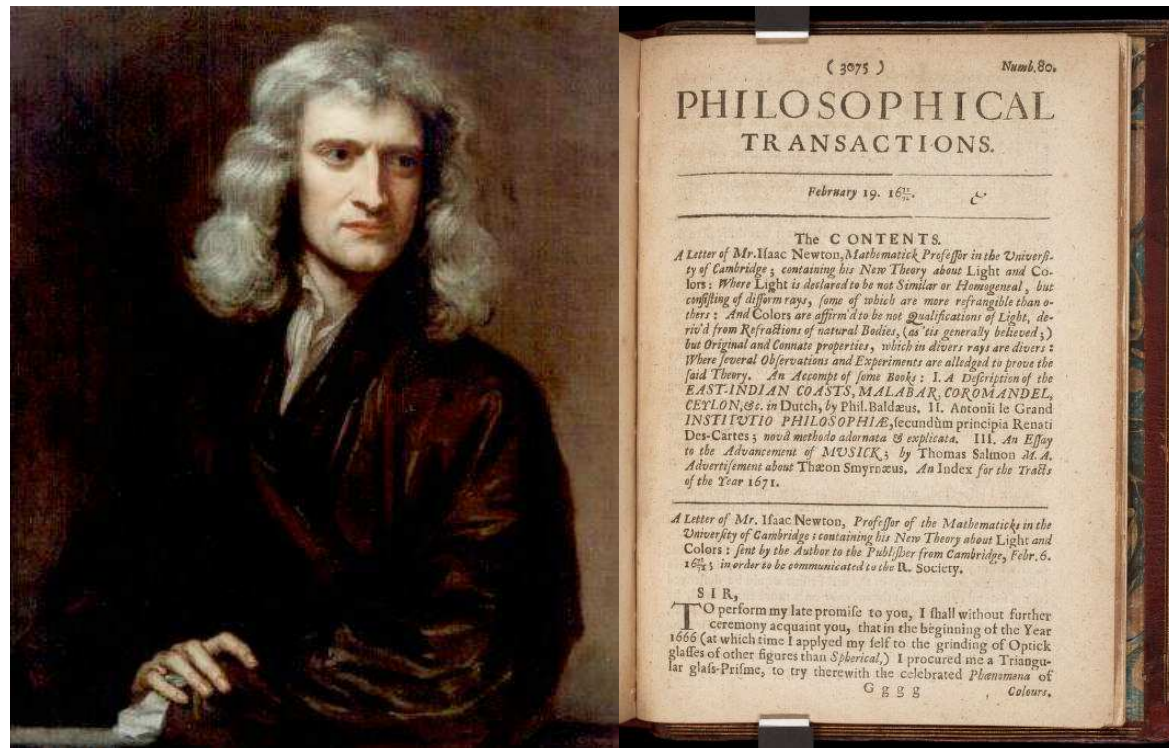


Color y textura

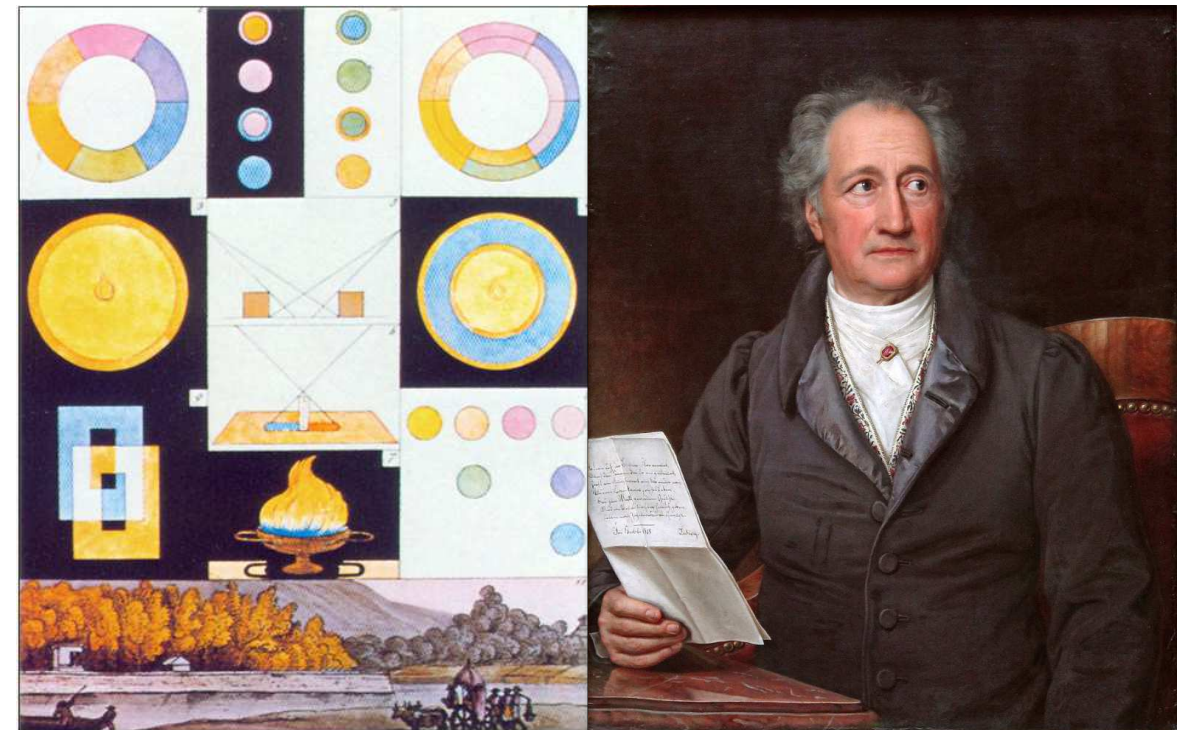
¿Qué es el color?



[Newton, 1686]

“El color es producto de la luz a ciertas longitudes de onda”

Is. Newton

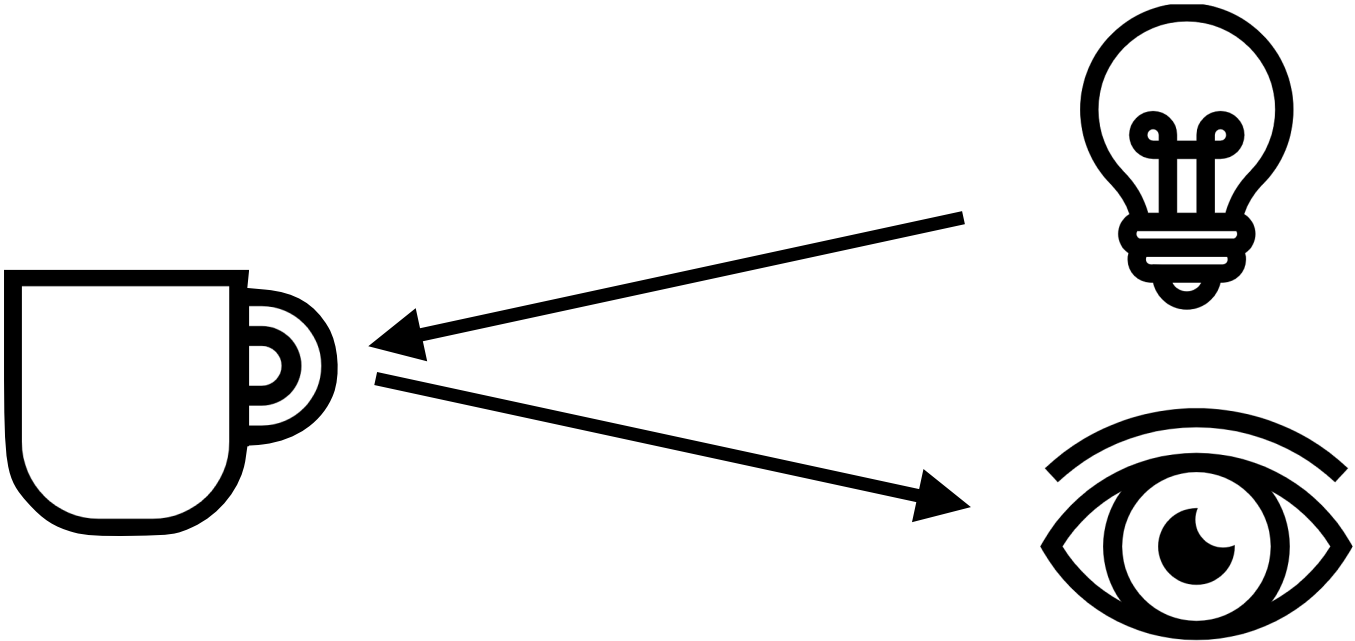


[Goethe, 1810]

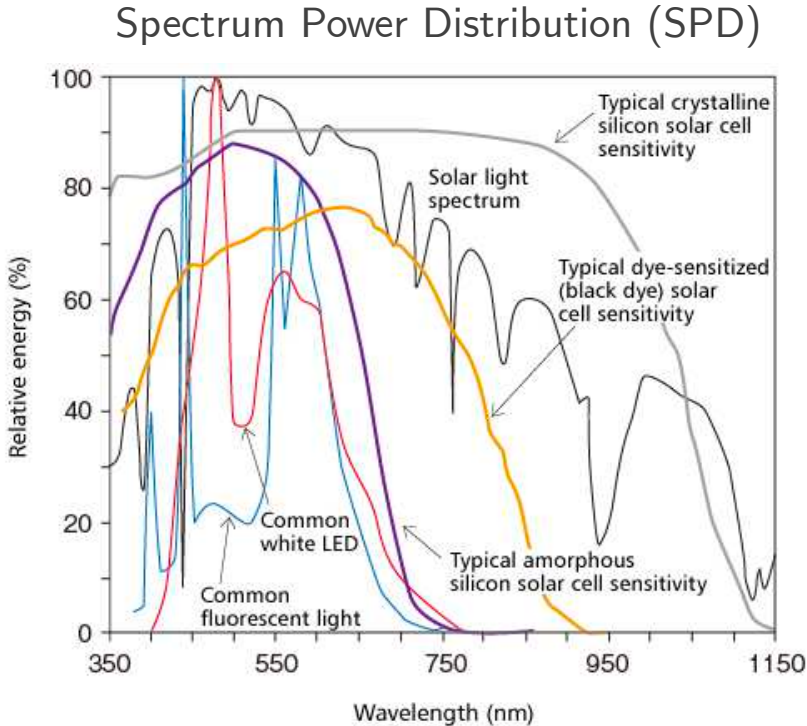
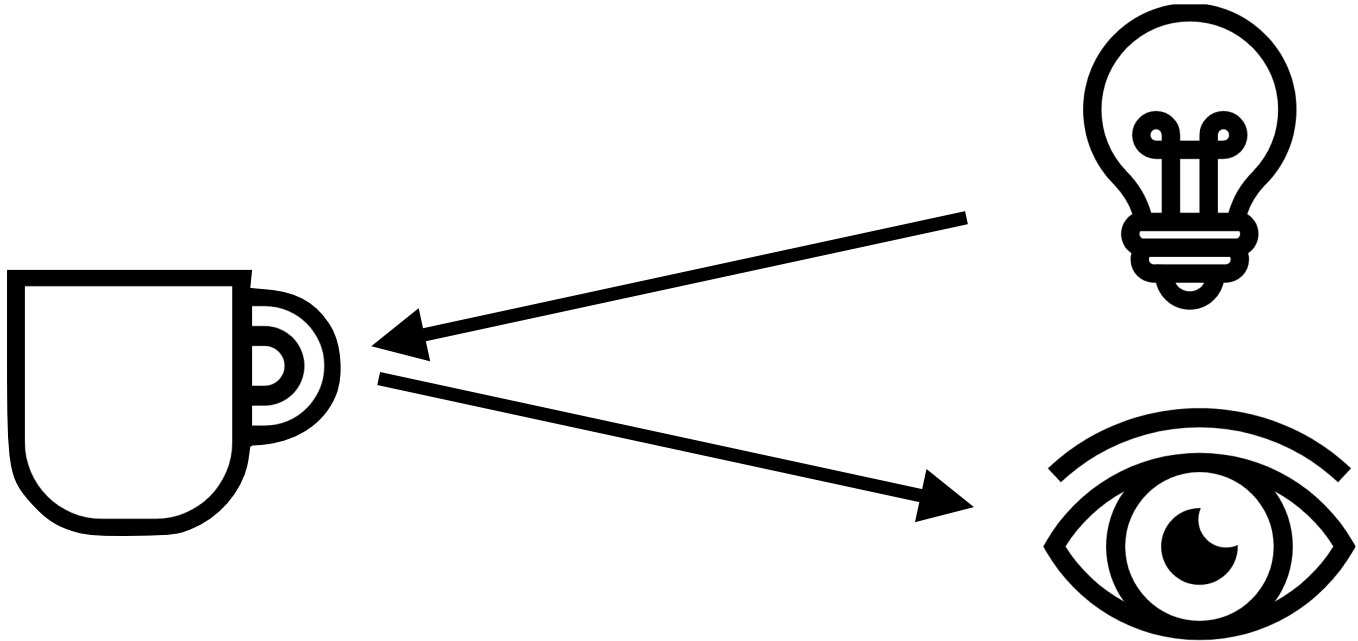
“El color es producto de la percepción del observador”

Goethe

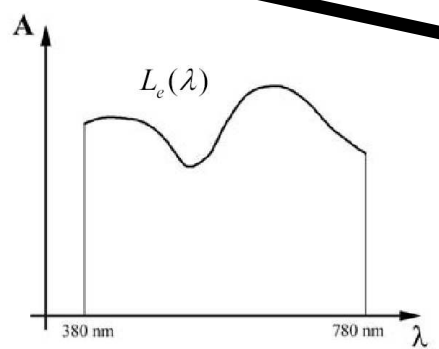
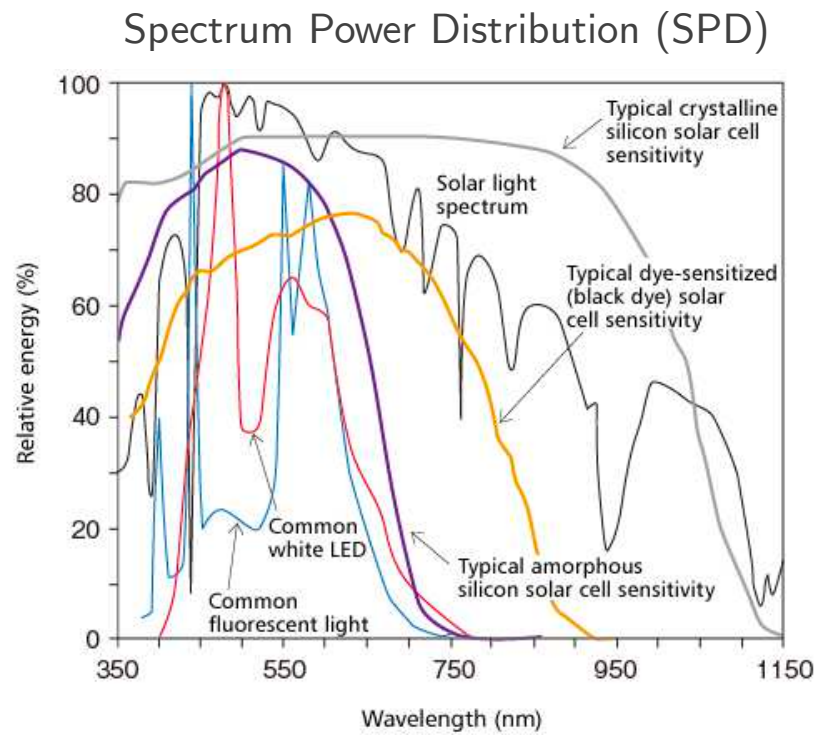
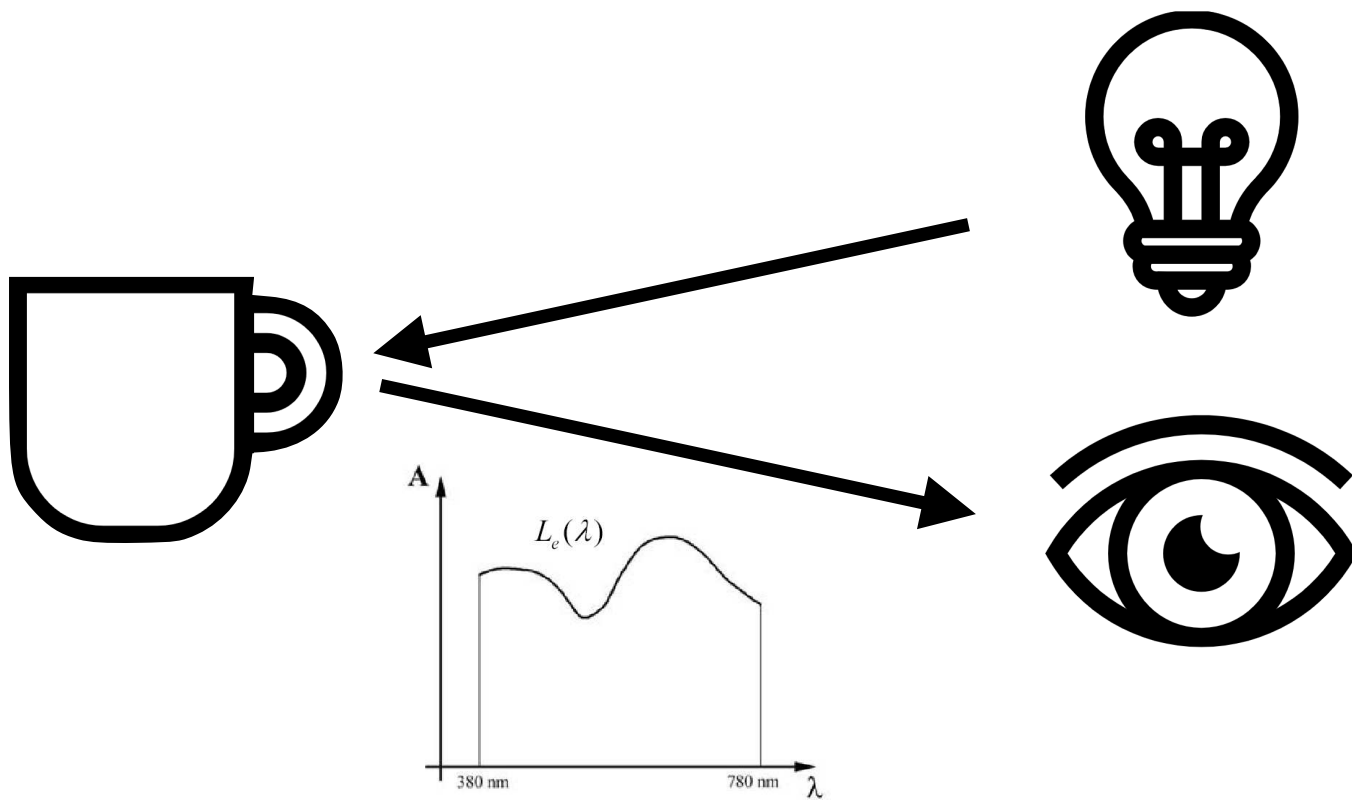
Proceso de visión



Proceso de visión

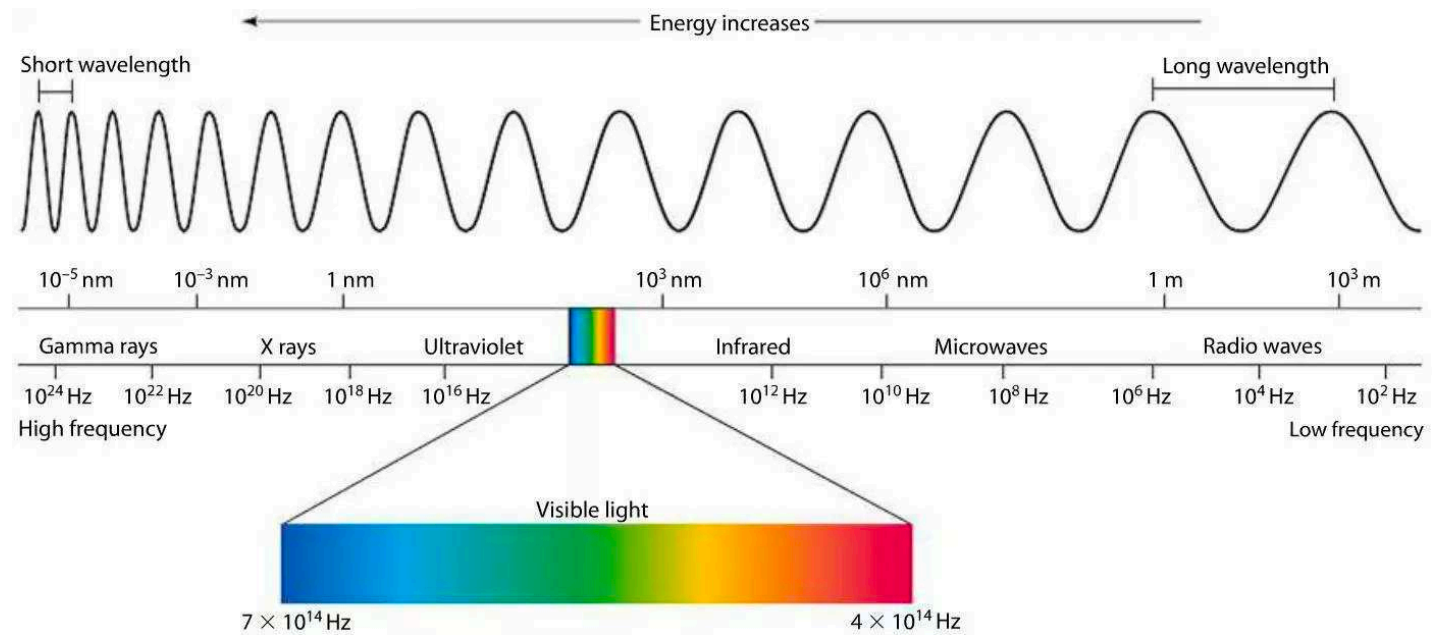
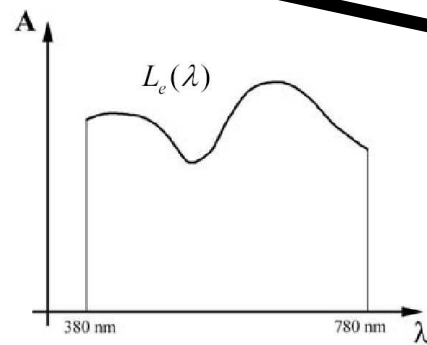
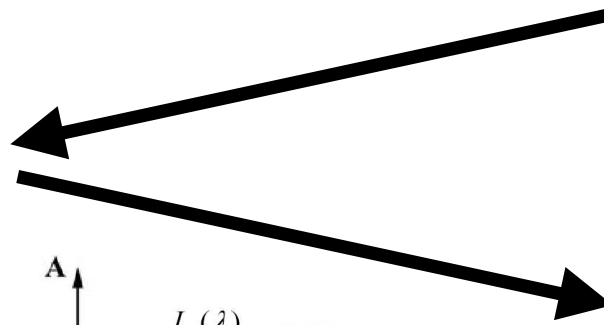
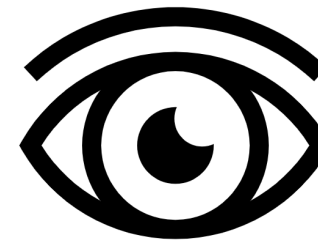
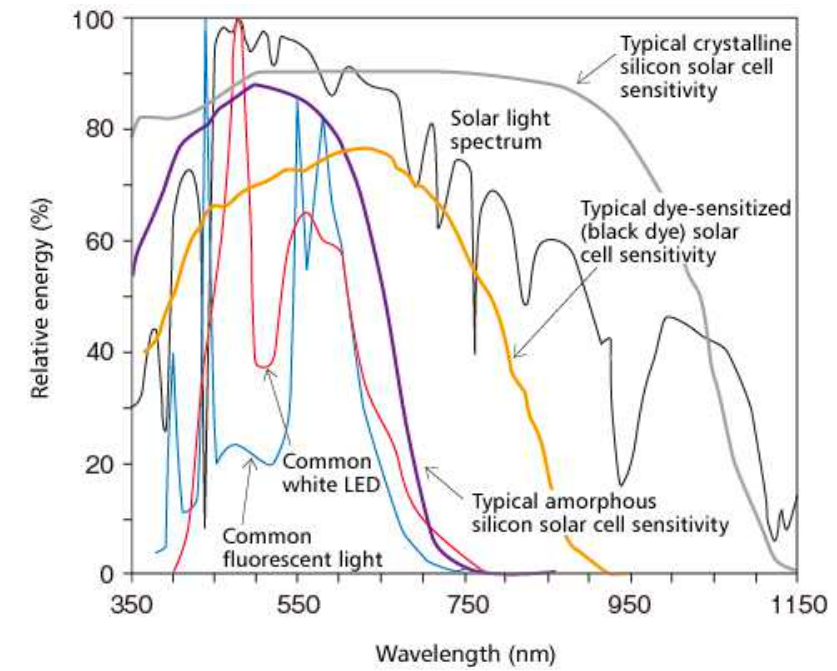


