r_2 &= r_{\max} \\ s_2 &= L-1 \end{aligned}$$

Función de transformación lineal definida a trozos



(r_1, s_1) y (r_2, s_2) controlan la forma de la transformación:

En general:

$$r_1 \leq s_1$$

$$r_2 \leq s_2$$

- Preserva el orden de los niveles de gris.
- Previene la creación de artefactos.

Ejemplos de transformación lineal definida a trozos

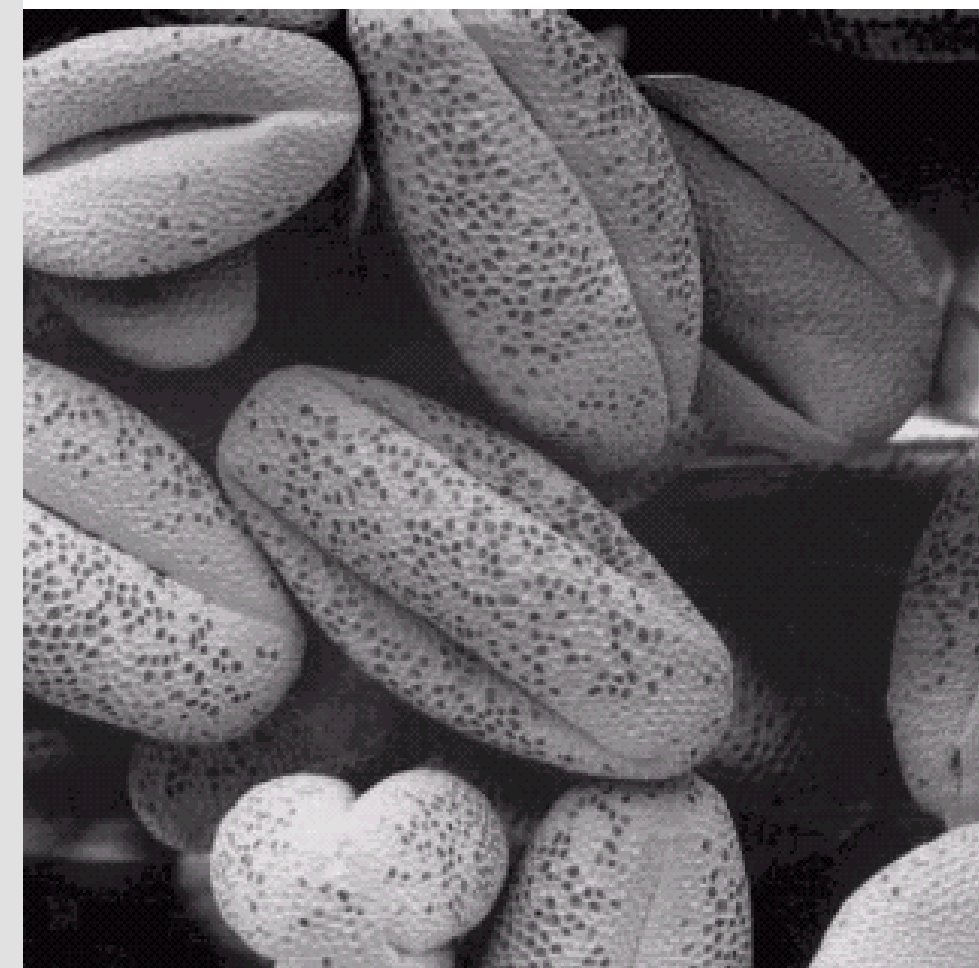
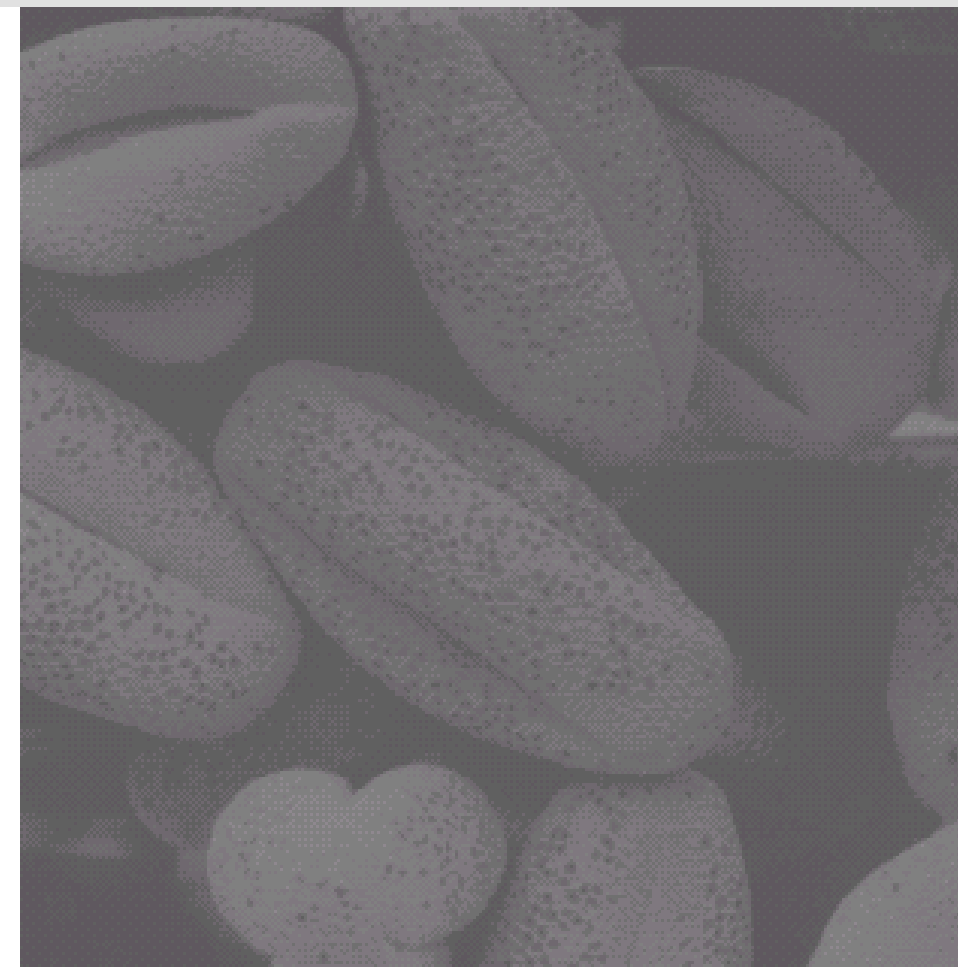
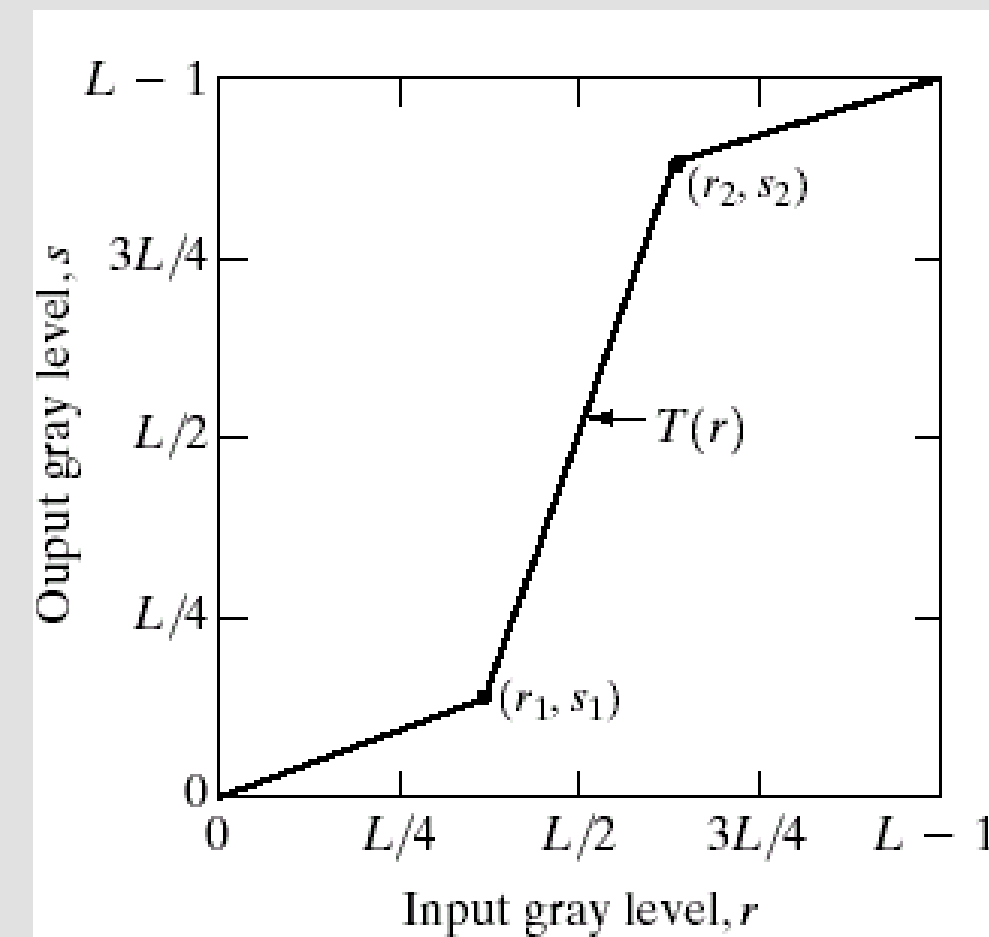
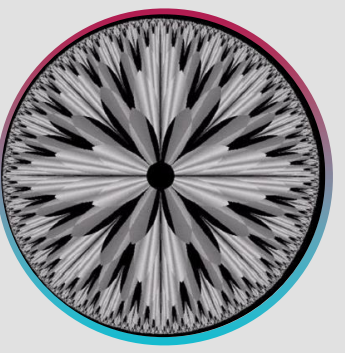


FIGURE 3.10
Contrast stretching.
(a) Form of transformation function. (b) A low-contrast image. (c) Result of contrast stretching. (d) Result of thresholding. (Original image courtesy of Dr. Roger Heady, Research School of Biological Sciences, Australian National University, Canberra, Australia.)

CALIBRACION

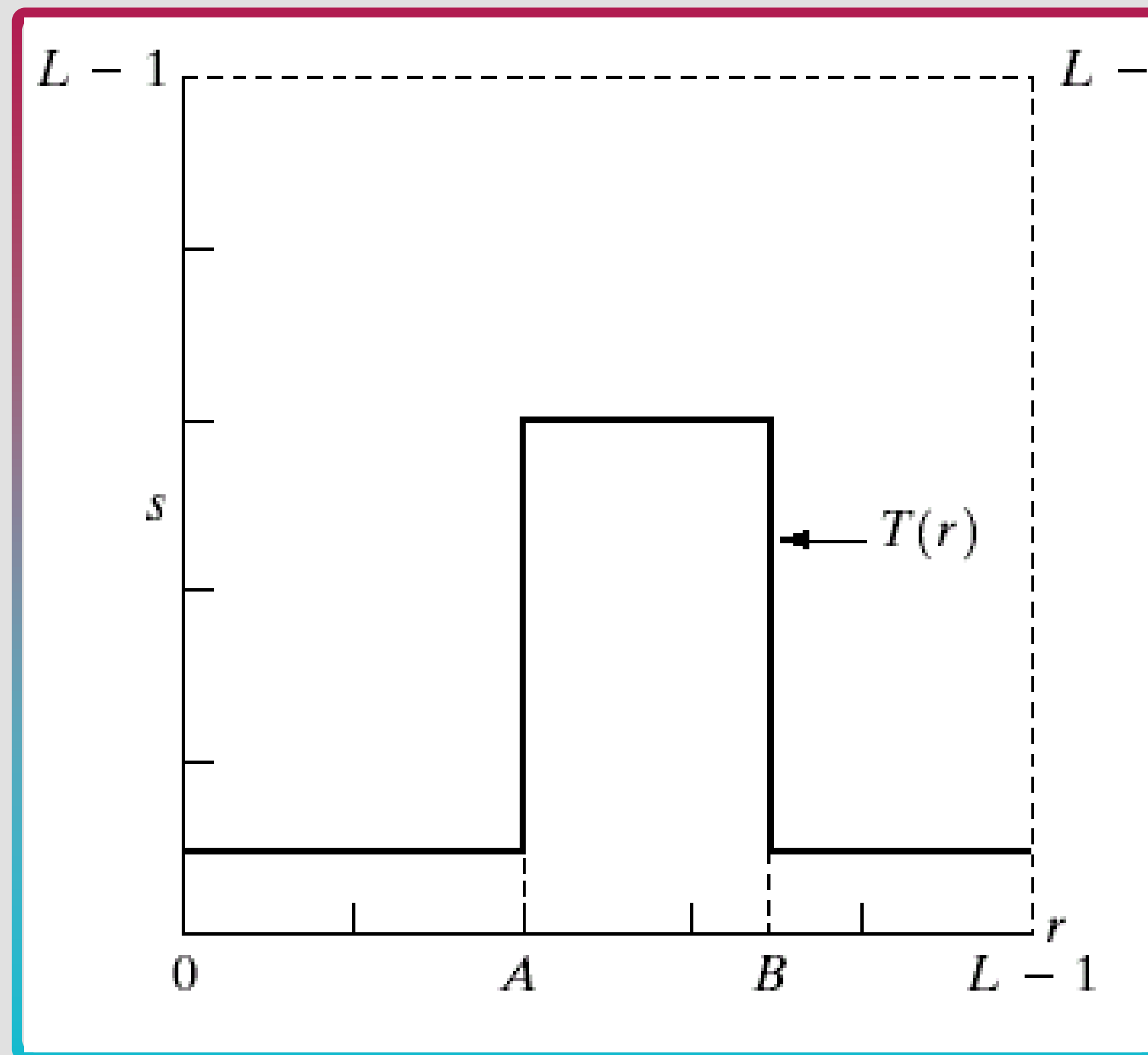
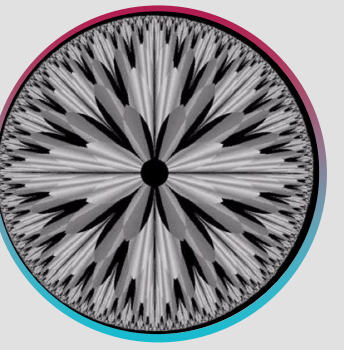
$$(r_1, s_1) = (r_{\min}, 0)$$