Proceso de visión



Proceso de visión

Spectrum Power Distribution (SPD)



El color no existe por si mismo

- Pero...
 - Igual SPD producen diferentes colores percibidos.
 - Iguales colores percibidos provienen de diferentes SPD.
- *Color appearance is strongly affected by other nearby colors, by adaptation to previous views, and by “state of mind”.*



Hermann von Helmholtz

“El color se percibe como la combinación de tres colores primarios.”

(rojo, verde y azul)

“Controversia
Helmholtz-Hering”
... y los dos tenían razón.

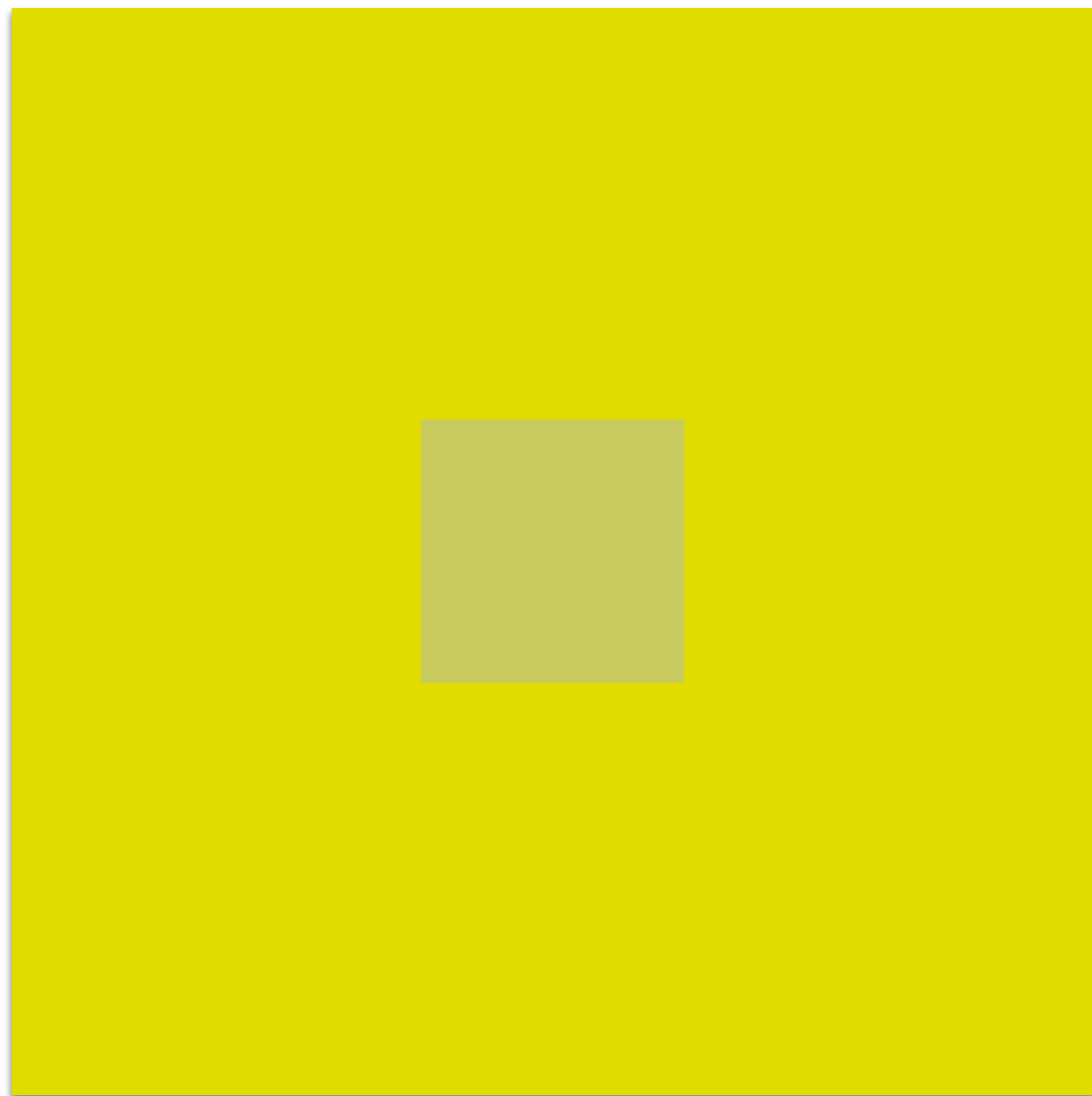


Ewald Hering

“El color se percibe como la combinación de tres parejas de colores opuestos.”

(rojo-verde, blanco-negro y azul-amarillo)

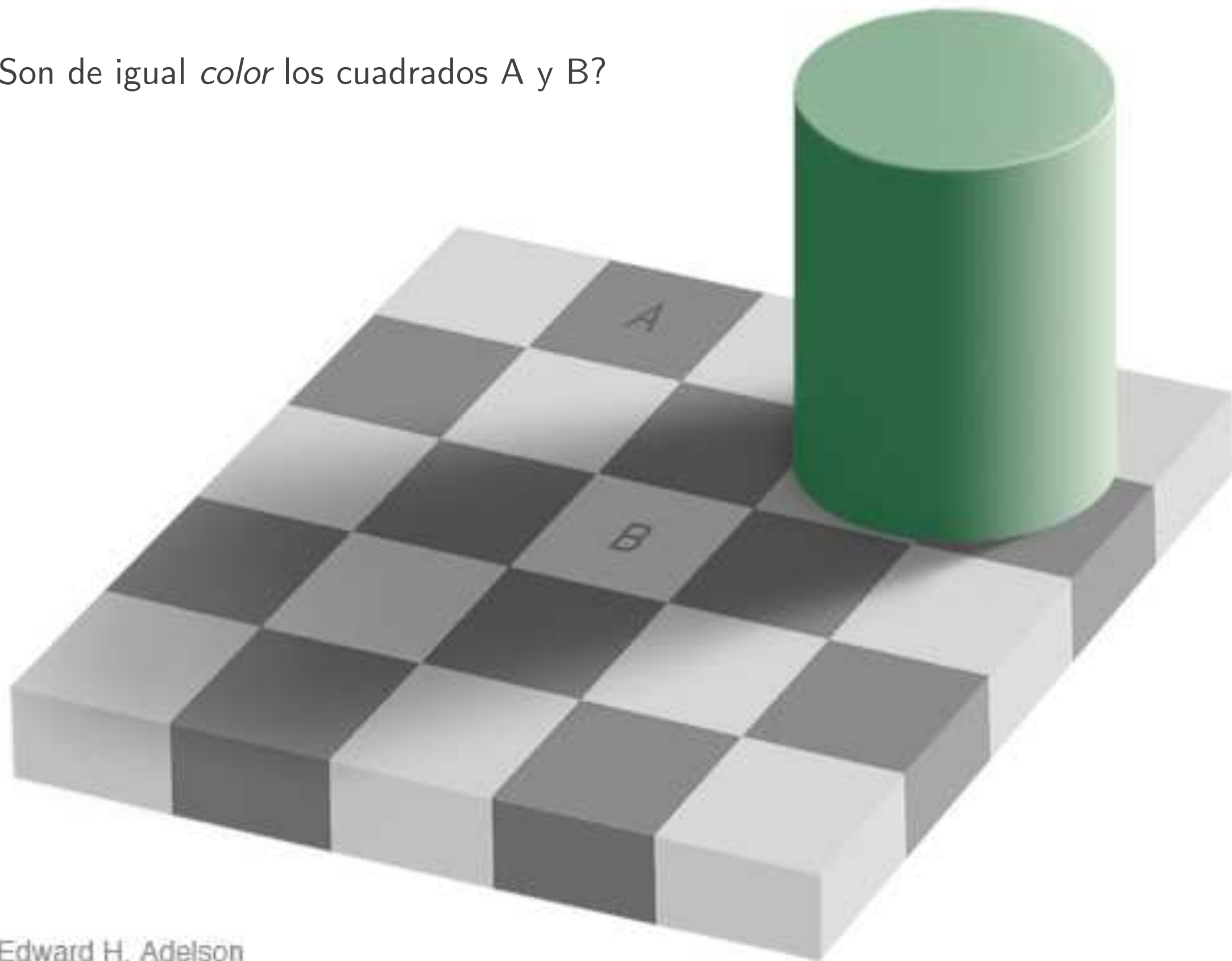
¿Son de igual *color* los cuadrados pequeños?



¿Son de igual *color* los cuadrados pequeños?

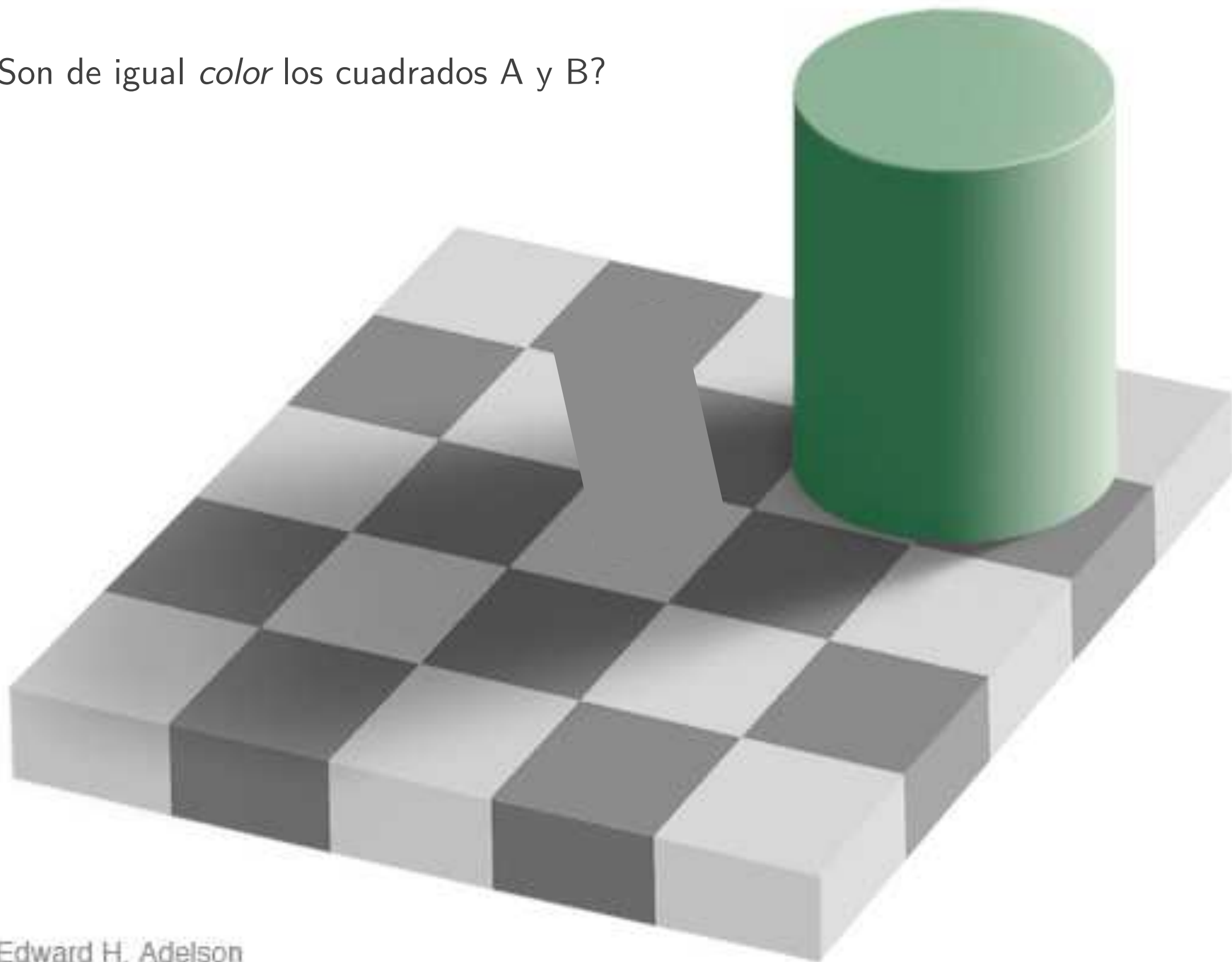


¿Son de igual *color* los cuadrados A y B?



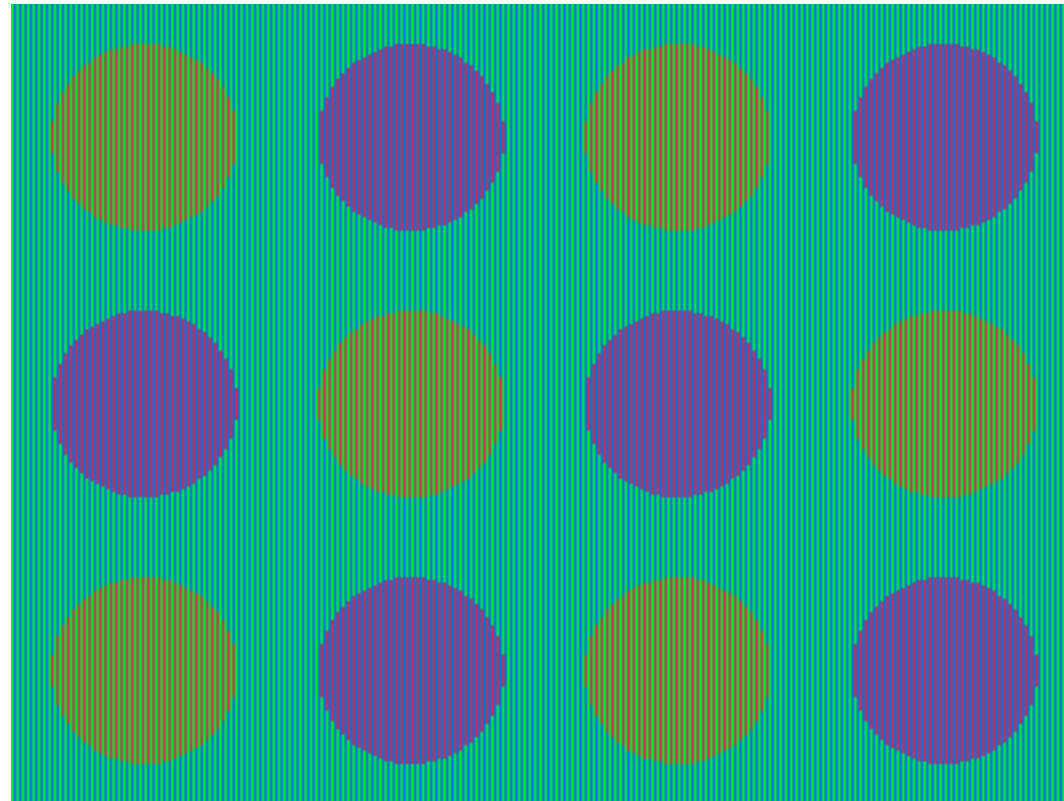
Edward H. Adelson

¿Son de igual *color* los cuadrados A y B?



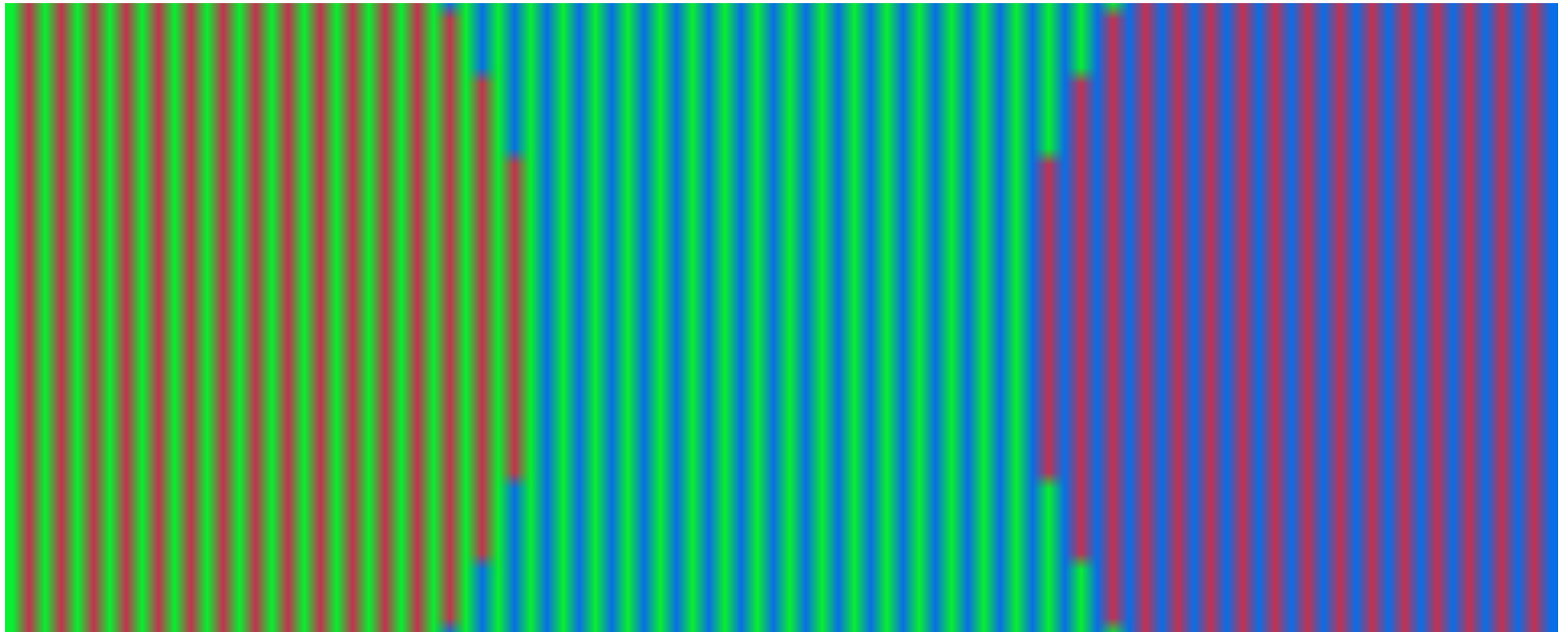
Edward H. Adelson

¿De qué *color* son los círculos?