$$(r_2, s_2) = (r_{\max}, L-1)$$

UMBRALIZACION

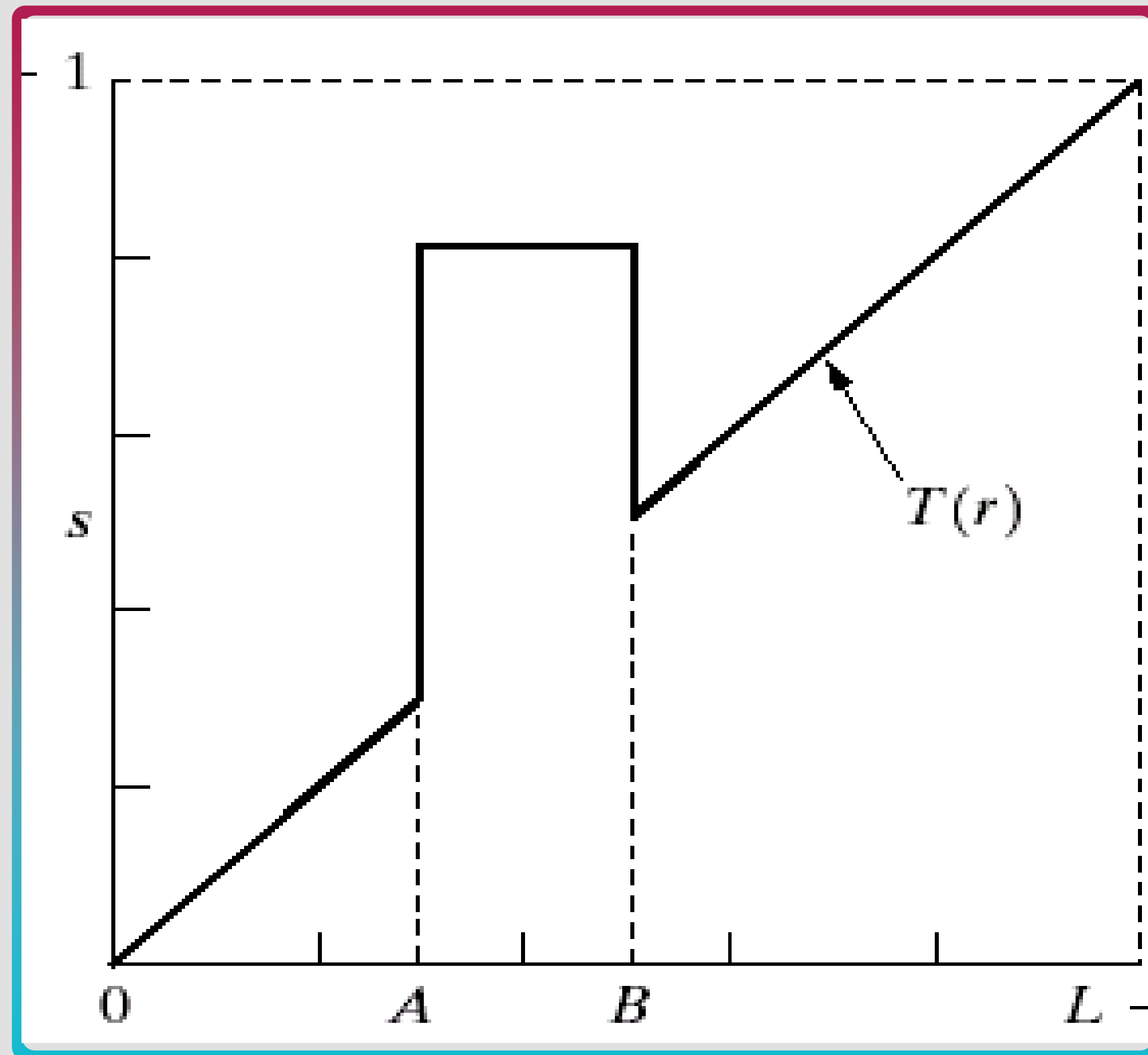
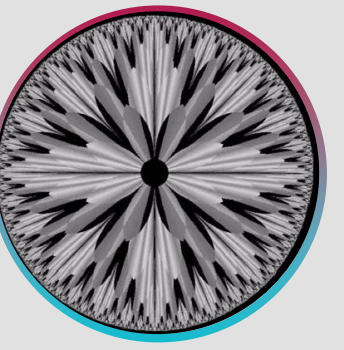
$$(r_1, s_1) = (m, 0)$$