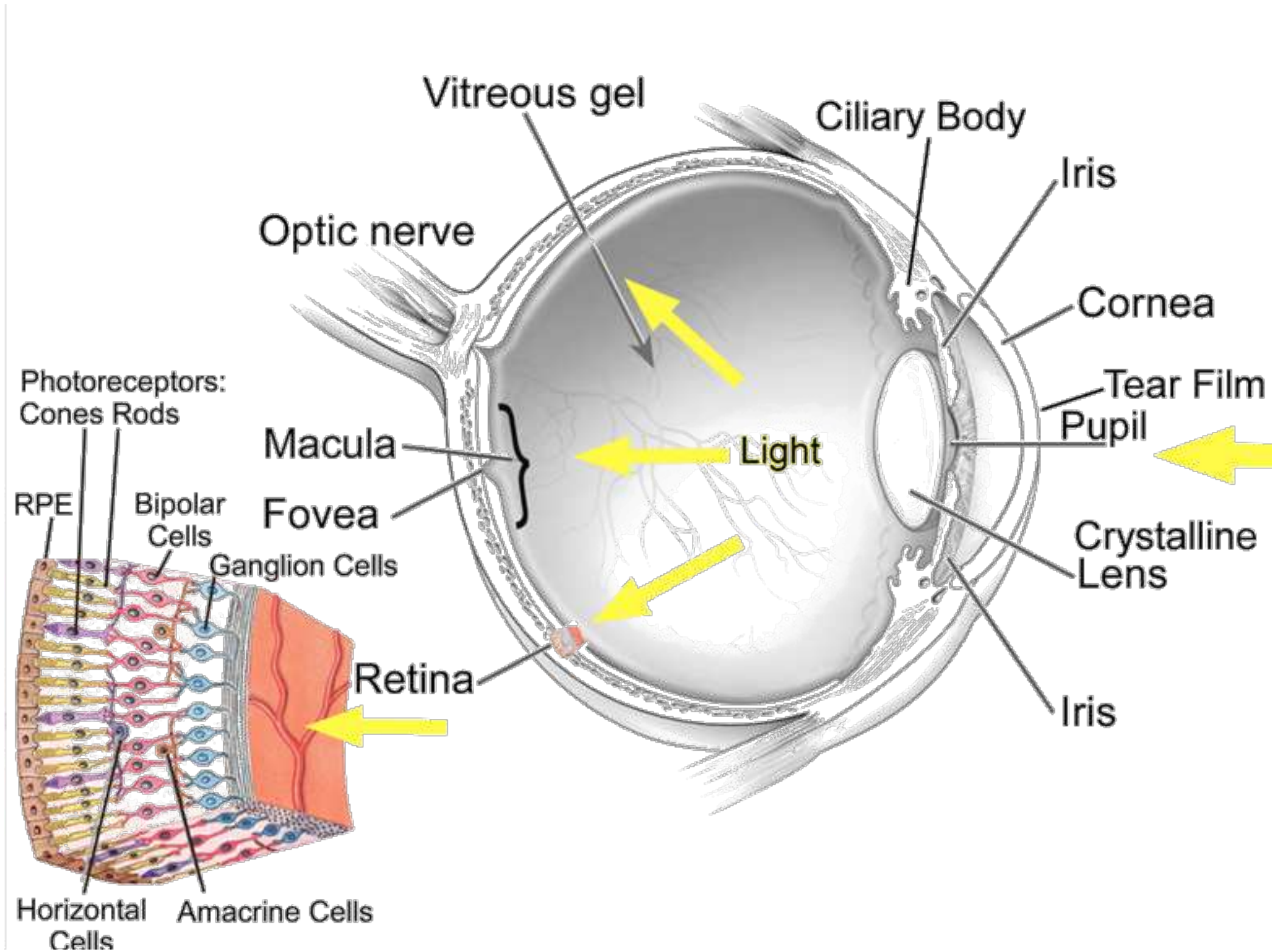


[FIJI: File > Open Samples > Striped Circles]

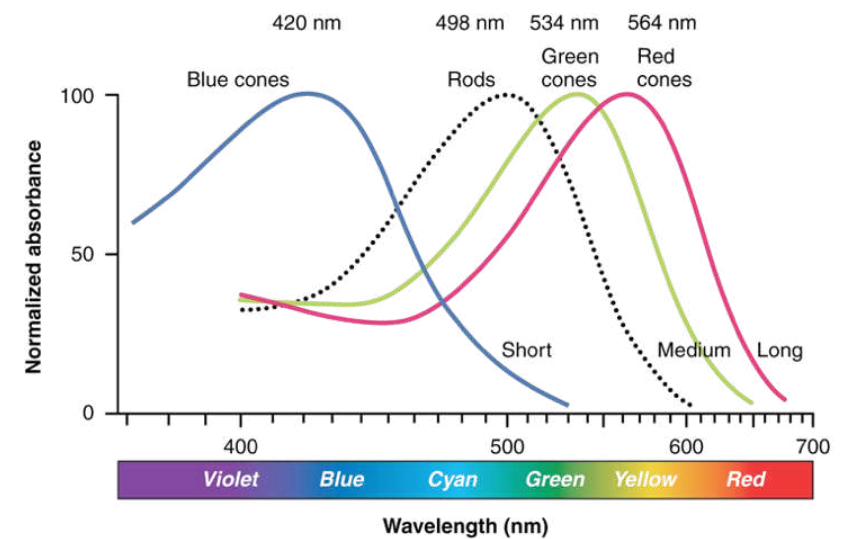
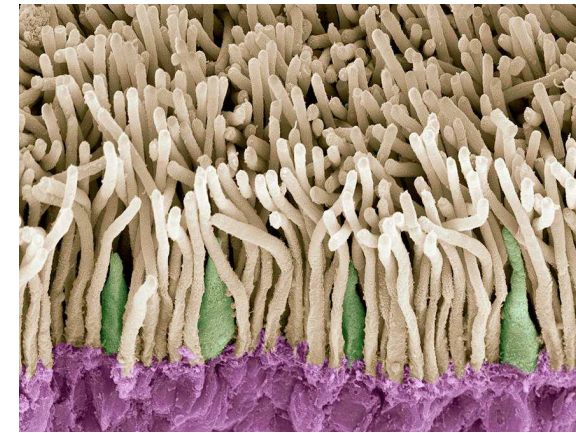
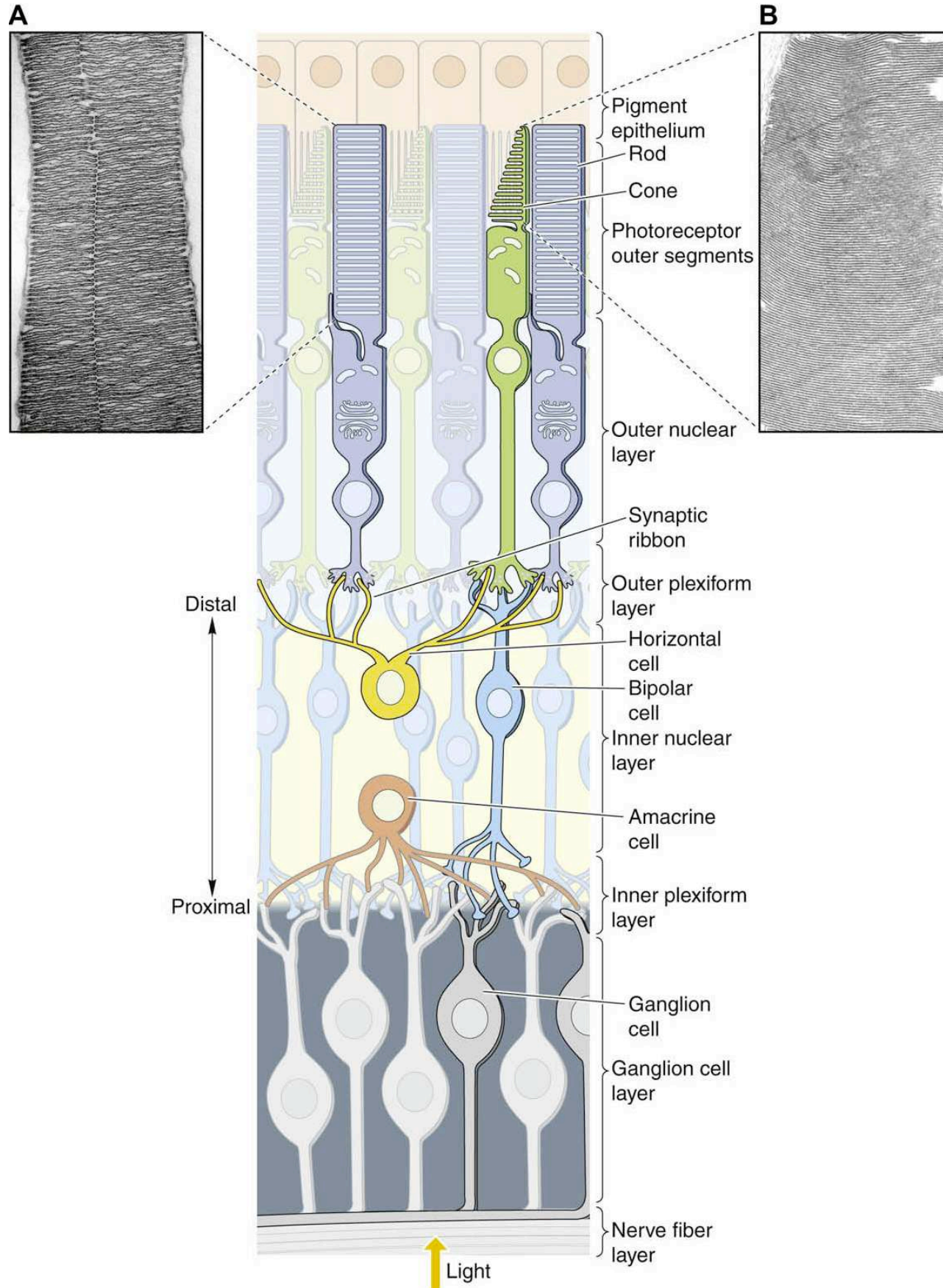
¿De qué *color* son los círculos?



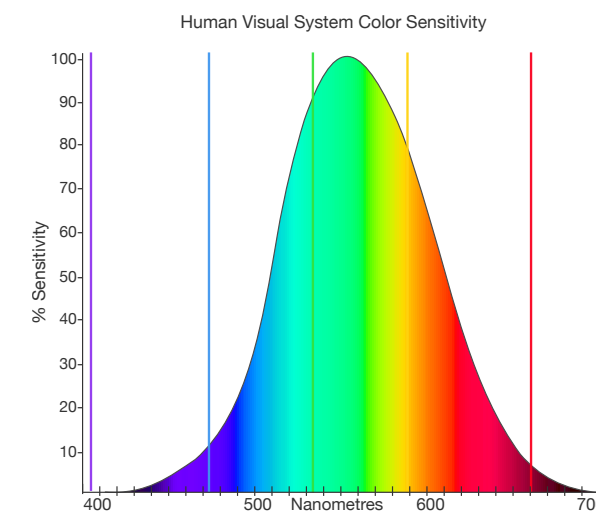
Sistema Visual Humano: El ojo



Sistema Visual Humano: Fotoreceptores



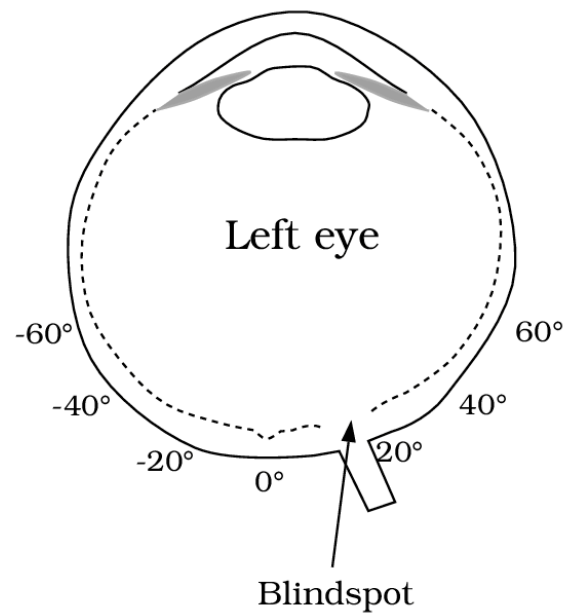
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/1416_Color_Sensitivity.jpg



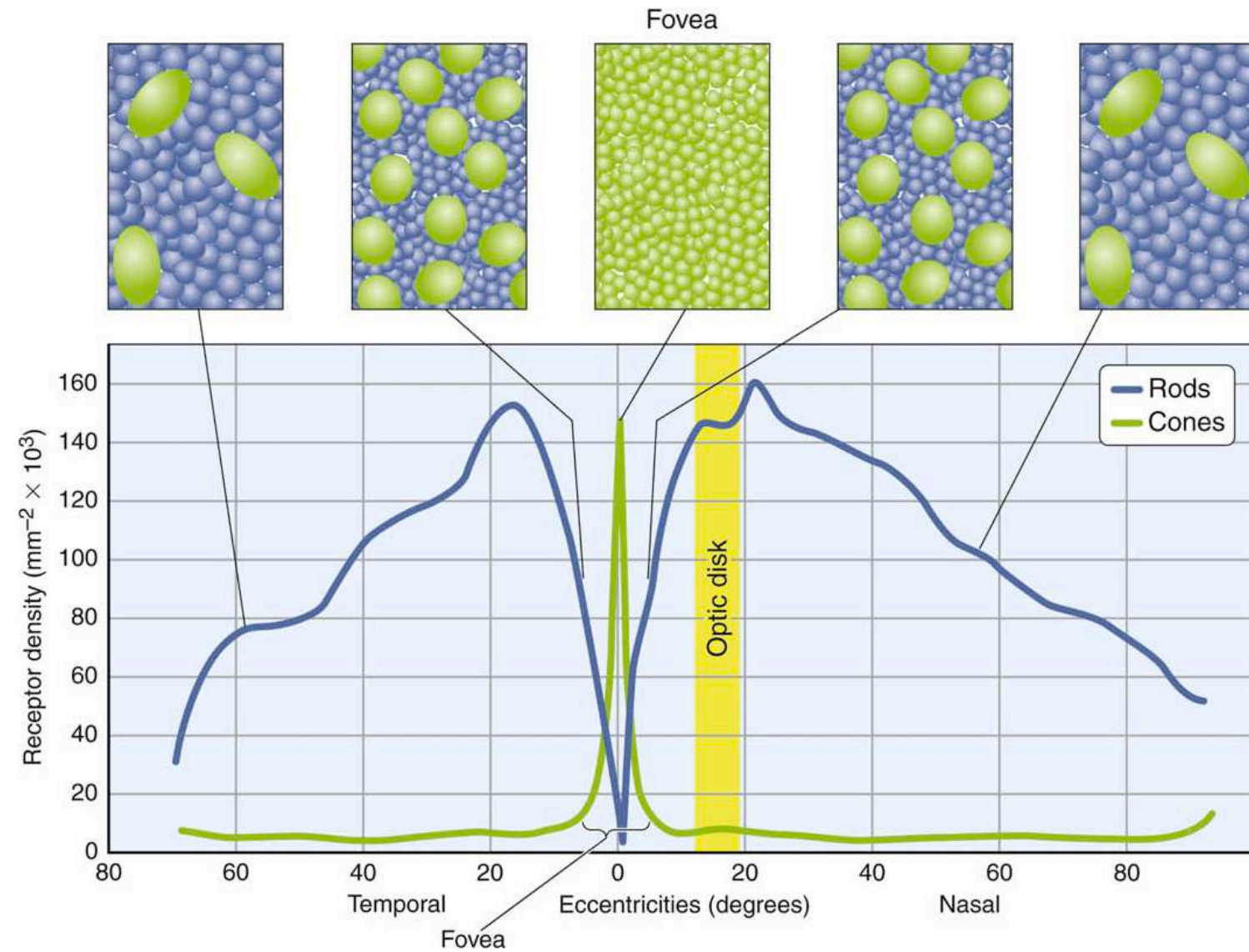
Mustafi, D., Engel, A. H., & Palczewski, K. (2009). Structure of cone photoreceptors. Progress in retinal and eye research, 28(4), 289-302.

[Adaptado de <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Eyesensitivity.svg>]

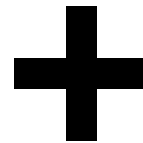
Sistema Visual Humano: La retina



Distribución de conos y bastones en la retina

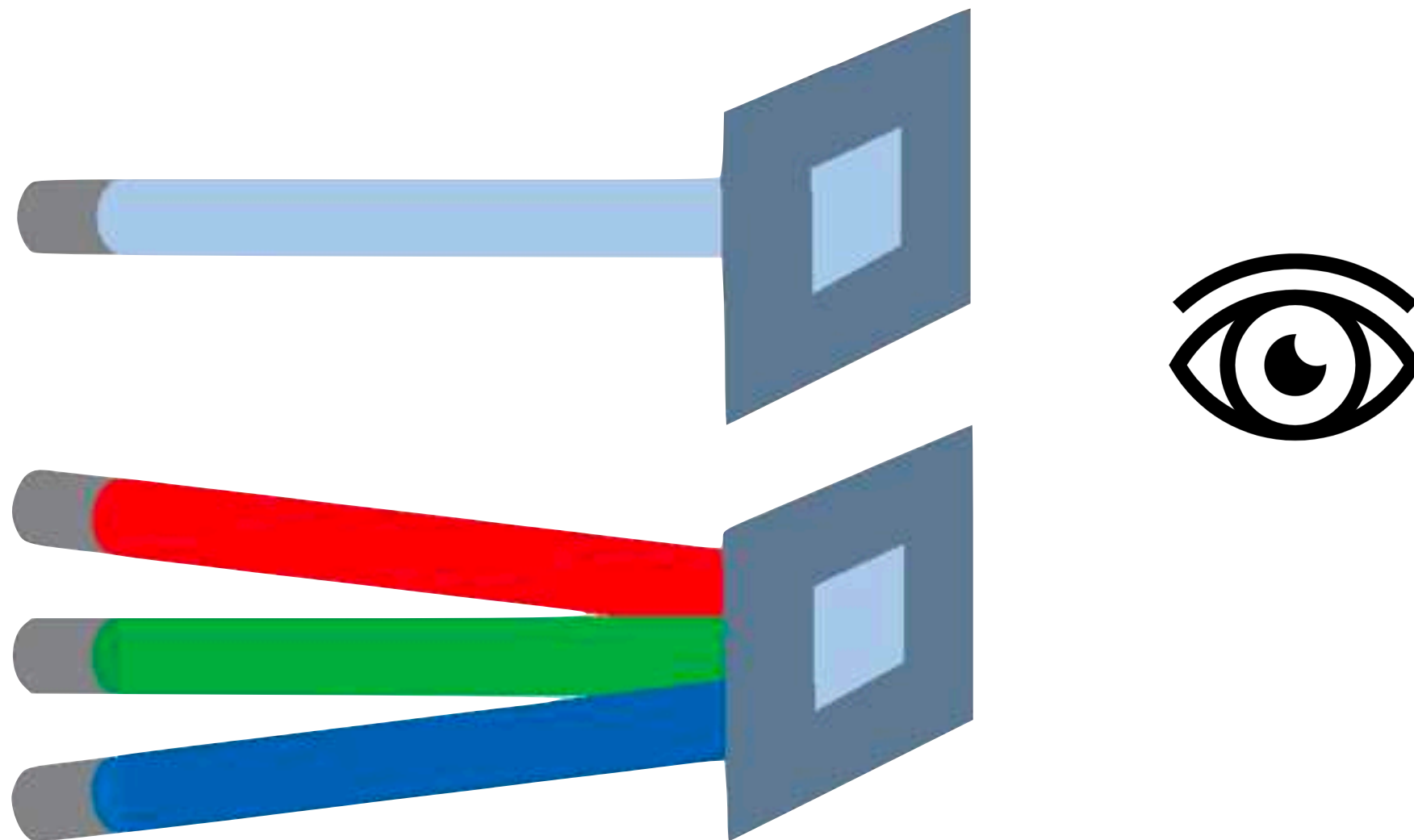


Mustafi, D., Engel, A. H., & Palczewski, K. (2009). Structure of cone photoreceptors. *Progress in retinal and eye research*, 28(4), 289-302.



Enfocar el ojo izquierdo en la cruz, taparse el ojo derecho y colocarse a unos 30 cm de la imagen, hasta que “desaparece” el punto.

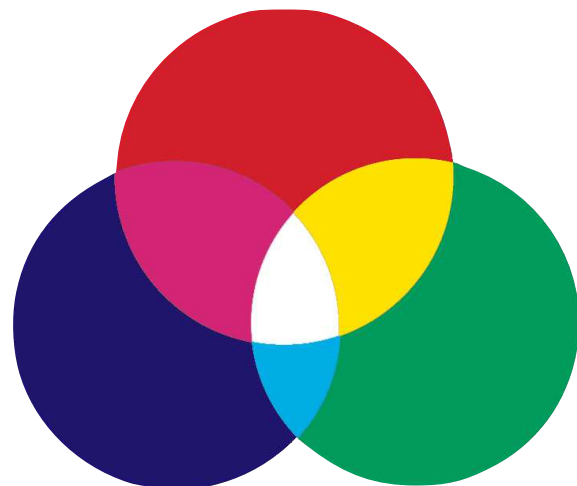
Representación del color



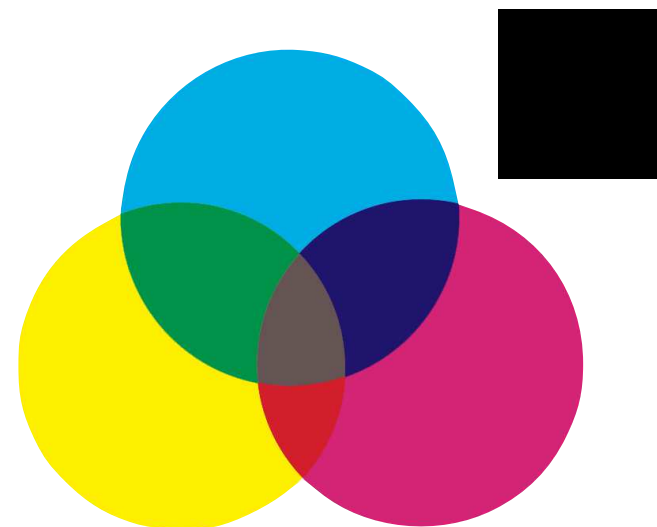
Experimentos de Wright (1928) y Guild (1931).

Representación del color

- El color es una característica de tres dimensiones.
- Muchos colores pueden representarse como la mezcla de tres “colores primarios” A , B y C .
 - Adición: $D = w_a A + w_b B + w_c C$
 $D + w_a A = w_b B + w_c C \Rightarrow D = -w_a A + w_b B + w_c C$
- Principio de tricromacia (*tristimulus*): con tres colores primarios se pueden generar otros colores (para la mayoría de las personas).
- En general un espacio de representación de color está *generalmente* asociado con un hardware (displays, impresoras, ...)

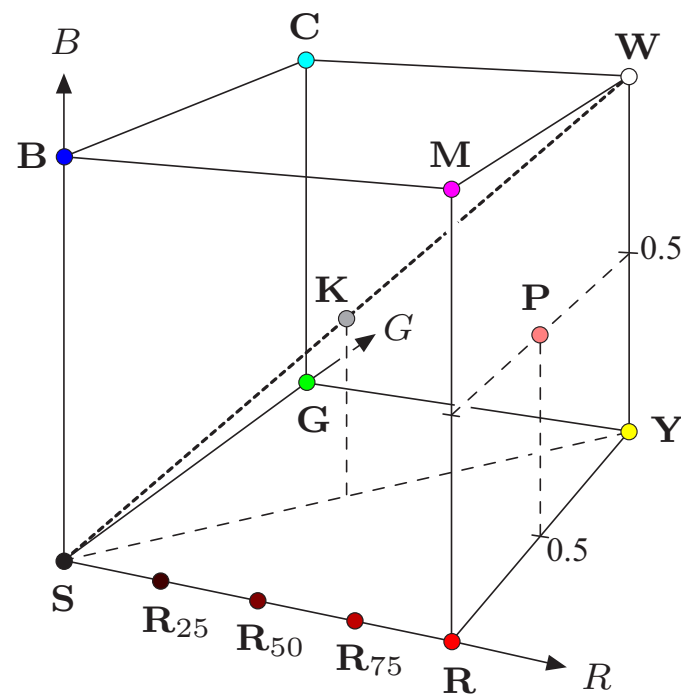


RGB (aditivo, luz)



CMY(K) (sustractivo, pigmentos)

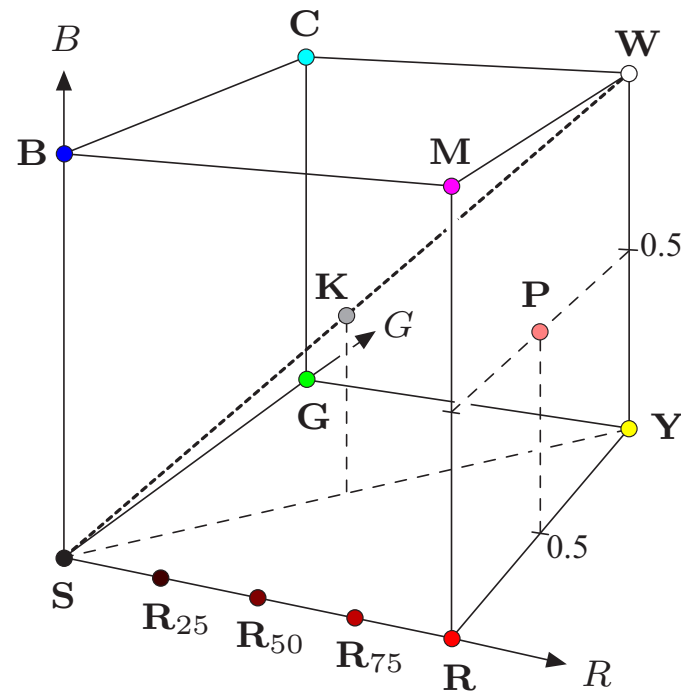
RGB



RGB Value				
Point	Color	<i>R</i>	<i>G</i>	<i>B</i>
S	Black	0.00	0.00	0.00
R	Red	1.00	0.00	0.00
Y	Yellow	1.00	1.00	0.00
G	Green	0.00	1.00	0.00
C	Cyan	0.00	1.00	1.00
B	Blue	0.00	0.00	1.00
M	Magenta	1.00	0.00	1.00
W	White	1.00	1.00	1.00
K	50% Gray	0.50	0.50	0.50
R₇₅	75% Red	0.75	0.00	0.00
R₅₀	50% Red	0.50	0.00	0.00
R₂₅	25% Red	0.25	0.00	0.00
P	Pink	1.00	0.50	0.50

- Aditivo
- Suma de tres luces sobre un papel.
- Muy simple. Usado en computadoras, monitores, cámaras, scanners, teléfonos, ...
 - Calibración para colorimetría.
- No es ajustado para operaciones con colores (p.e. promedio colores).

RGB



		RGB Value		
Point	Color	R	G	B
S	Black	0.00	0.00	0.00
R	Red	1.00	0.00	0.00
Y	Yellow	1.00	1.00	0.00
G	Green	0.00	1.00	0.00
C	Cyan	0.00	1.00	1.00
B	Blue	0.00	0.00	1.00
M	Magenta	1.00	0.00	1.00
W	White	1.00	1.00	1.00
K	50% Gray	0.50	0.50	0.50
R ₇₅	75% Red	0.75	0.00	0.00
R ₅₀	50% Red	0.50	0.00	0.00
R ₂₅	25% Red	0.25	0.00	0.00
P	Pink	1.00	0.50	0.50

RGB a CMY:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

CMY a CMYK:

$$K = \min(C, M, Y)$$

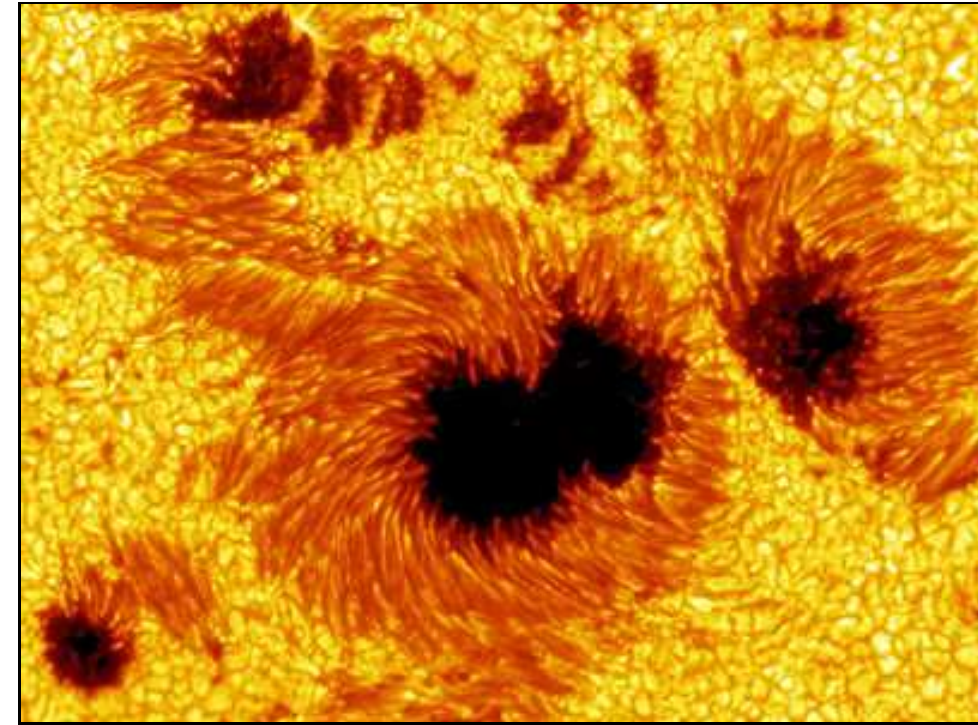
$$C = (C - K)/(1 - K)$$

$$M = (M - K)/(1 - K)$$

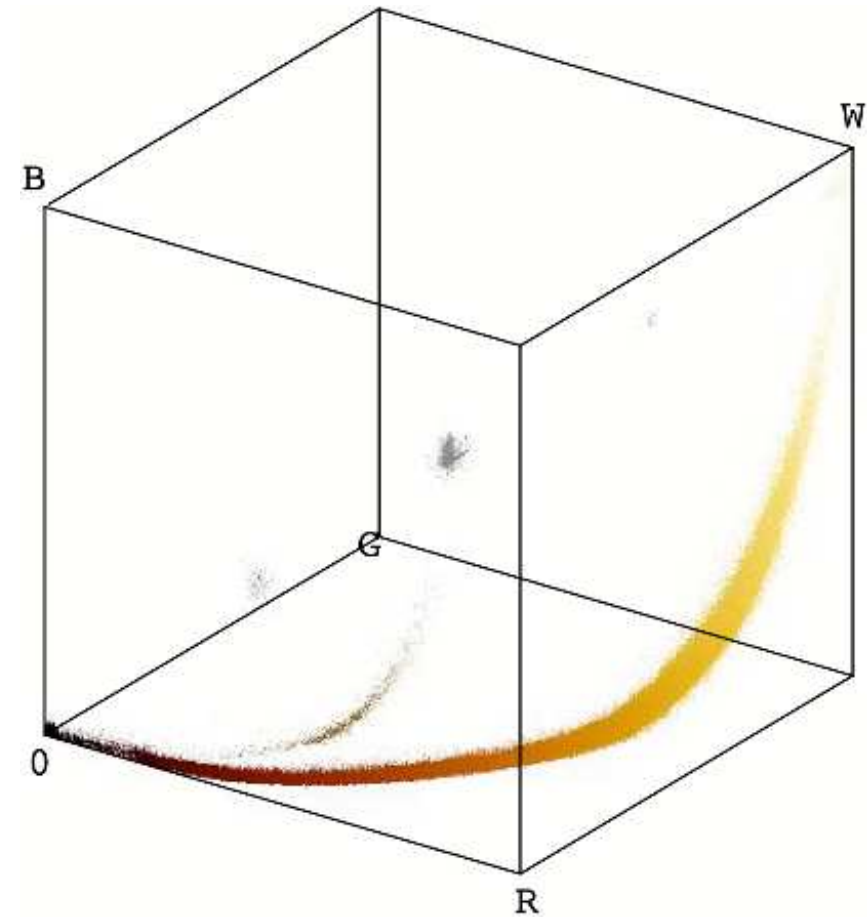
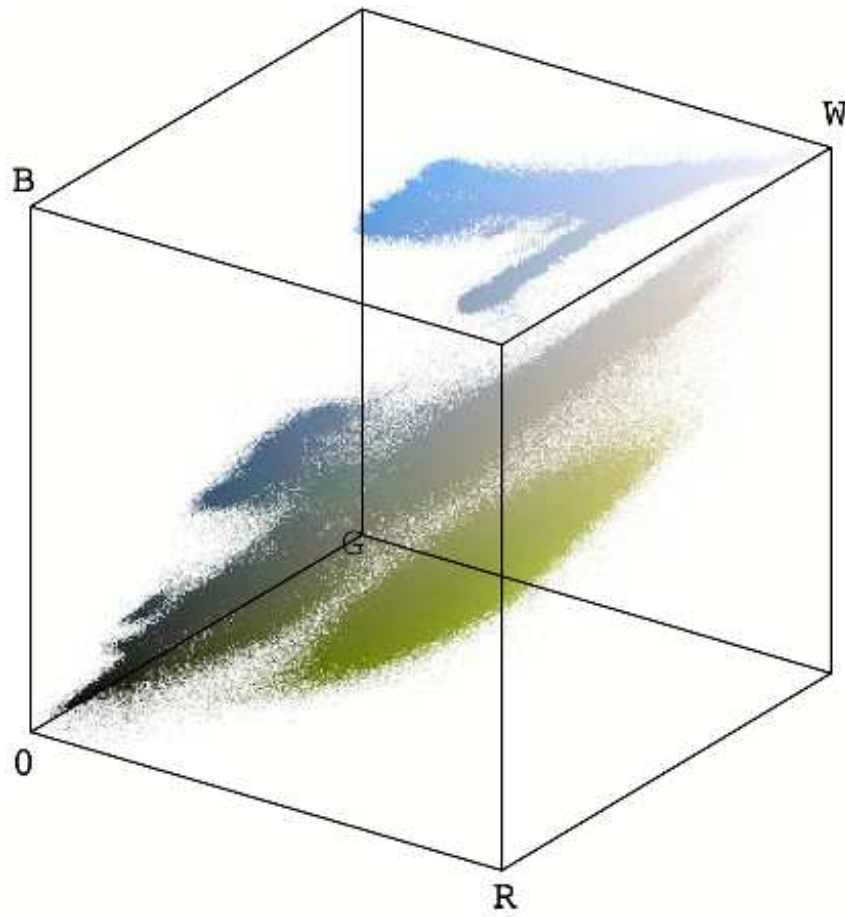
$$Y = (Y - K)/(1 - K)$$

- Aditivo
- Suma de tres luces sobre un papel.
- Muy simple. Usado en computadoras, monitores, cámaras, scanners, teléfonos, ...
 - Calibración para colorimetría.
- No es ajustado para operaciones con colores (p.e. promedio colores).

(a)



(b)
RGB

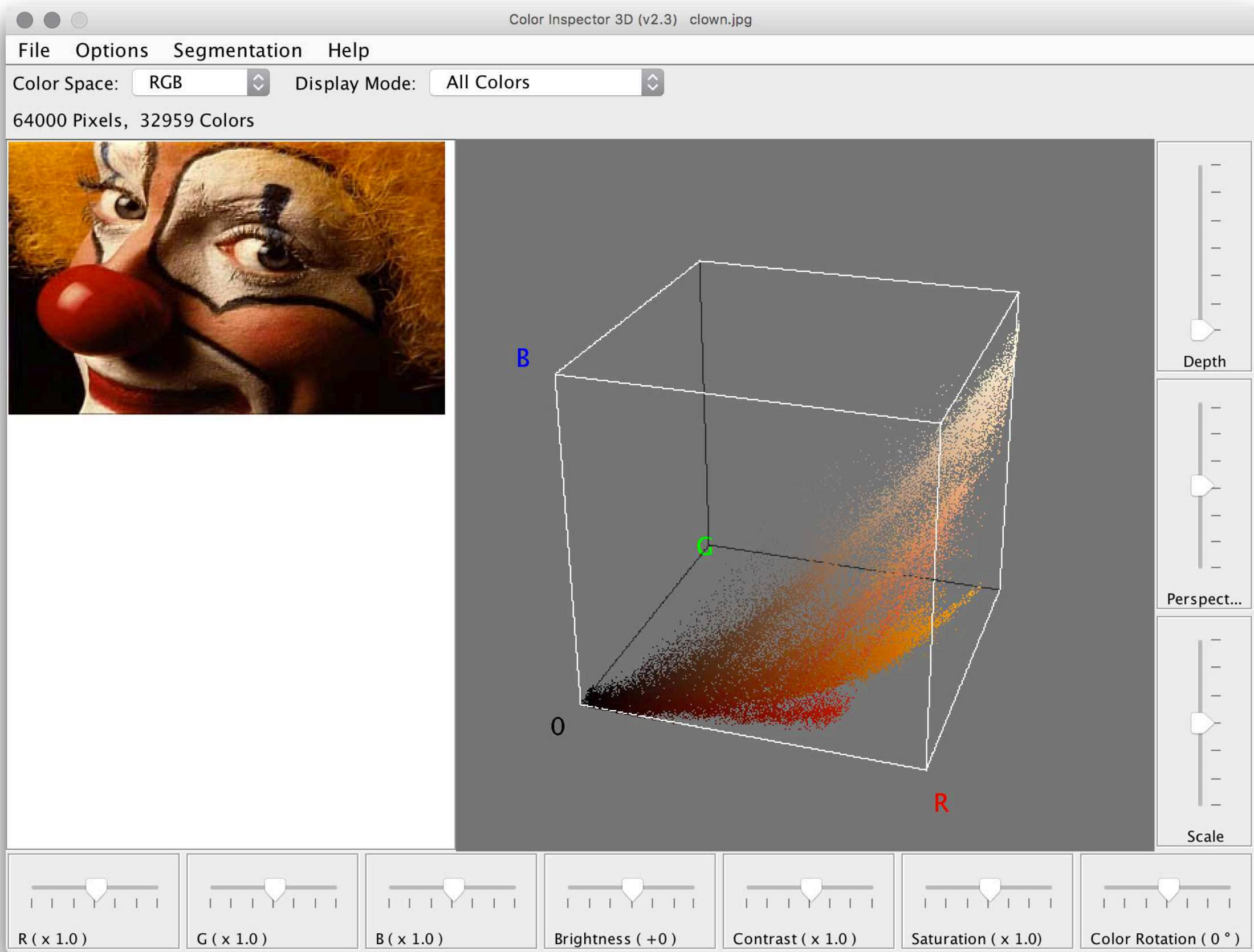


Color Inspector 3D (v2.3) clown.jpg

File Options Segmentation Help

Color Space: Display Mode:

64000 Pixels, 32959 Colors



Depth

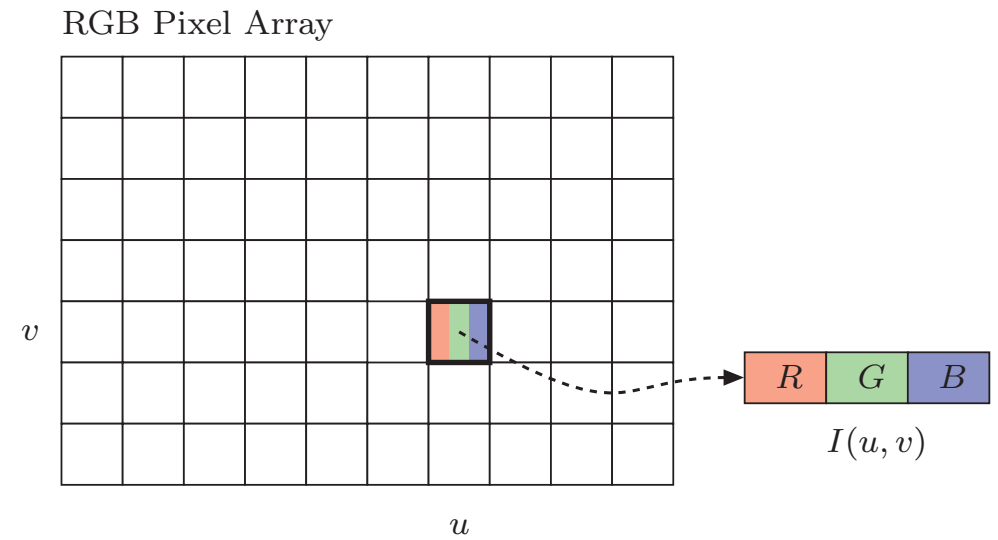
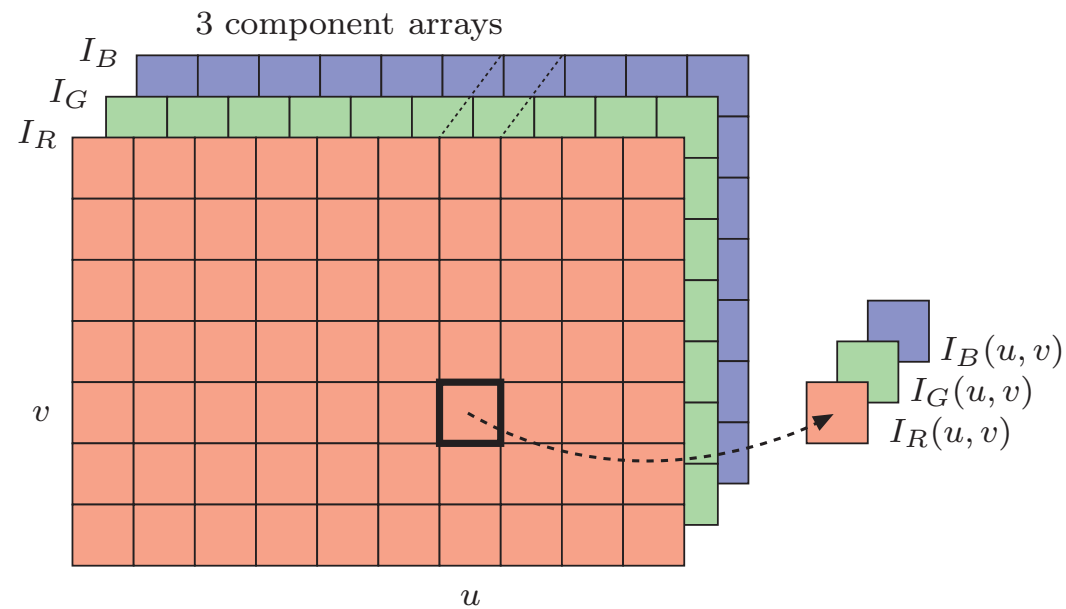
Perspect...