$$(r_2, s_2) = (m, L-1)$$



Primer caso:

- Dar un alto valor a los píxeles que se encuentran en un rango de interés y un valor bajo al resto.
- Bimbralización



Segundo caso:

Dar un alto valor a los píxeles que se encuentran en un rango de interés y preservar el resto.

Realce de rango

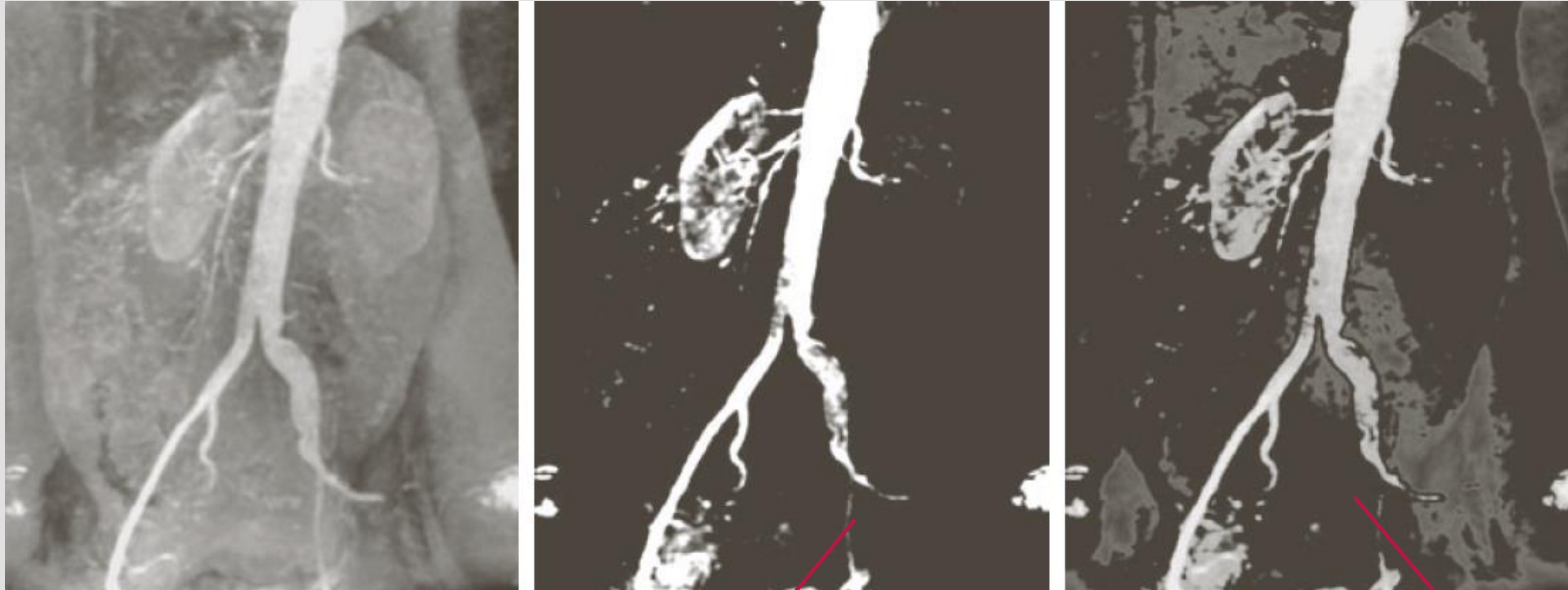
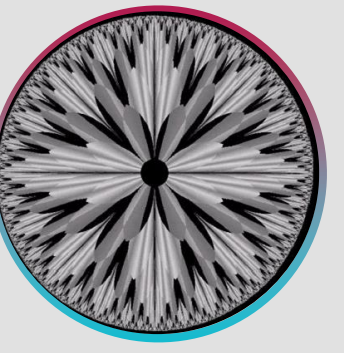
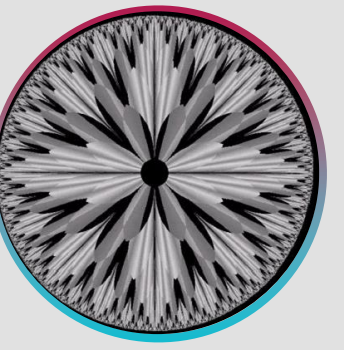


Imagen binaria
(bi-umbralización)

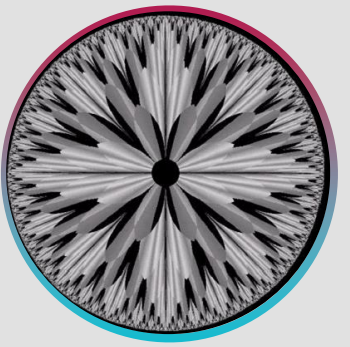
Preserva el resto de la
imagen



NO se realiza un rango de niveles de gris SINO ...

Se hace un realce de la contribución hecha a la
apariencia de la imagen por bits específicos

EXPLICACION ...



Representación de una imagen en planos de bits

Mayoría de datos visualmente significativos

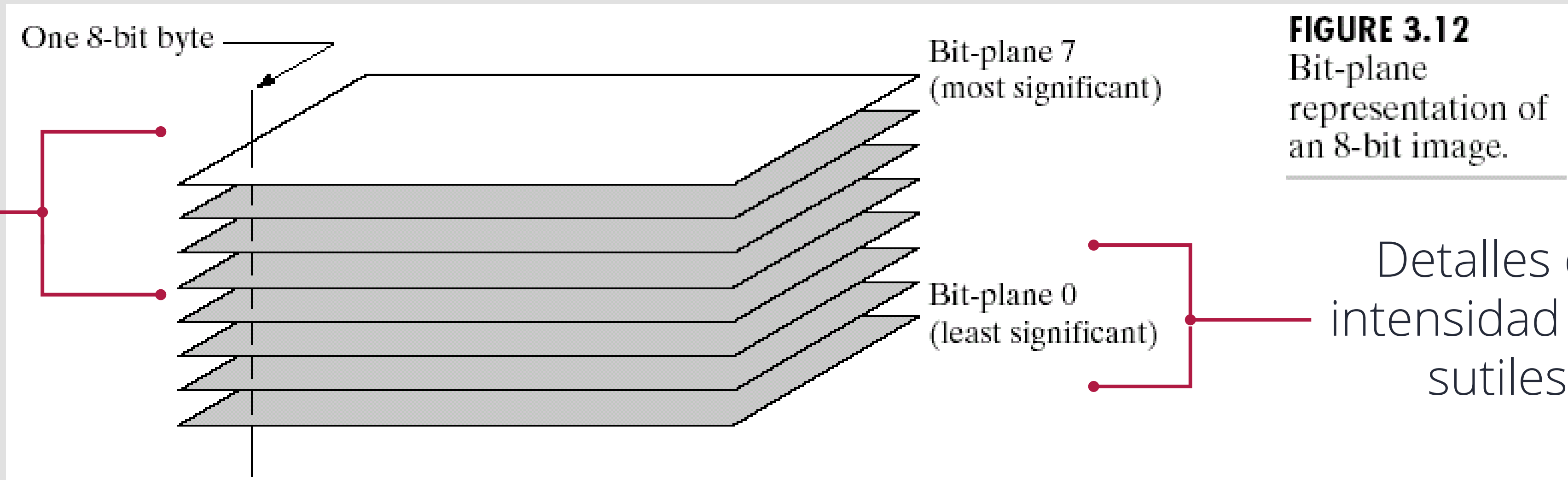


FIGURE 3.12
Bit-plane
representation of
an 8-bit image.