Scale

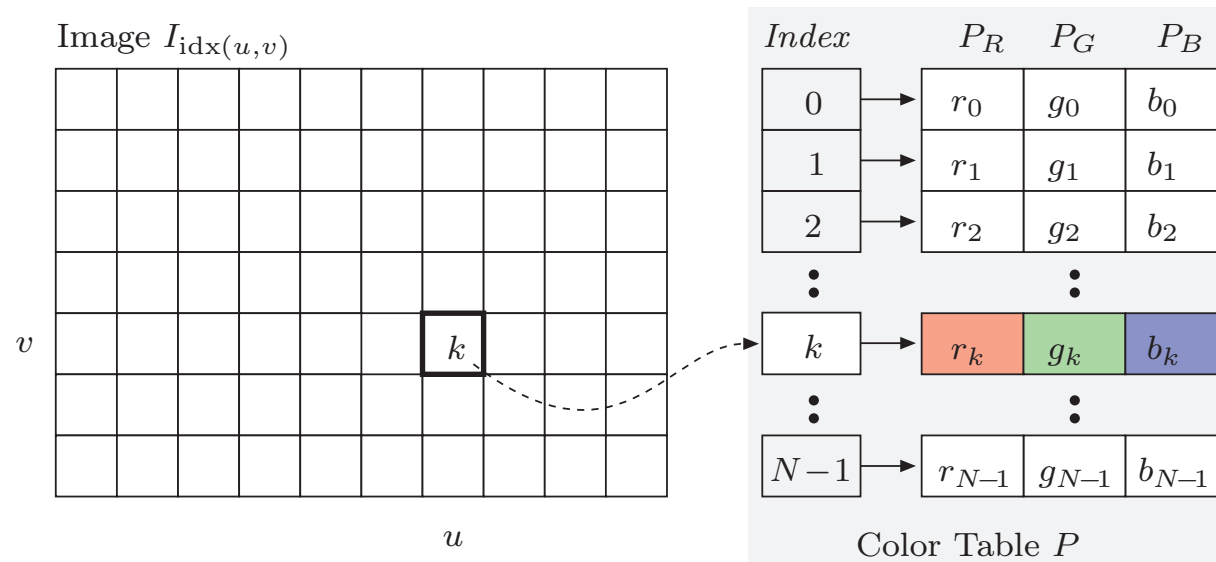
R (x 1.0) G (x 1.0) B (x 1.0) Brightness (+0) Contrast (x 1.0) Saturation (x 1.0) Color Rotation (0°)

Tipos de imágenes RGB

True Color

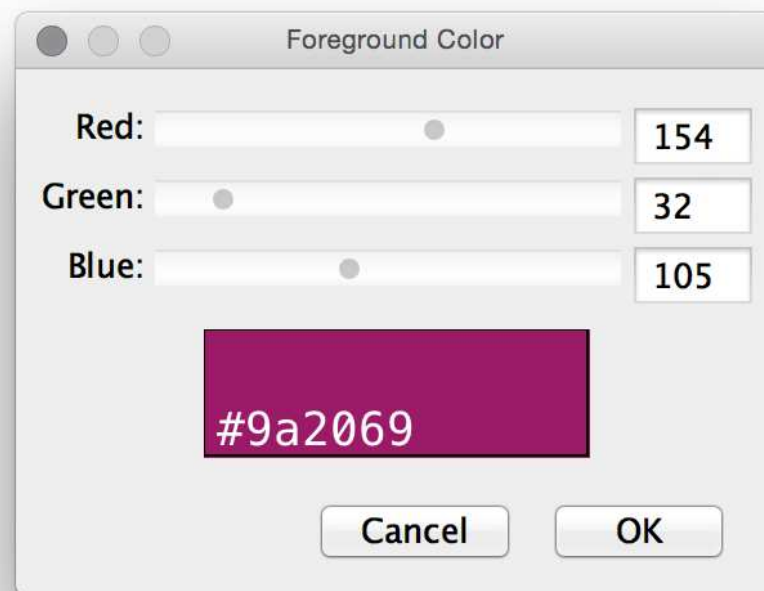
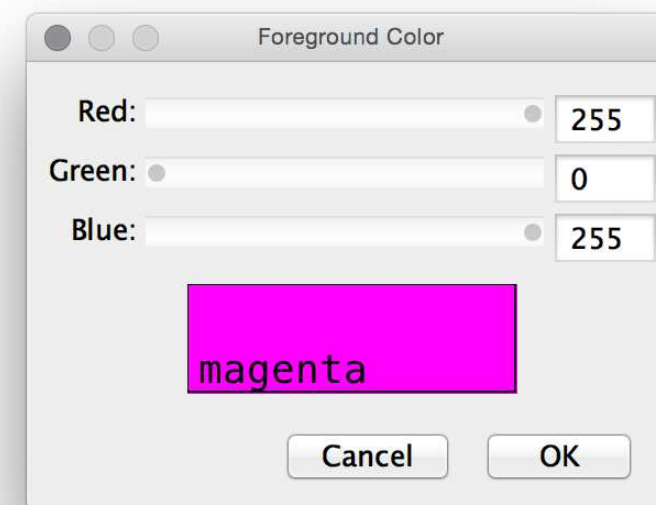
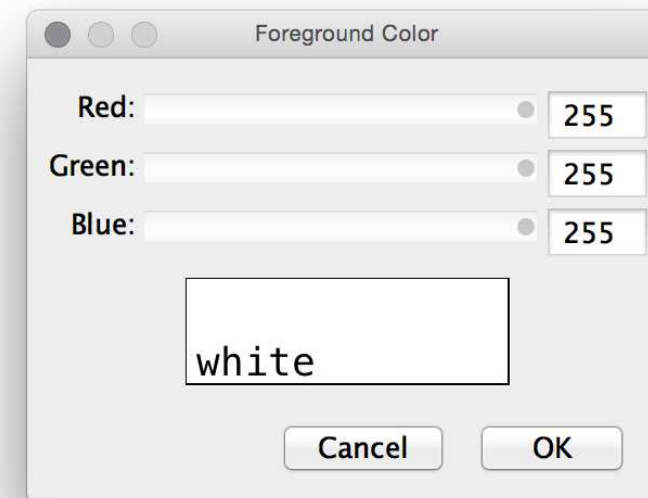
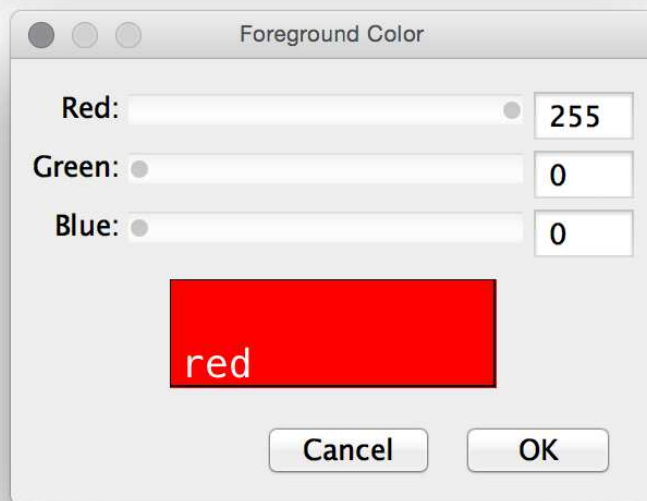
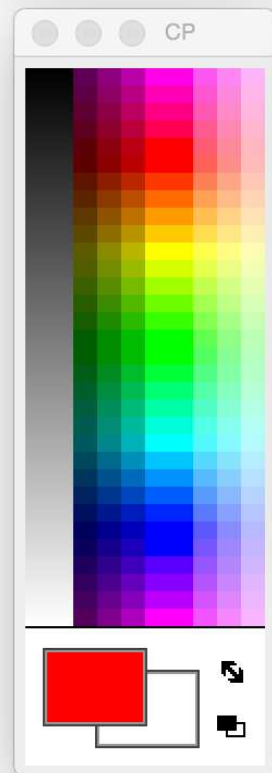
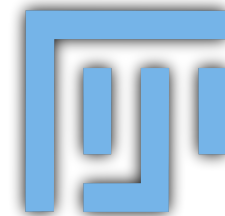


Indexed images (LUT: Look Up Table)



$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \leftarrow \begin{pmatrix} P_R(k) \\ P_G(k) \\ P_B(k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_k \\ g_k \\ b_k \end{pmatrix}, \quad \text{with } k = I_{idx}(u, v).$$

Representación de RGB



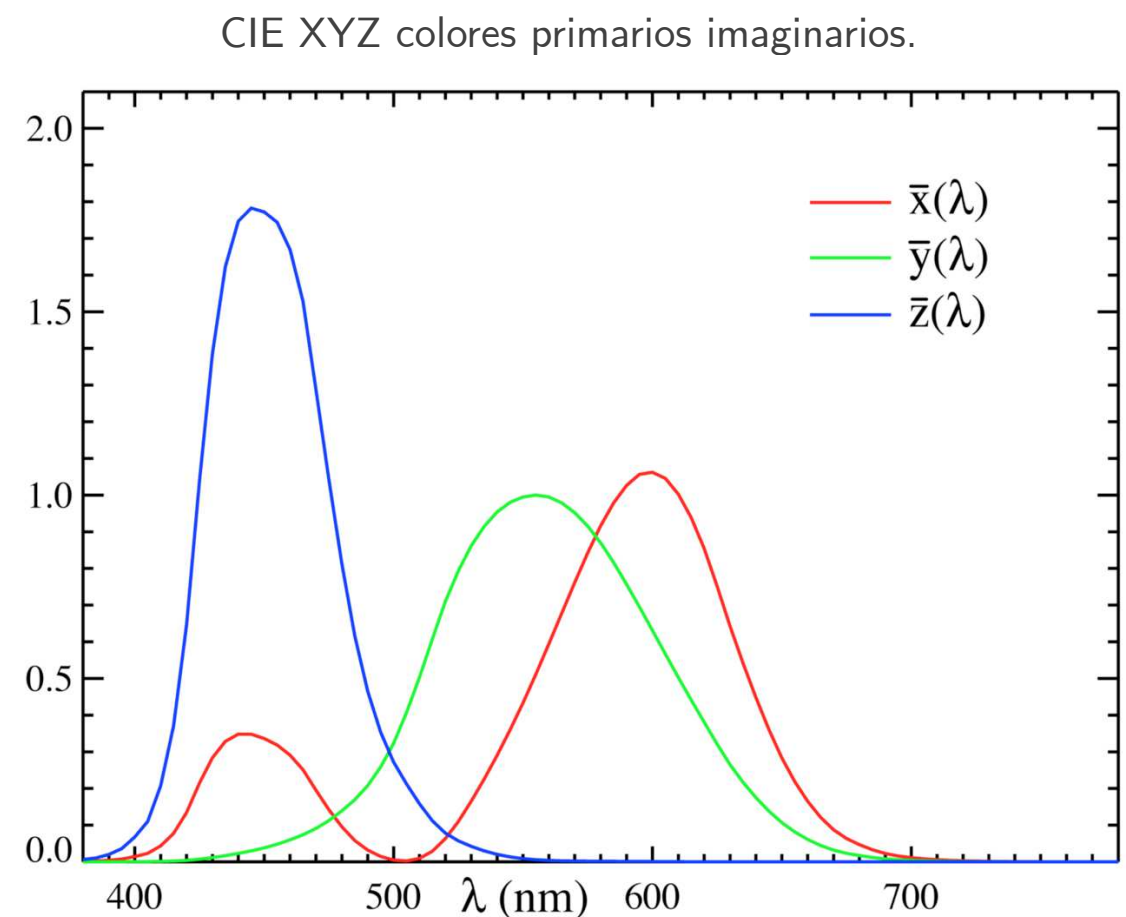
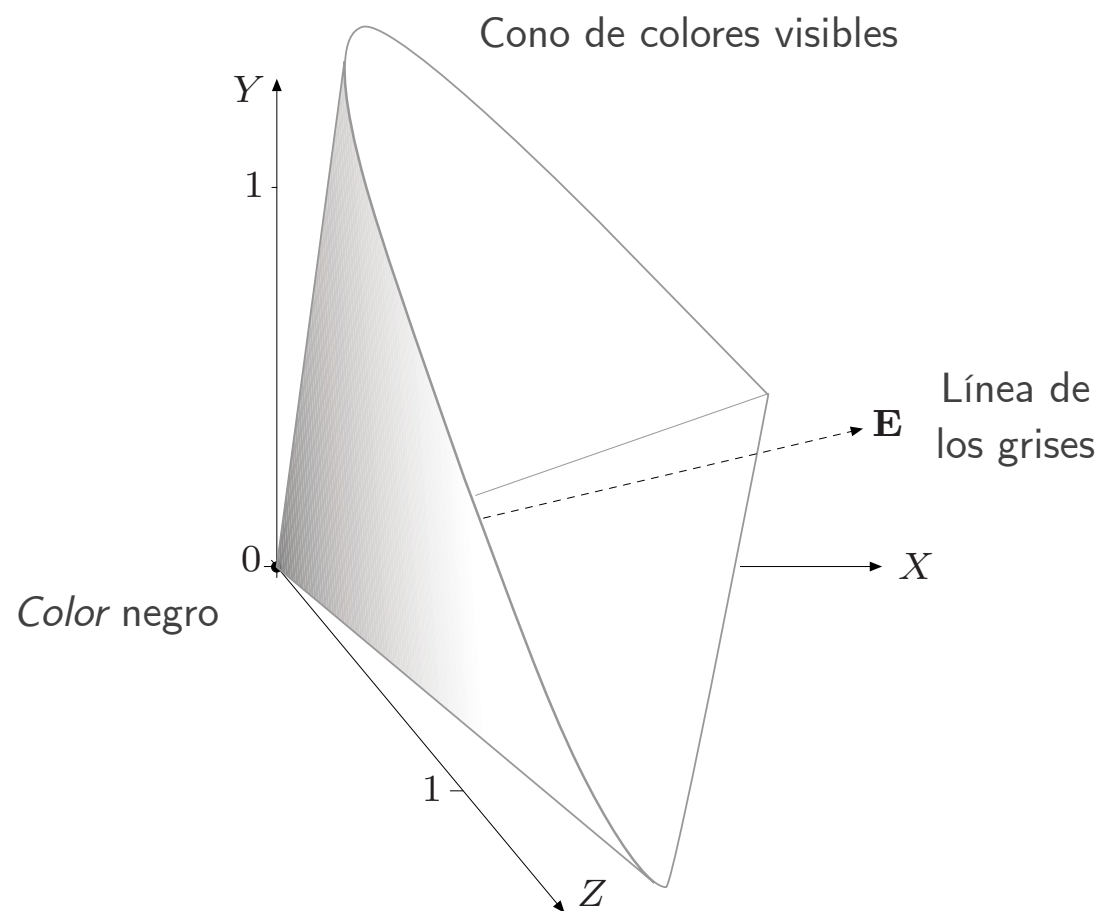
#9a2069 = (9a,20,69) Hexadecimal
(154,32,105)
(0.6,0.12, 0.41)

C.I.E. 1931 Color Space

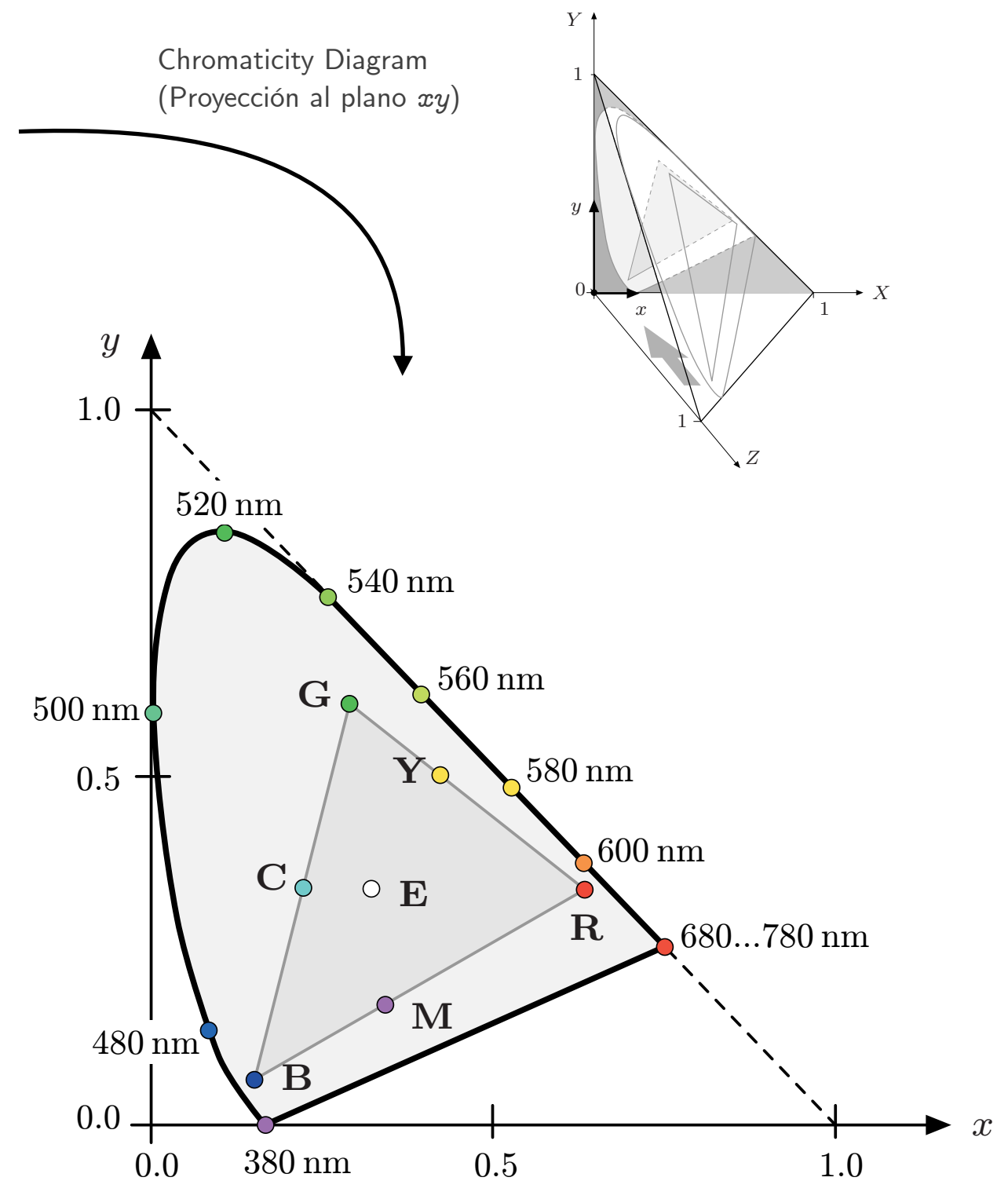
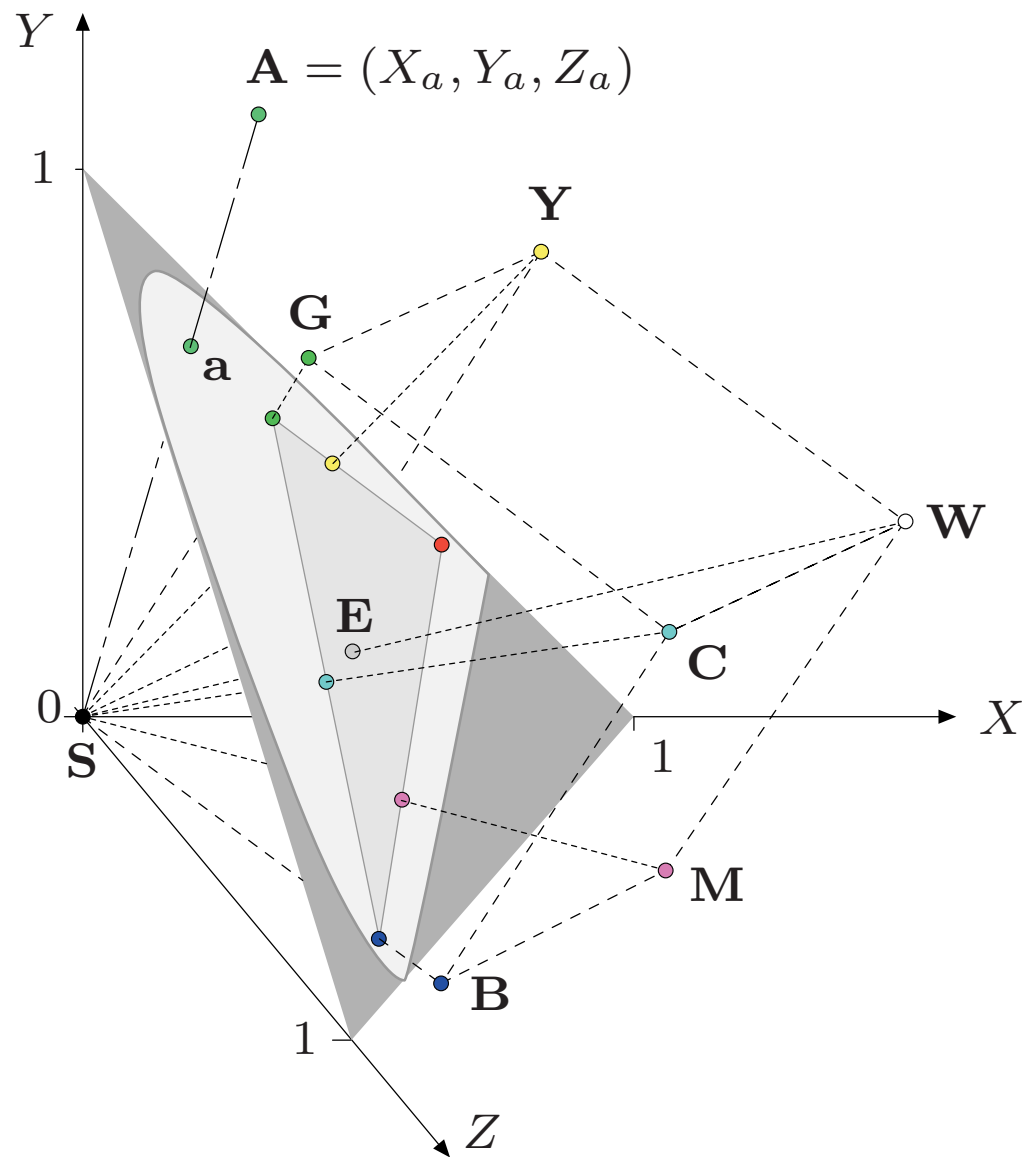
- Espacio de color CIE XYZ
 - Colores primarios imaginarios: X (red), Y (green), Z (blue). Y es la luminancia percibida.
 - Basado en experimentos de percepción visual humana (*tristimulus*).