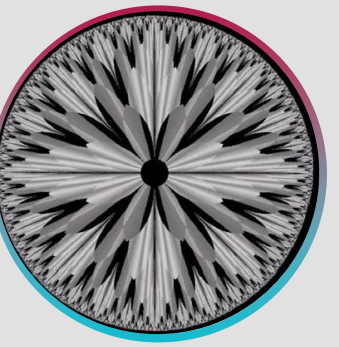
Detalles de
intensidad más
sutiles

Útil para analizar la importancia relativa de cada bit de la imagen

Determinar # de bits
necesarios

Compresión

Imágenes de planos de bits



a	b	c
d	e	f
g	h	i

FIGURE 3.14 (a) An 8-bit gray-scale image of size 500×1192 pixels. (b) through (i) Bit planes 1 through 8, with bit plane 1 corresponding to the least significant bit. Each bit plane is a binary image.

Imágenes de planos de bits

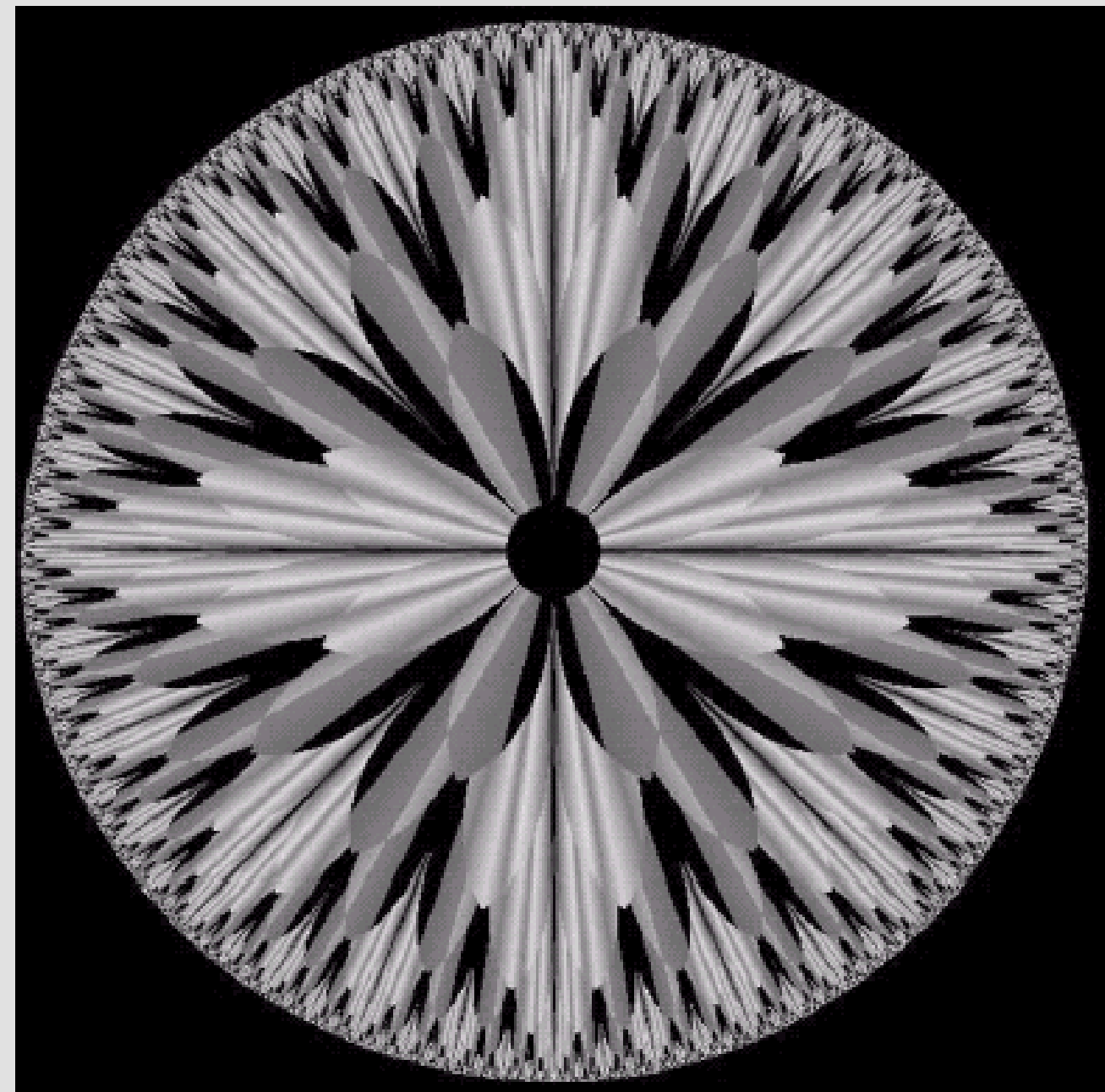
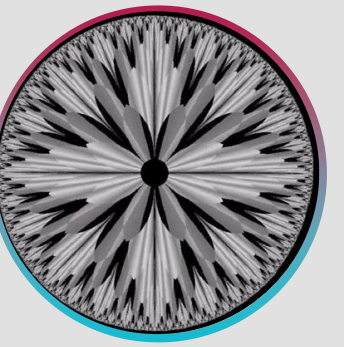


FIGURE 3.13 An 8-bit fractal image. (A fractal is an image generated from mathematical expressions). (Courtesy of Ms. Melissa D. Binde, Swarthmore College, Swarthmore, PA.)