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

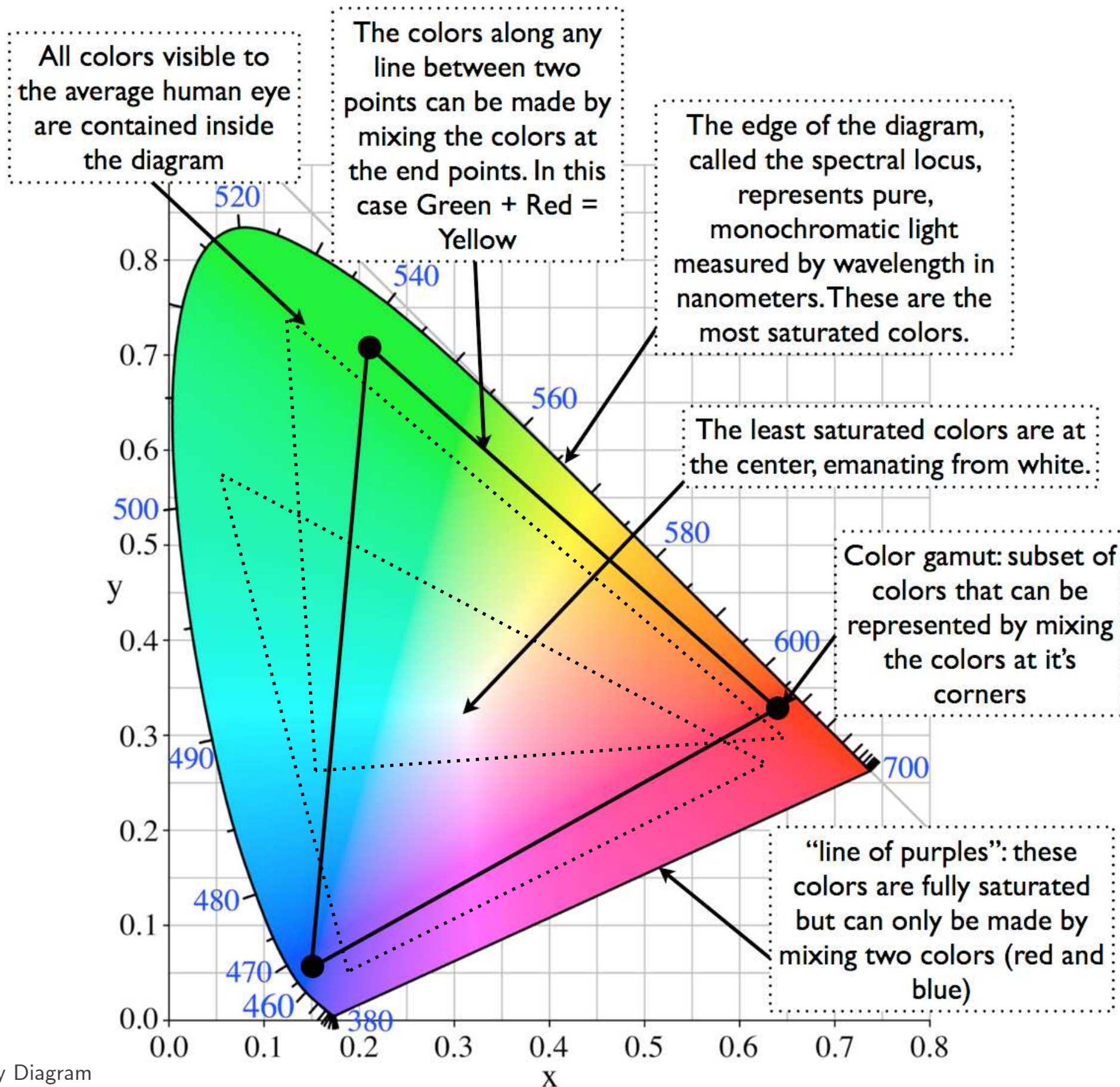
$$x + y + z = 1$$



C.I.E. 1931 Color Space

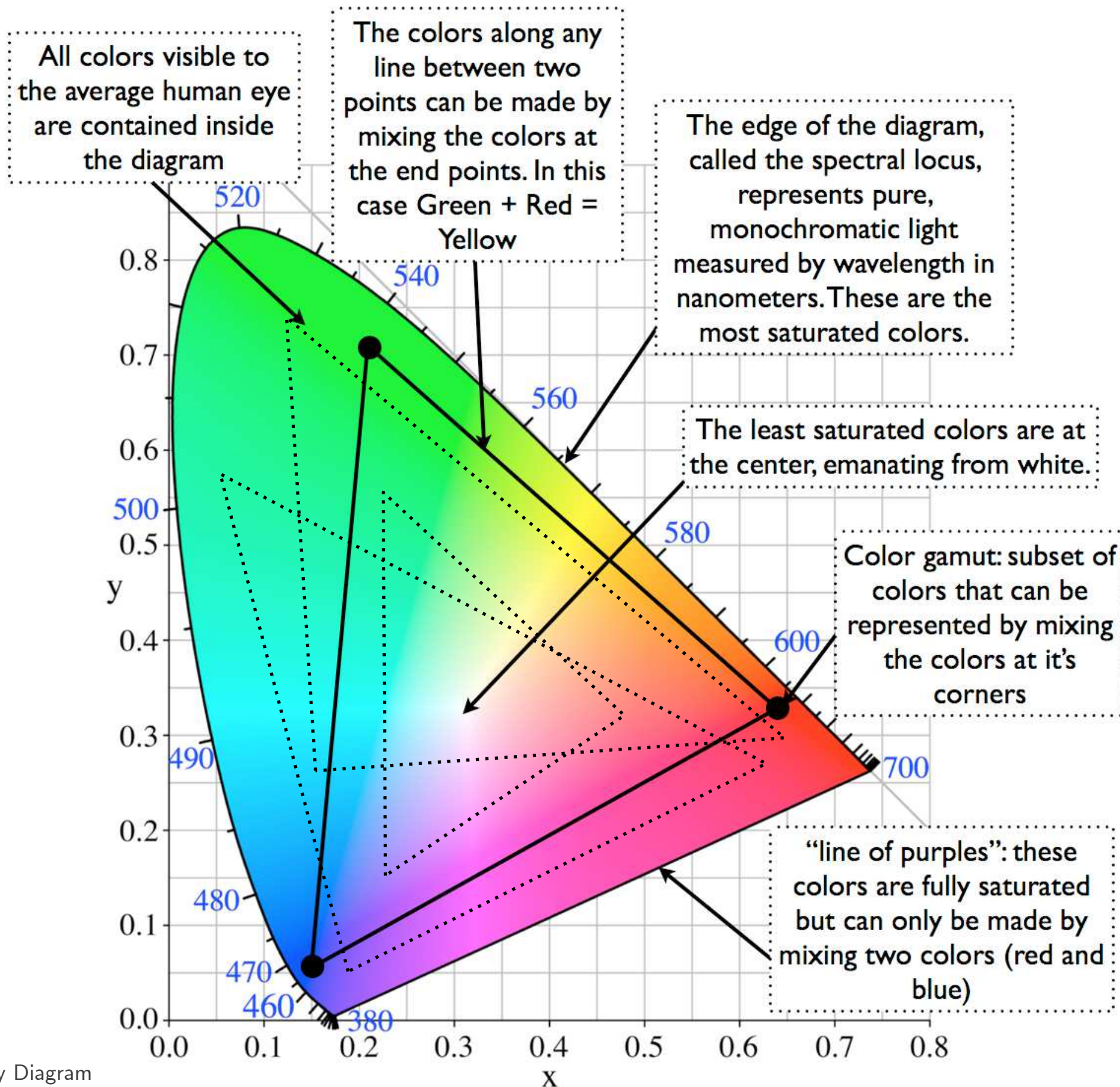


C.I.E. 1931 Color Space



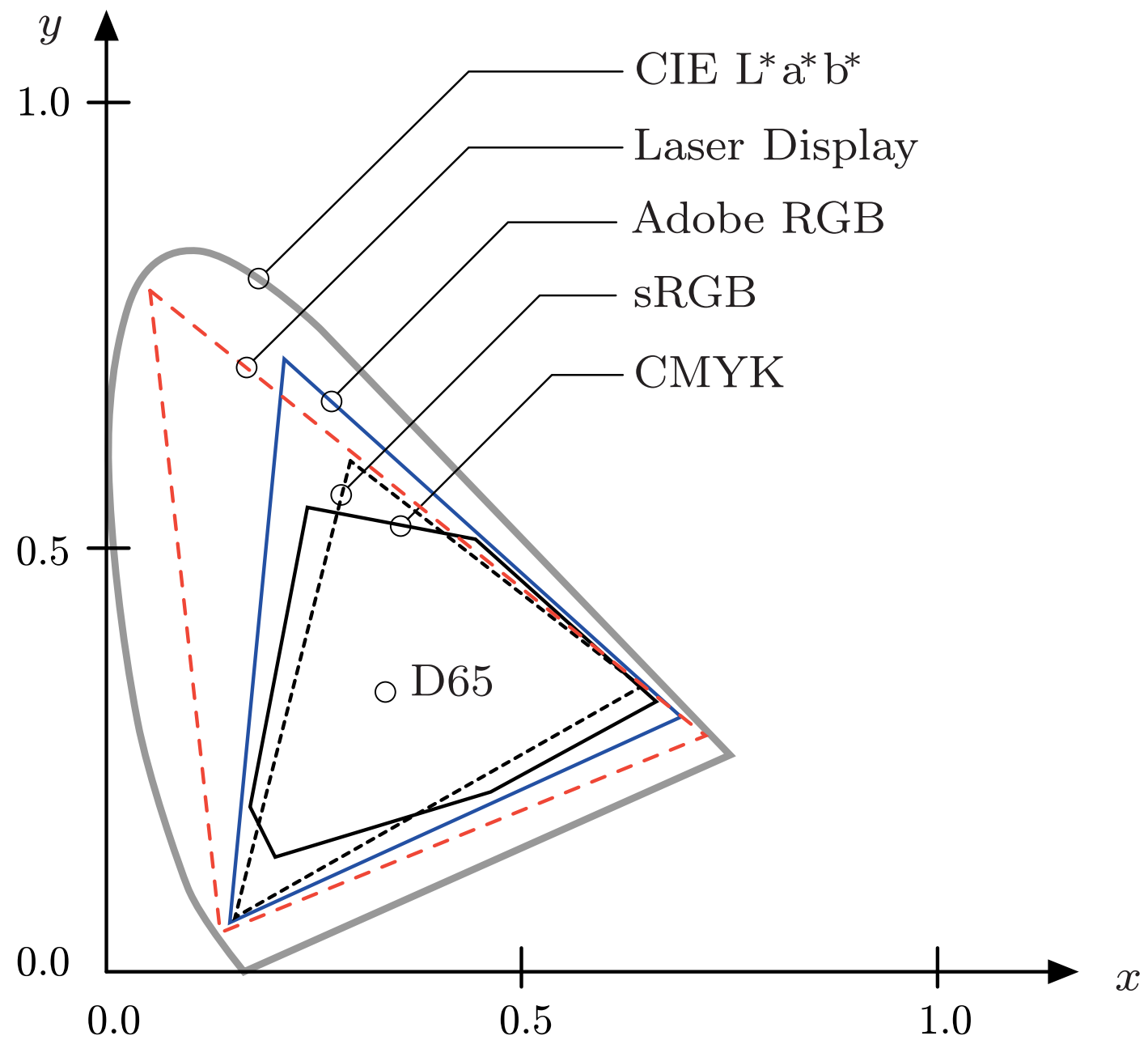
Chromaticity Diagram

C.I.E. 1931 Color Space

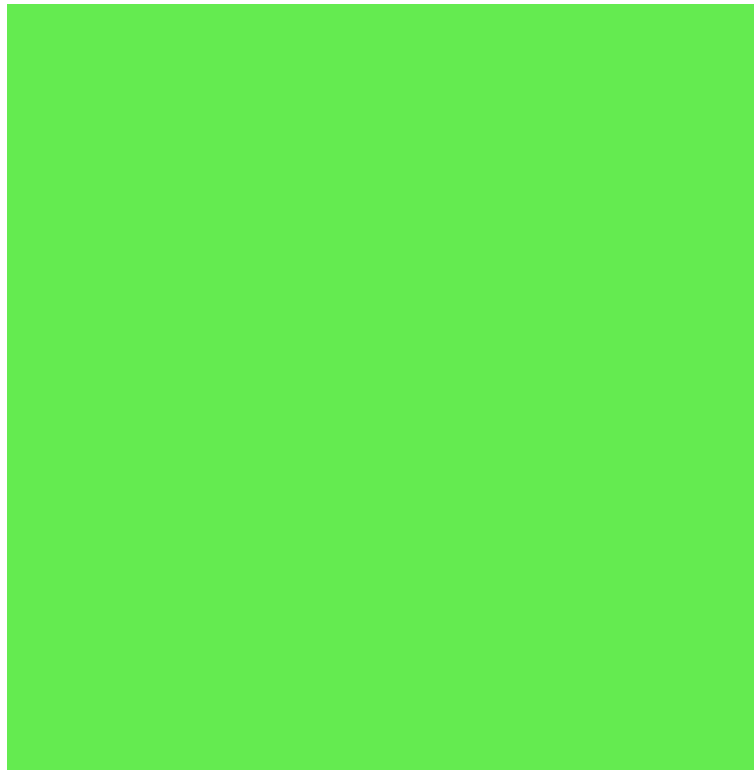


Chromaticity Diagram

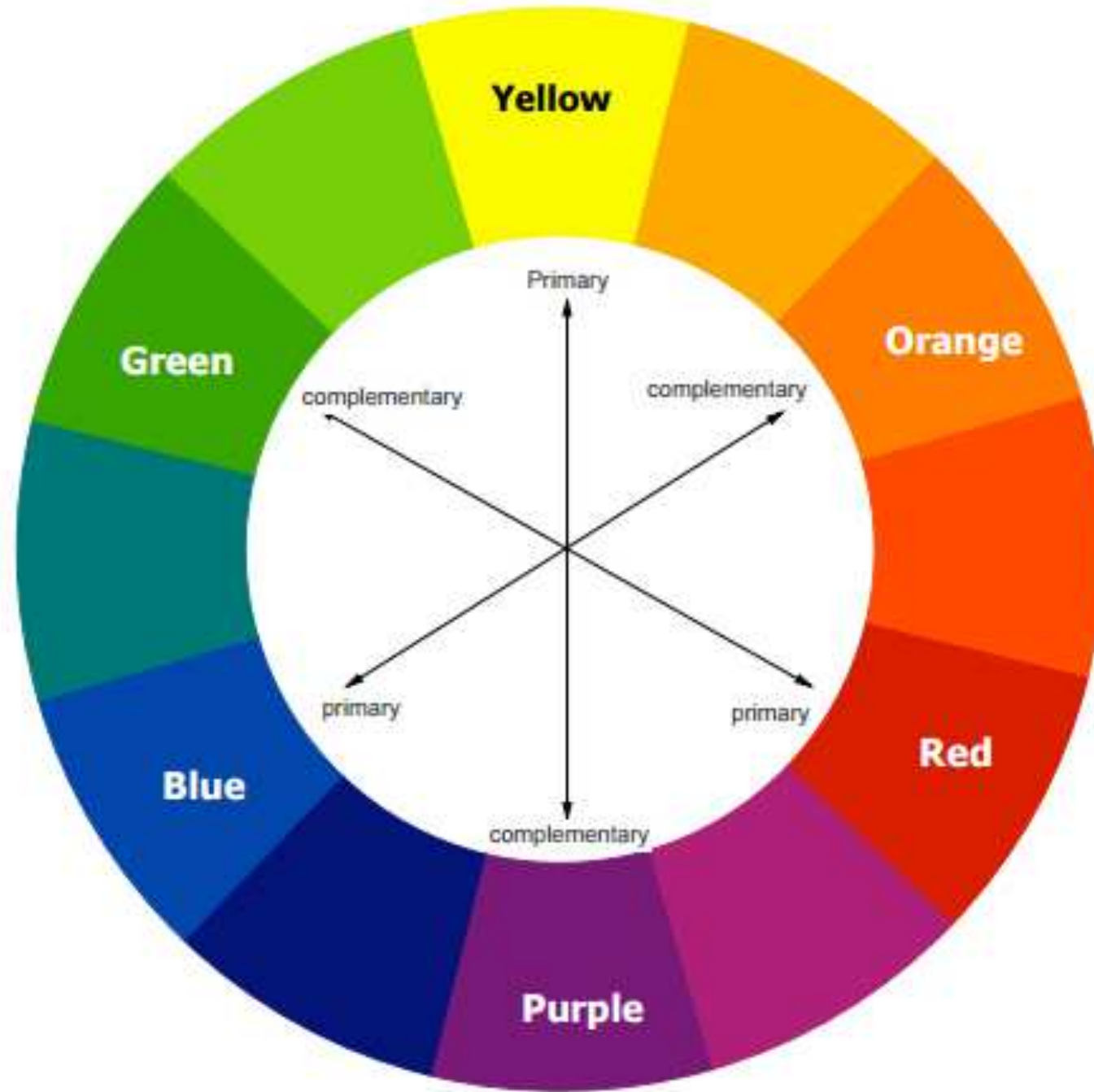
C.I.E. 1931 Color Space



¿De qué color son?



Tono (Hue)



¿De qué color son?

“Menos verde”

“Más verde”

Saturación



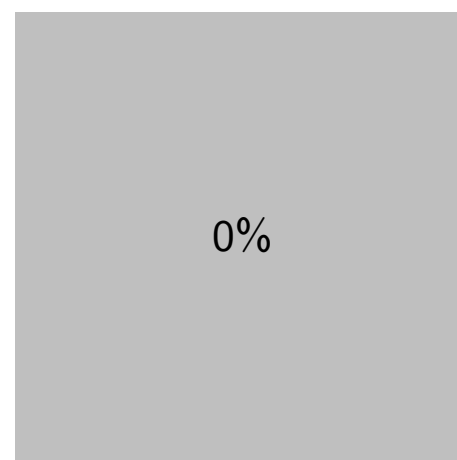
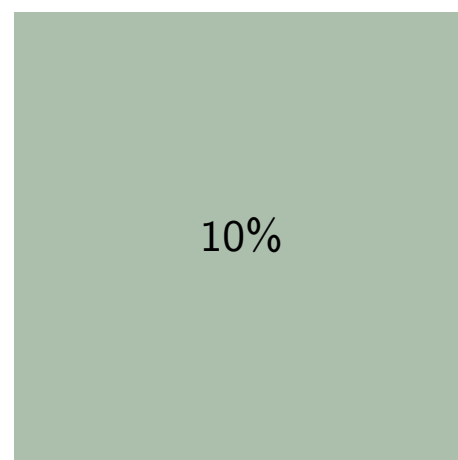
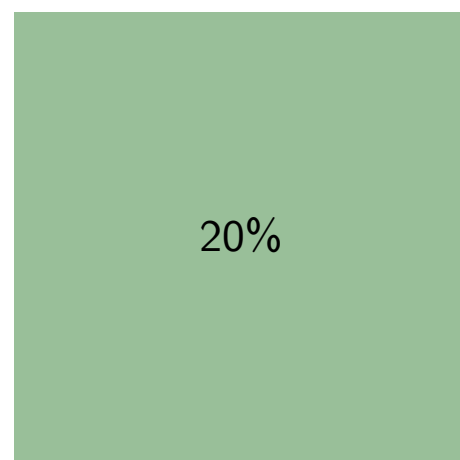
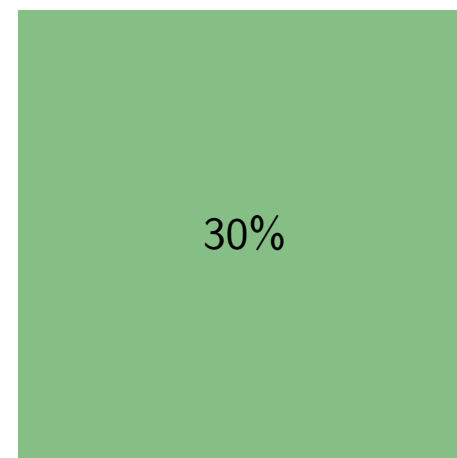
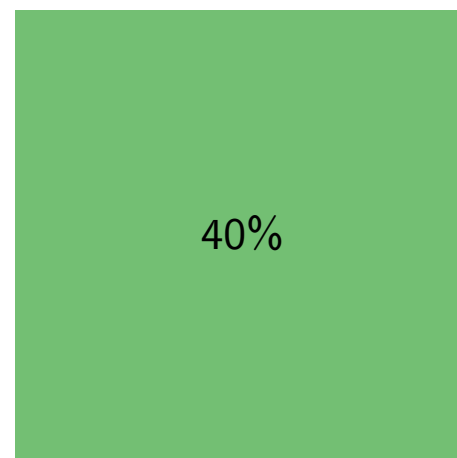
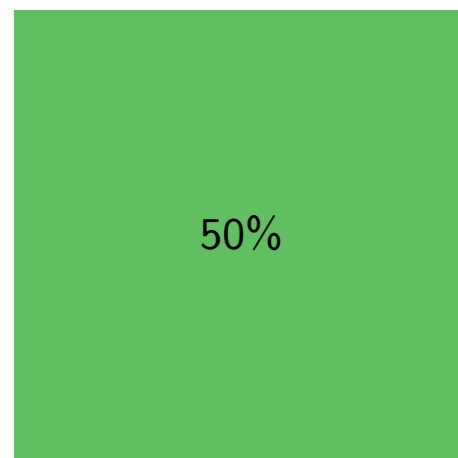
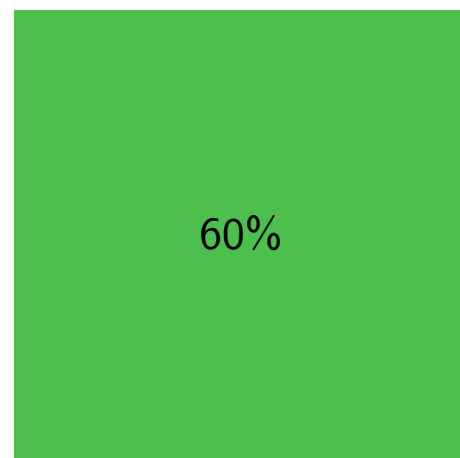
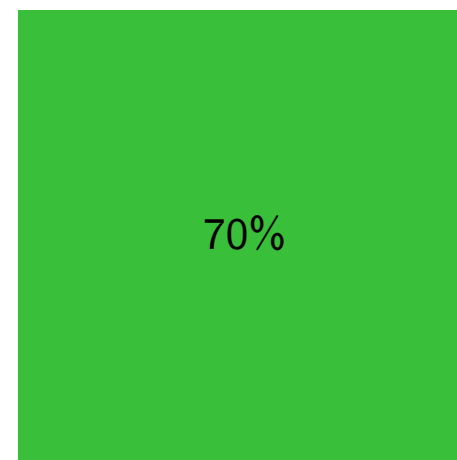
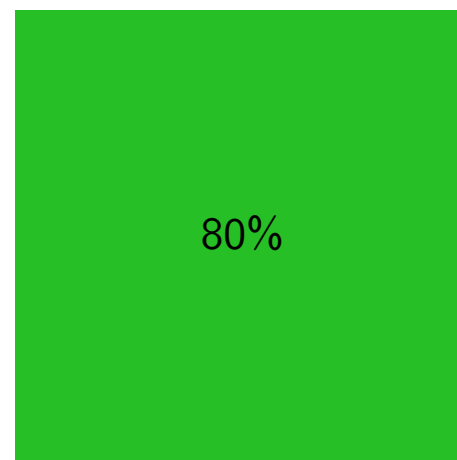
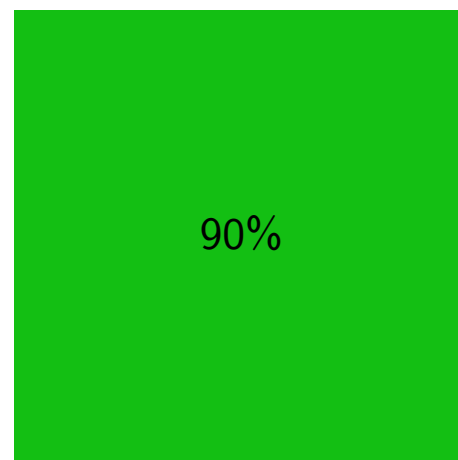
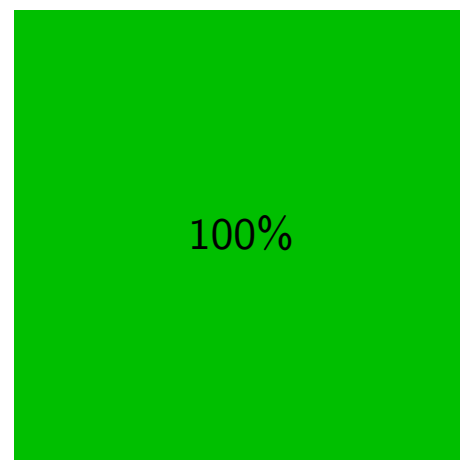
“Pureza” del color; “mezcla con blanco”.

¿De qué color son?

Menos saturado

Más saturado

Mismo tono, diferente saturación



¿De qué color son?



Más oscuro

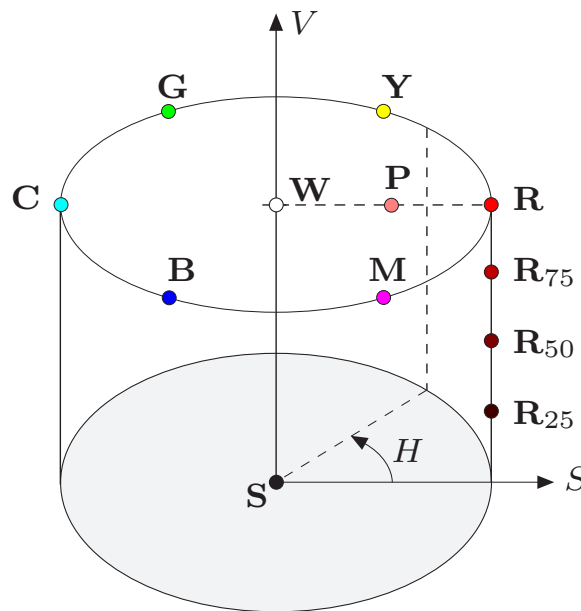
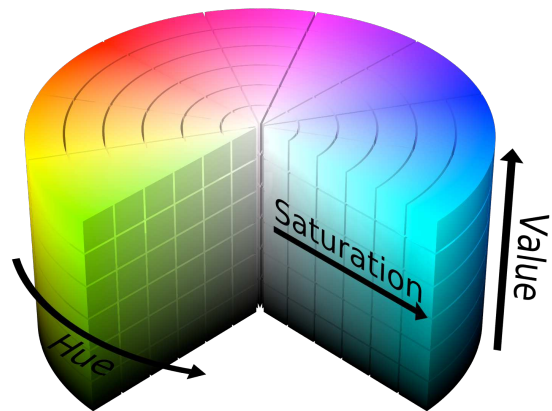


Más claro

Mismo tono, misma saturación, ¿qué es diferente?

Brillo, intensidad, ...

HSV, HSI, HSB



RGB/HSV Values

Pt.	Color	R	G	B	H	S	V
S	Black	0.00	0.00	0.00	—	0.00	0.00
R	Red	1.00	0.00	0.00	0	1.00	1.00
Y	Yellow	1.00	1.00	0.00	1/6	1.00	1.00
G	Green	0.00	1.00	0.00	2/6	1.00	1.00
C	Cyan	0.00	1.00	1.00	3/6	1.00	1.00
B	Blue	0.00	0.00	1.00	4/6	1.00	1.00
M	Magenta	1.00	0.00	1.00	5/6	1.00	1.00
W	White	1.00	1.00	1.00	—	0.00	1.00
R ₇₅	75% Red	0.75	0.00	0.00	0	1.00	0.75
R ₅₀	50% Red	0.50	0.00	0.00	0	1.00	0.50
R ₂₅	25% Red	0.25	0.00	0.00	0	1.00	0.25
P	Pink	1.00	0.50	0.50	0	0.5	1.00

- RGB ↔ HSB, HSV, HSI
- Son muy usados en edición gráfica para la elección de colores.
- Más eficientes que RGB/CMYK para seleccionar colores similares por tono y saturación.

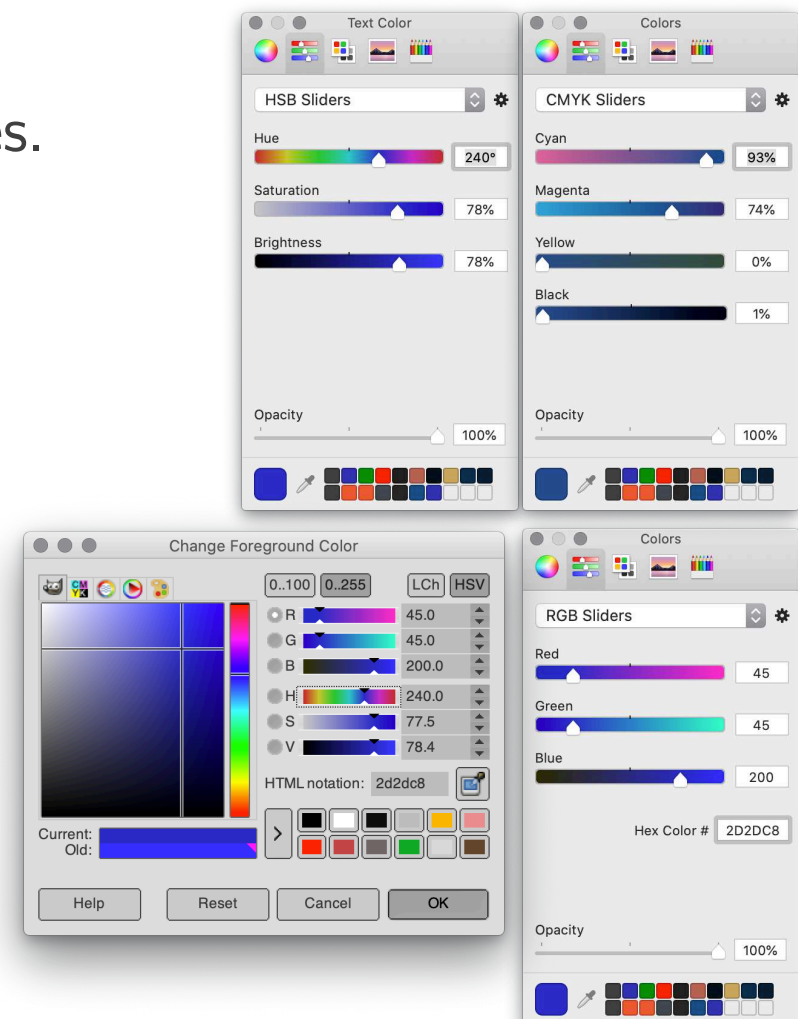
- No lineal

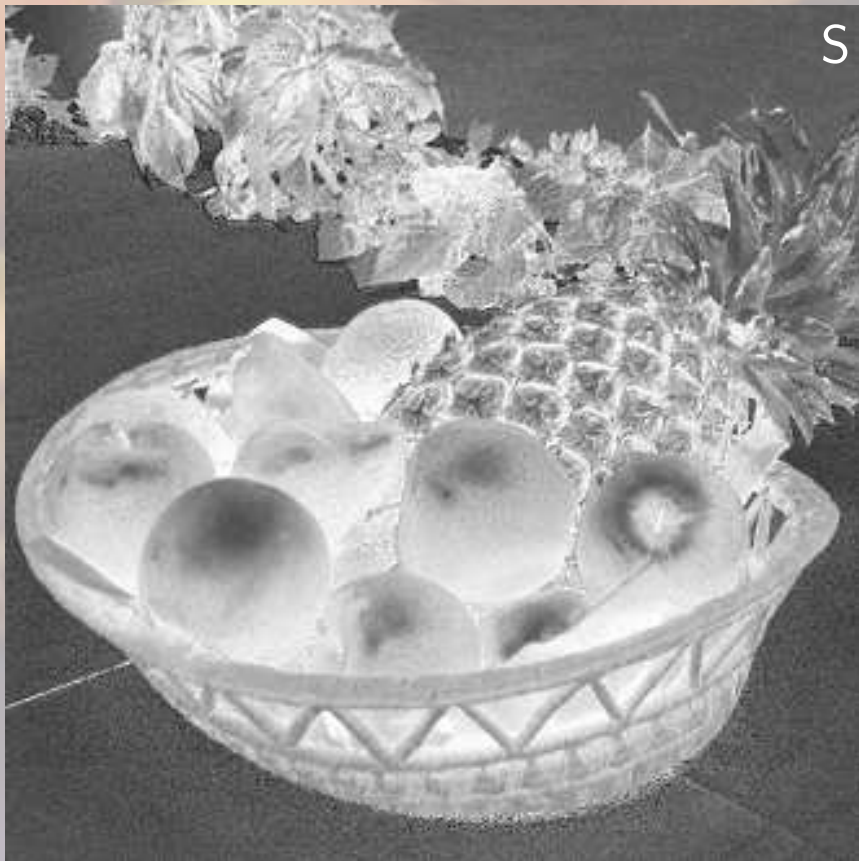
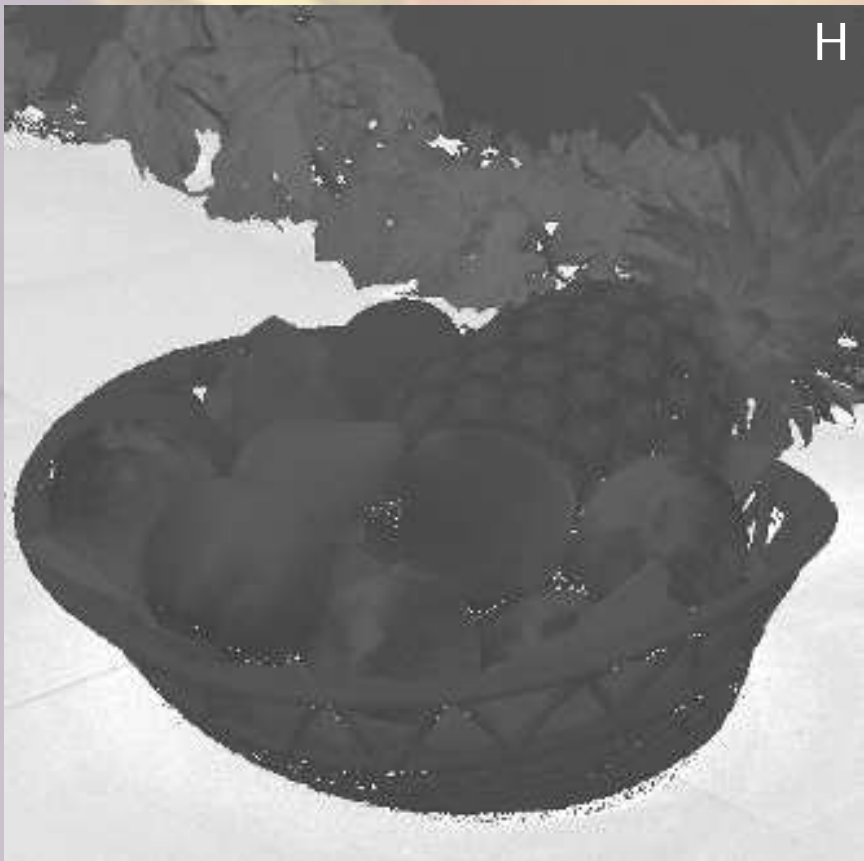
$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B > G \end{cases}$$

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\}$$

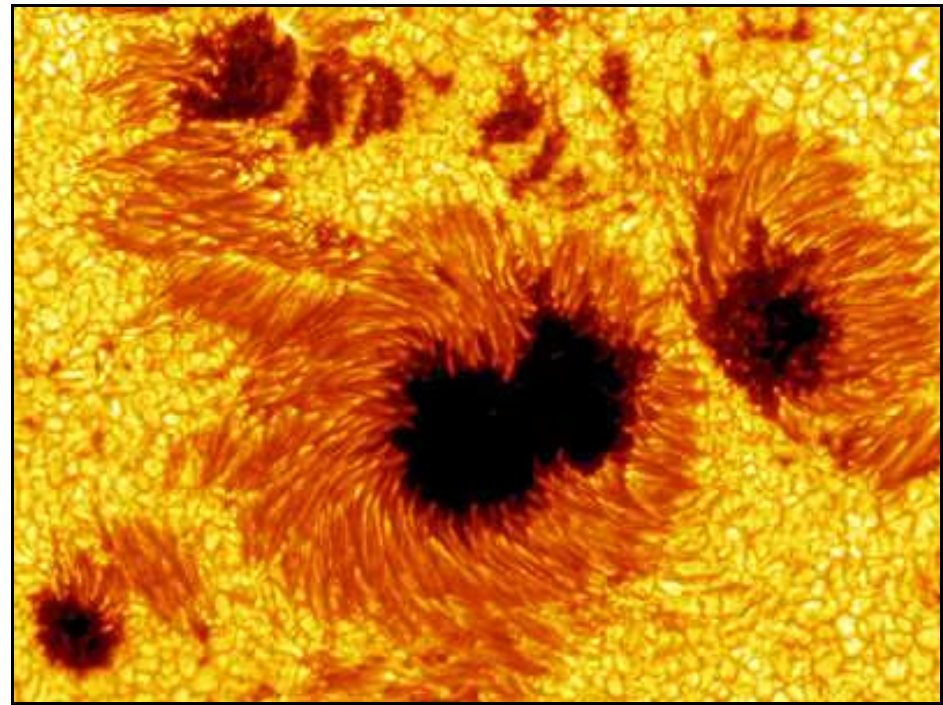
$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)]$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

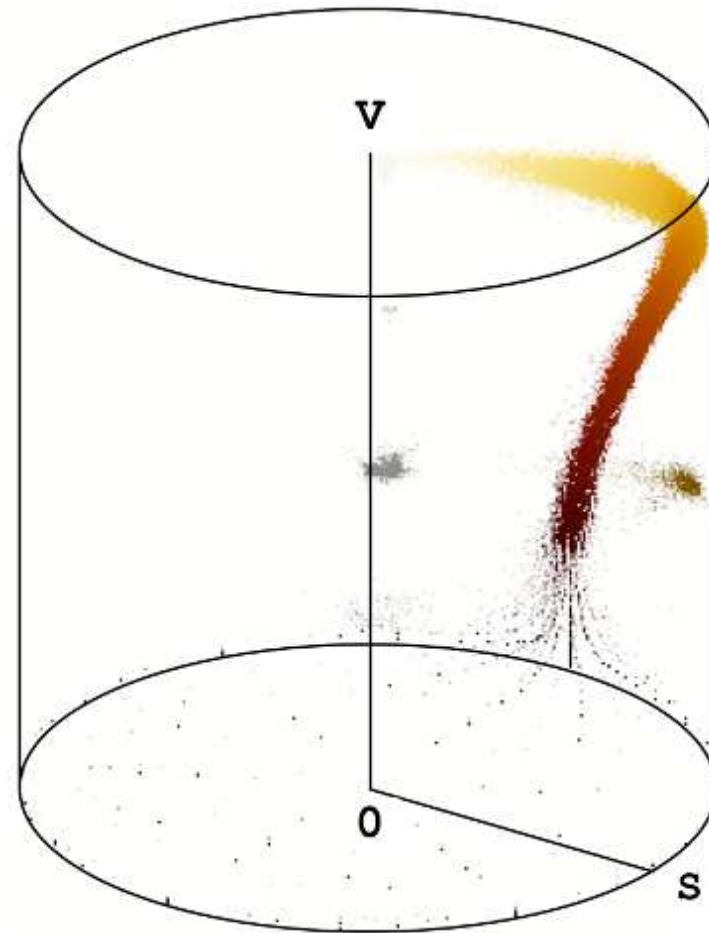
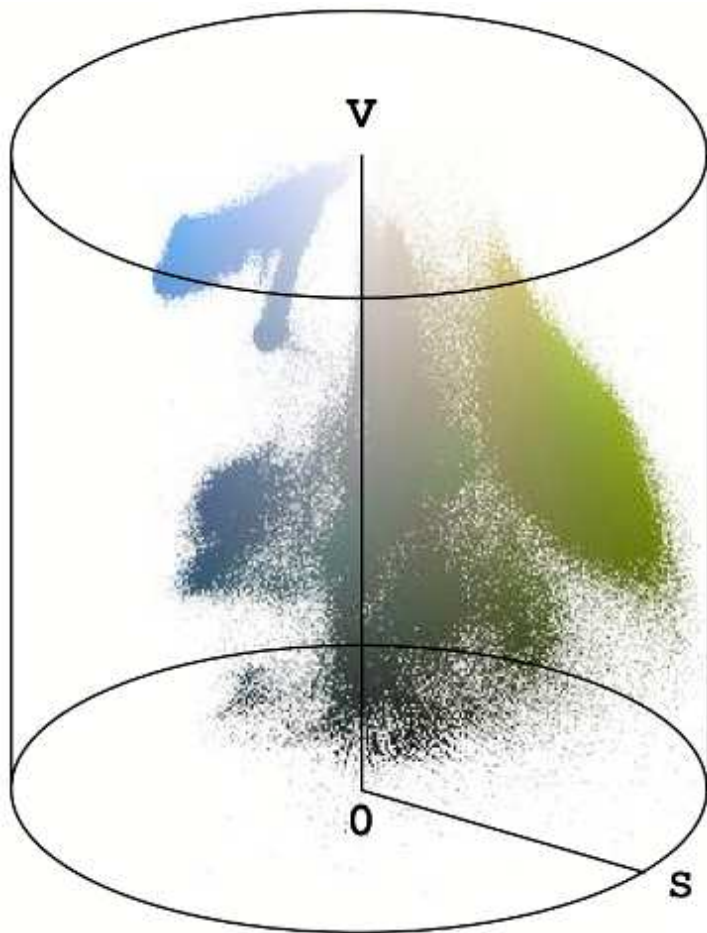




(a)



(b)
HSV



Conversión a escala de grises

- Imagen con el “equivalente” en grises o la “luminancia” Y .
- No hay una única forma
 - La más simple $Y = \frac{R+G+B}{3}$
 - La percepción de los canales no es la misma
 - Promedios ponderados $Y = w_R R + w_G G + w_B B$

$$w_R = 0.299 ,$$

$$w_G = 0.587 ,$$

$$w_B = 0.114 .$$

$$w_R = 0.2125 ,$$

$$w_G = 0.7154 ,$$

$$w_B = 0.072 .$$



Original RGB



8 bits



Lab



RGB



$\frac{R+G+B}{3}$



Luminance

CIE L*a*b*

- Basado en un conjunto de colores base (imaginarios) CIE XYZ creados en 1931.
- Uniformidad cercana a la percepción visual humana.
- La distancia Euclidea entre dos colores es similar a la diferencia percibida entre ellos.
- Independientes del dispositivo de despliegue.
- Desacopla la *intensidad* del *color*
 - L* corresponde a la luminosidad
 - a* corresponde a la variación de tono-saturación en el eje verde-rojo, y b* en el eje azul-amarillo.