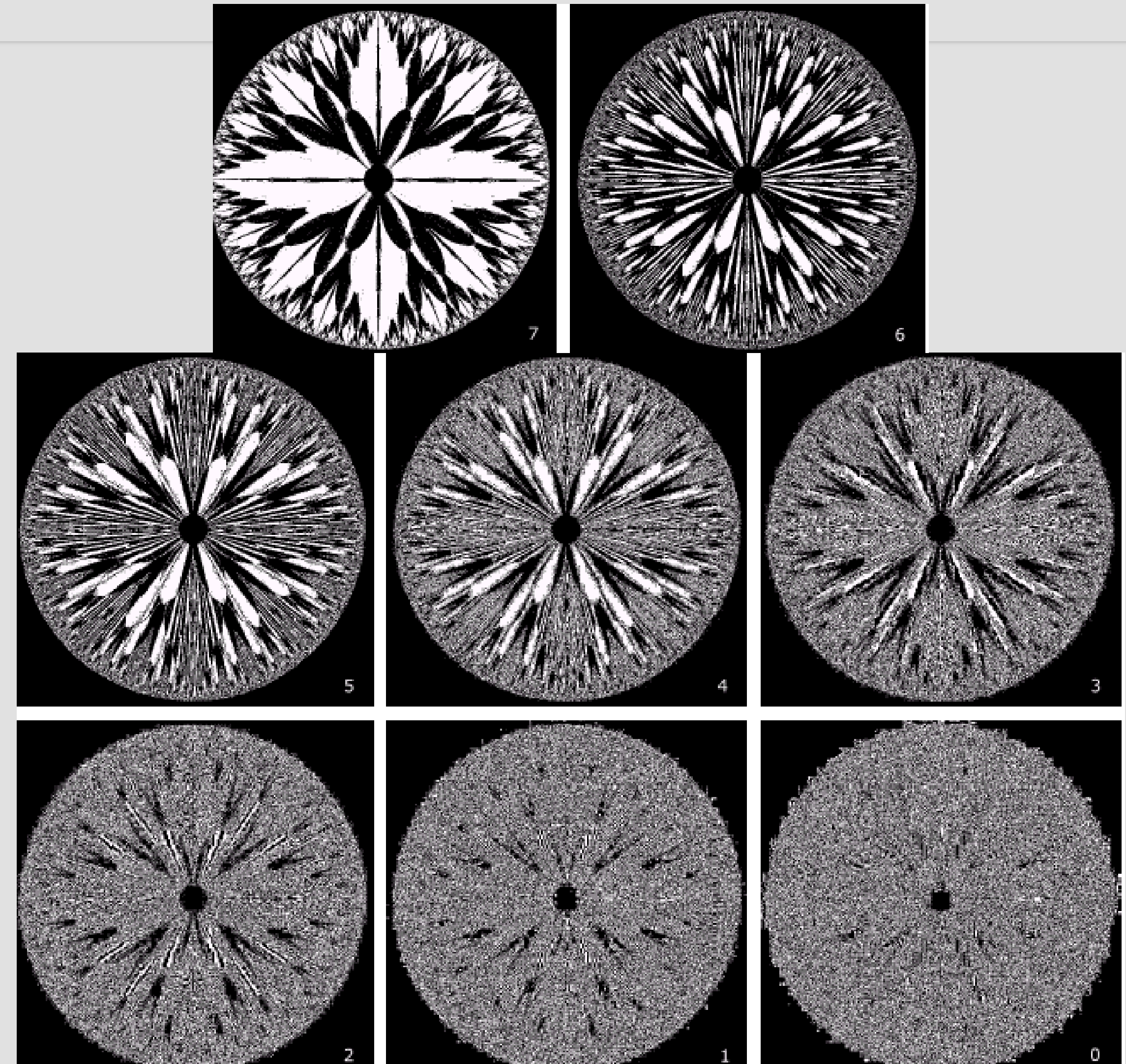


FIGURE 3.14 The eight bit planes of the image in Fig. 3.13. The number at the bottom, right of each image identifies the bit plane.