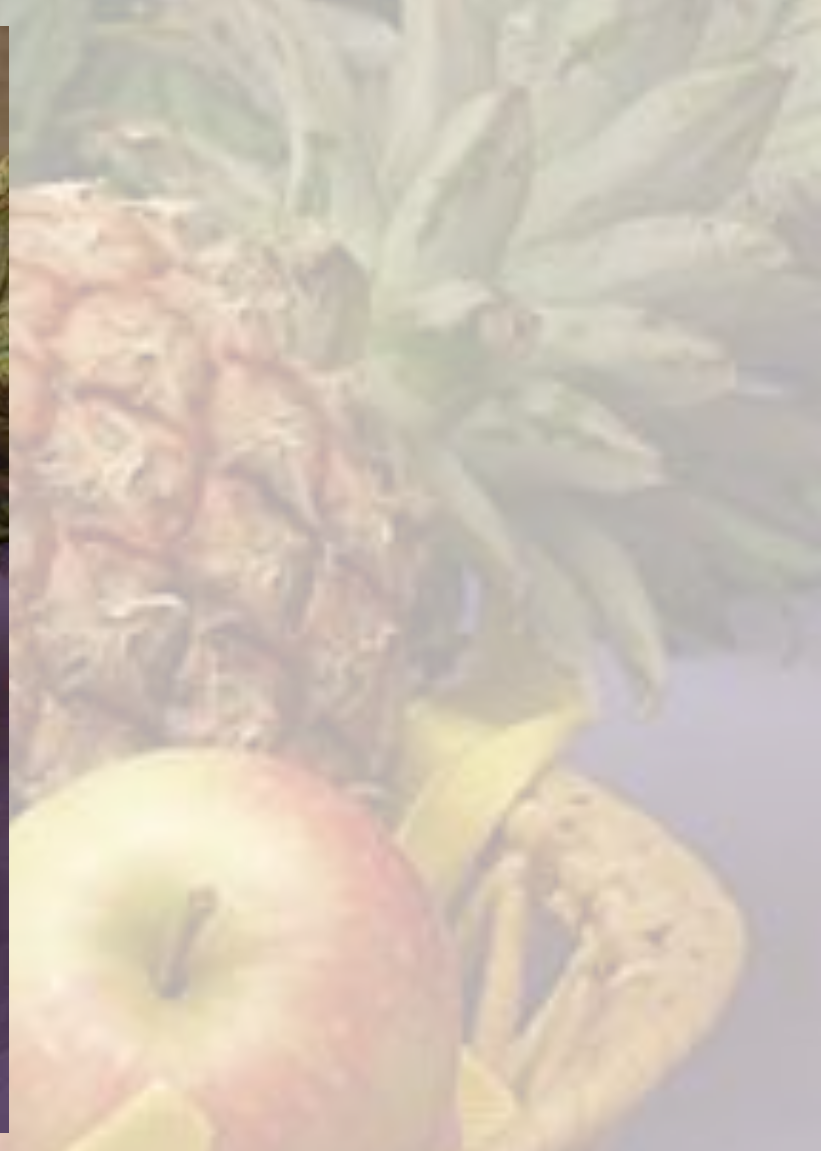
$$L^* = 116 h \left(\frac{Y}{Y_W} \right) - 16$$

$$a^* = 500 \left[h \left(\frac{X}{X_W} \right) - h \left(\frac{Y}{Y_W} \right) \right]$$

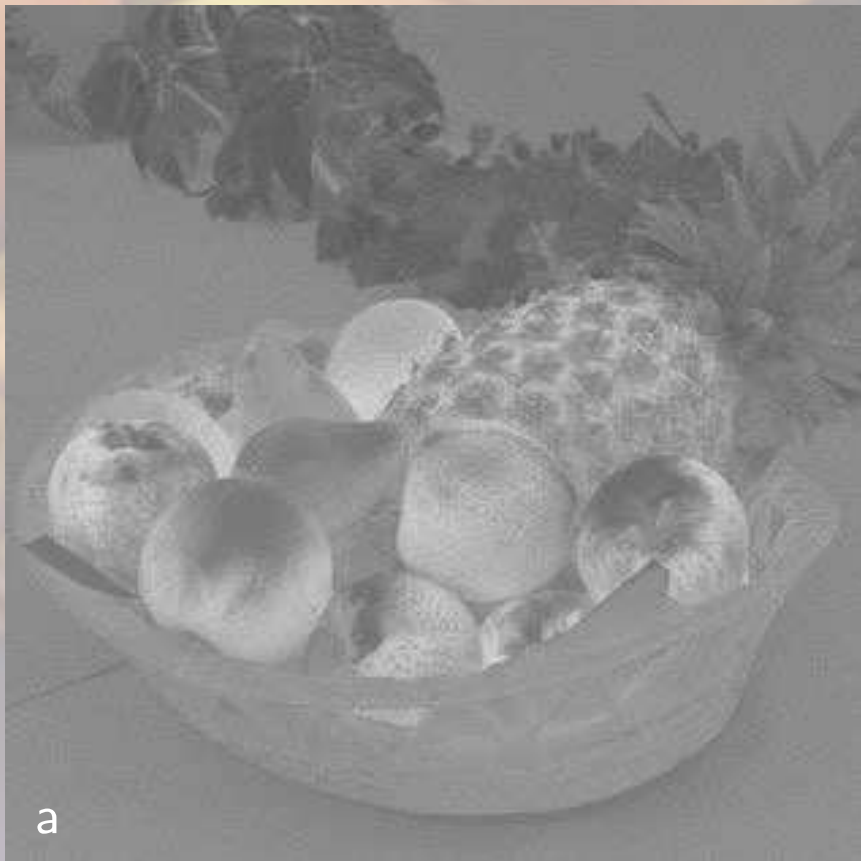
$$b^* = 200 \left[h \left(\frac{Y}{Y_W} \right) - h \left(\frac{Z}{Z_W} \right) \right]$$

$$h(q) = \begin{cases} \sqrt[3]{q} & q > 0.008856 \\ 7.787q + 16/116 & q \leq 0.008856 \end{cases}$$

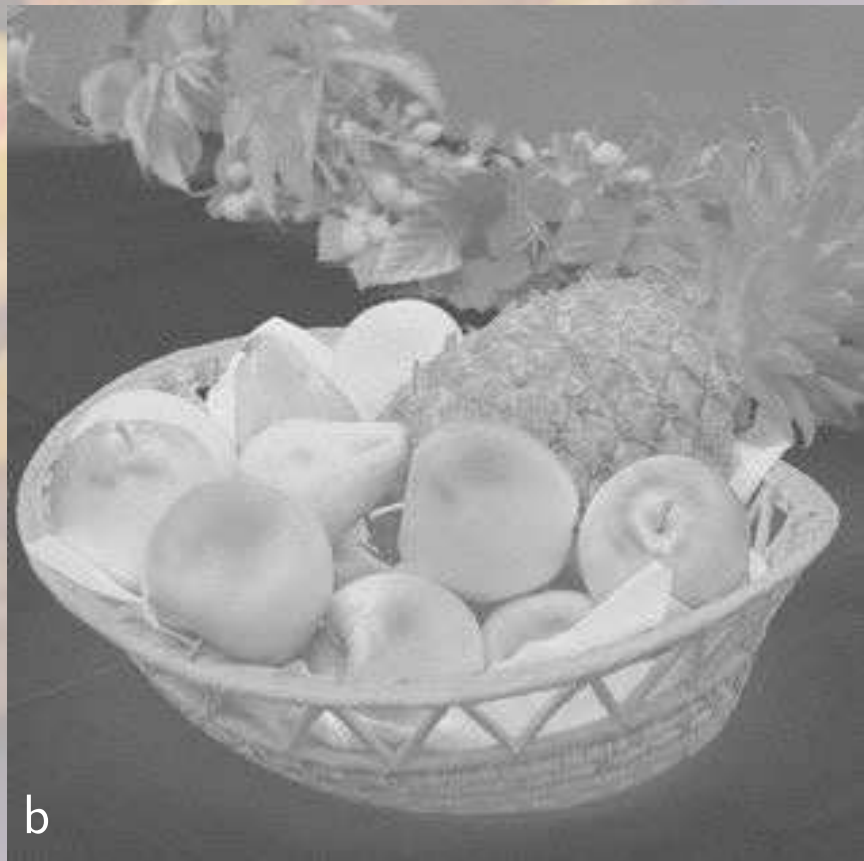
X_W, Y_W, Z_W son valores de referencia relacionados con el *blanco* en el estándar CIE D65.



L



a



b

Evolución de la representación del color

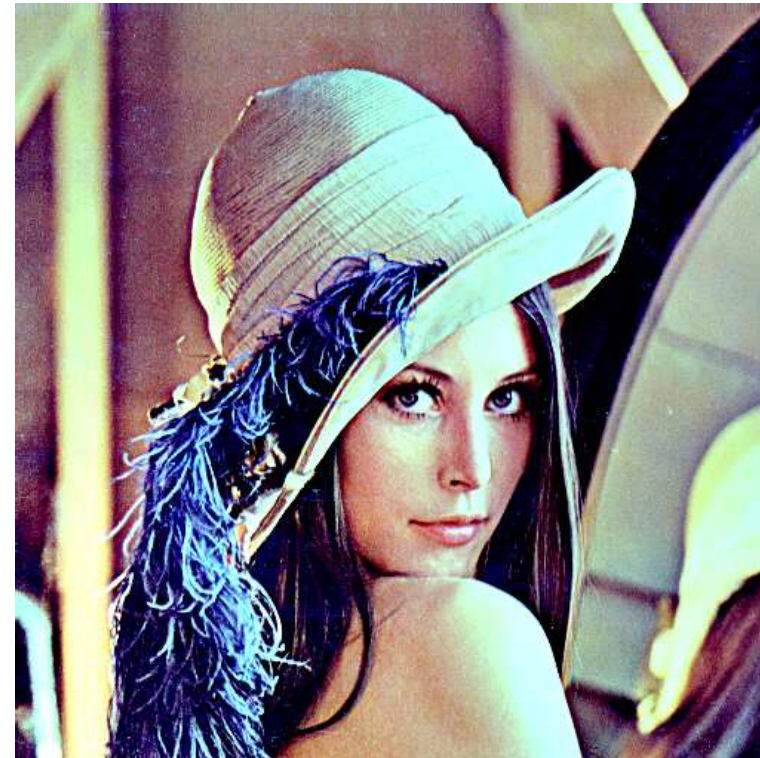
- Primera generación: colores físicos
 - RGB, XYZ, ...
- Segunda generación: psicovisión
 - CIE Lab, Munsell, ...
- Tercera generación: apariencia espacial del color
 - CAM, Retinex, ACE, ...



Image> Color> Retinex

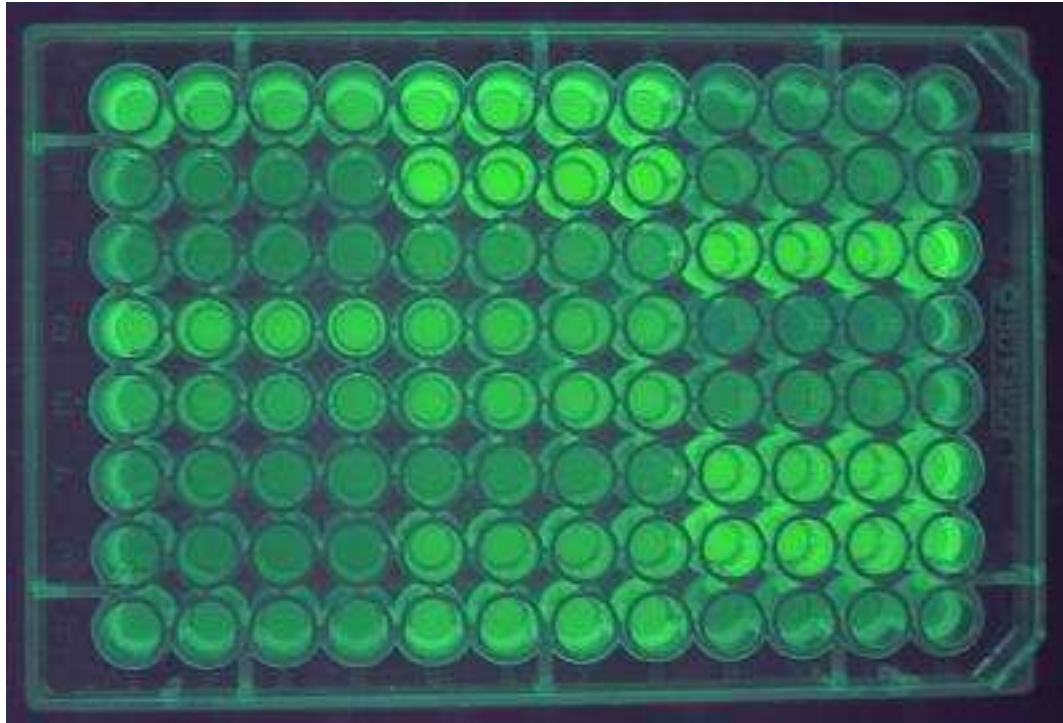
Evolución de la representación del color

- Primera generación: colores físicos
 - RGB, XYZ, ...
- Segunda generación: psicovisión
 - CIE Lab, Munsell, ...
- Tercera generación: apariencia espacial del color
 - CAM, Retinex, ACE, ...

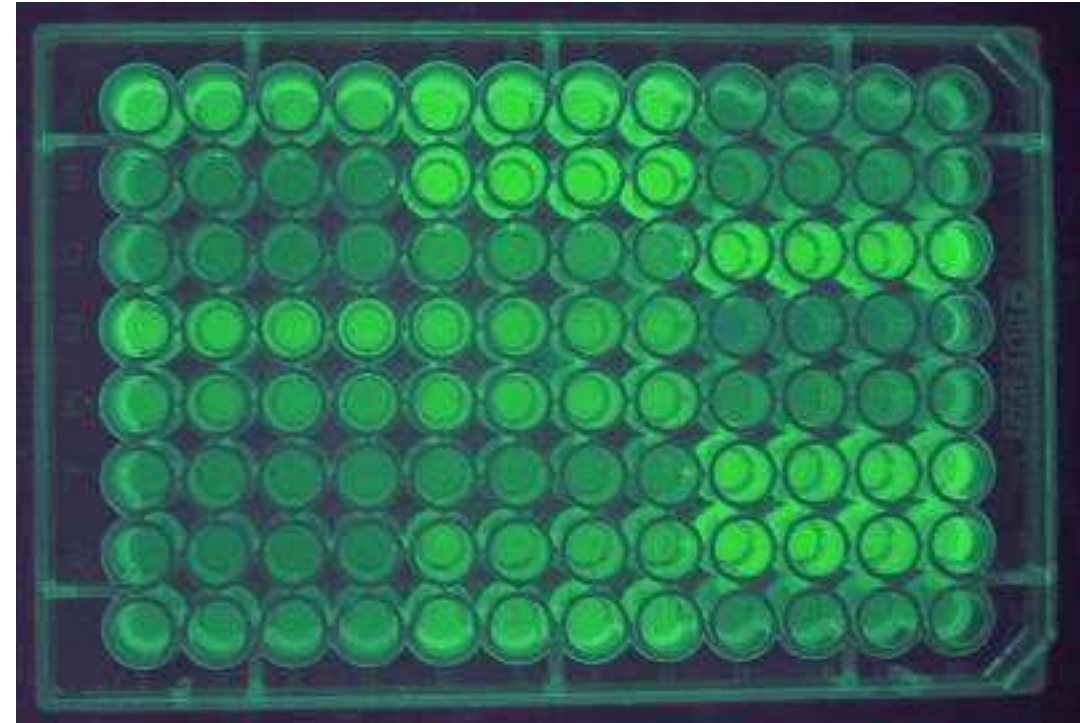


Image> Color> Retinex

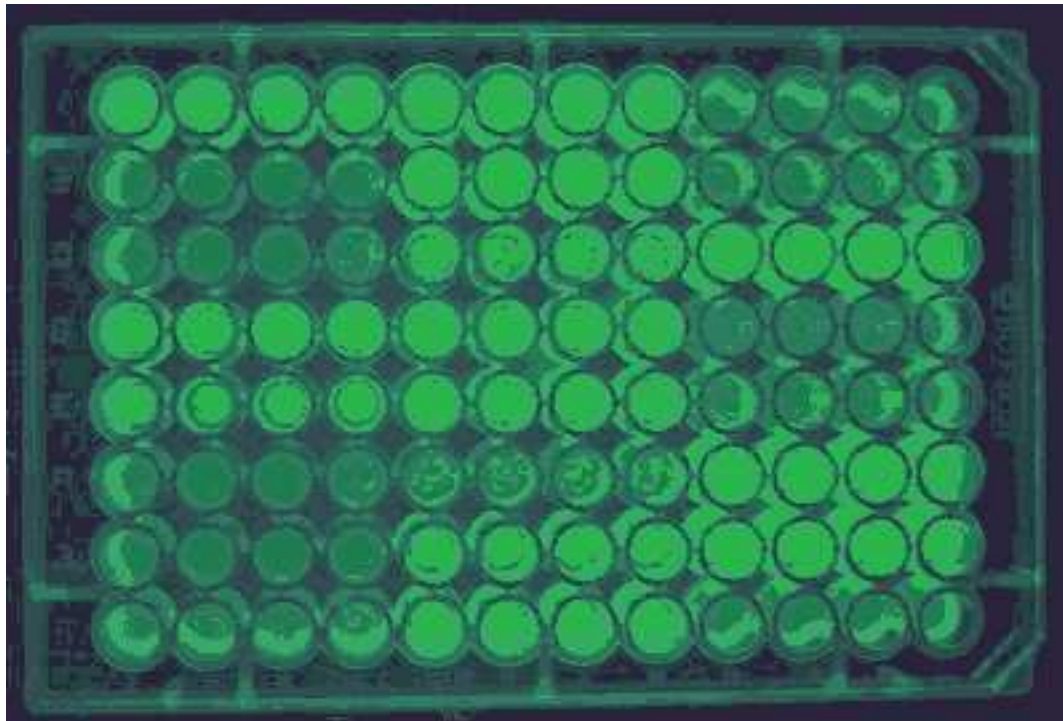
Cuantización de colores



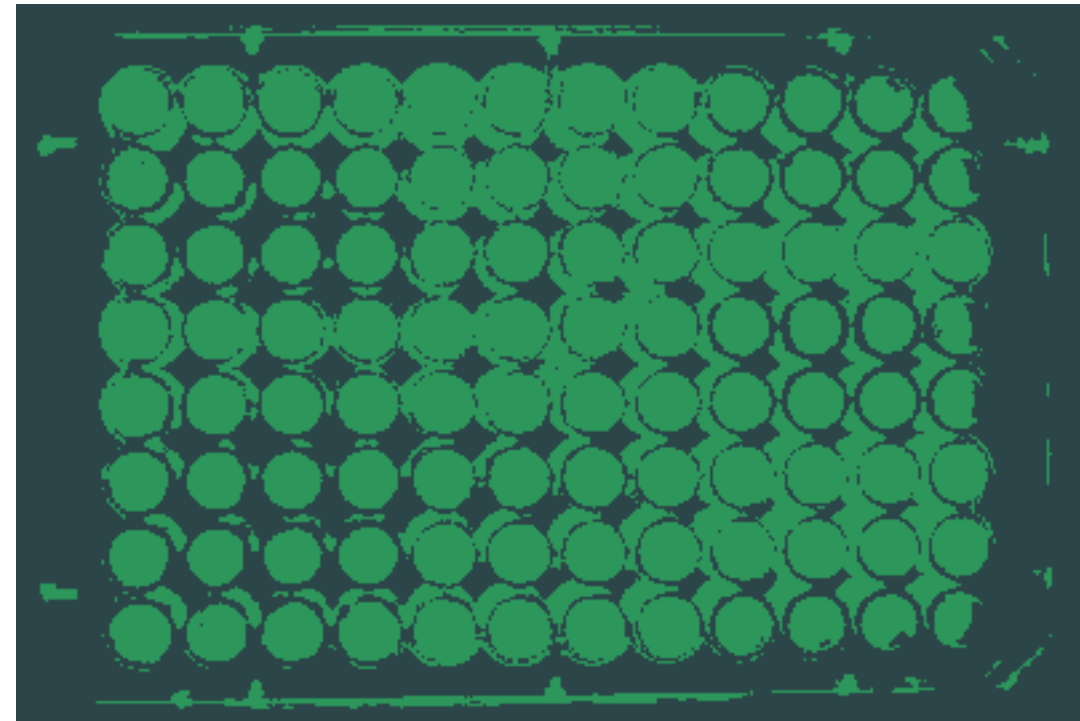
Original (24 bits)



256 colores (8 bits)



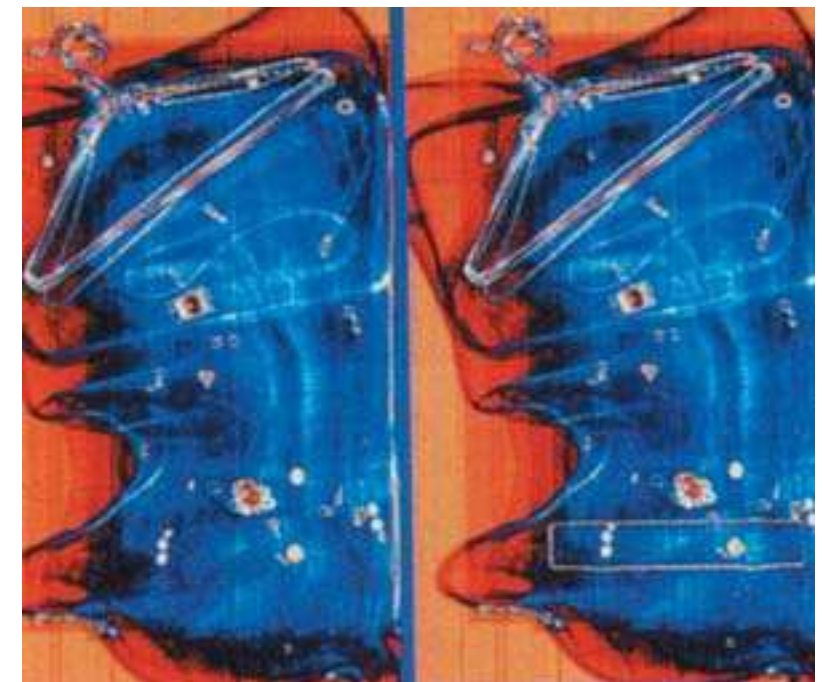
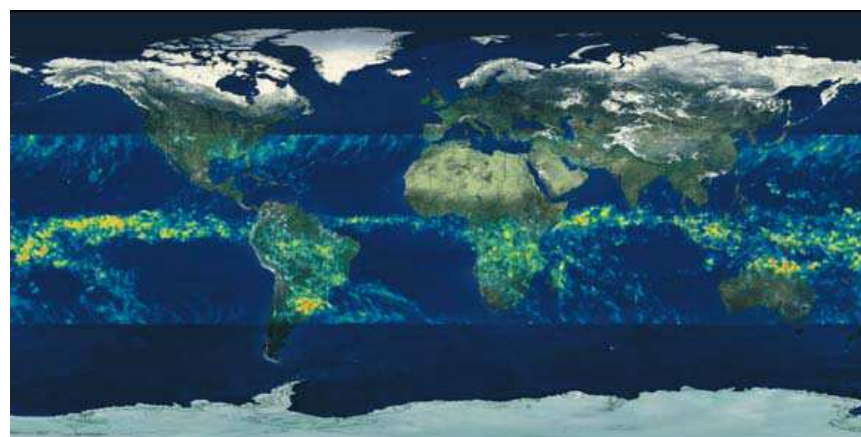
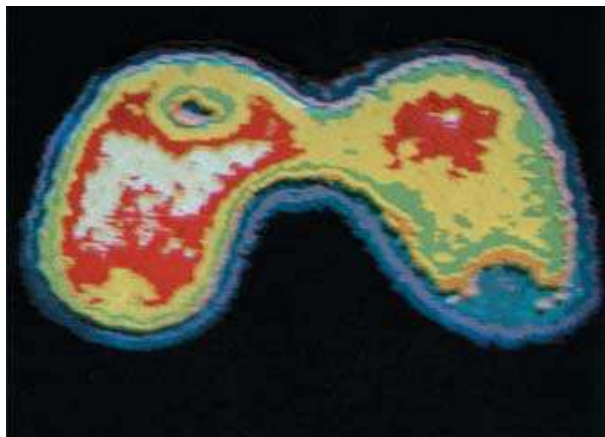
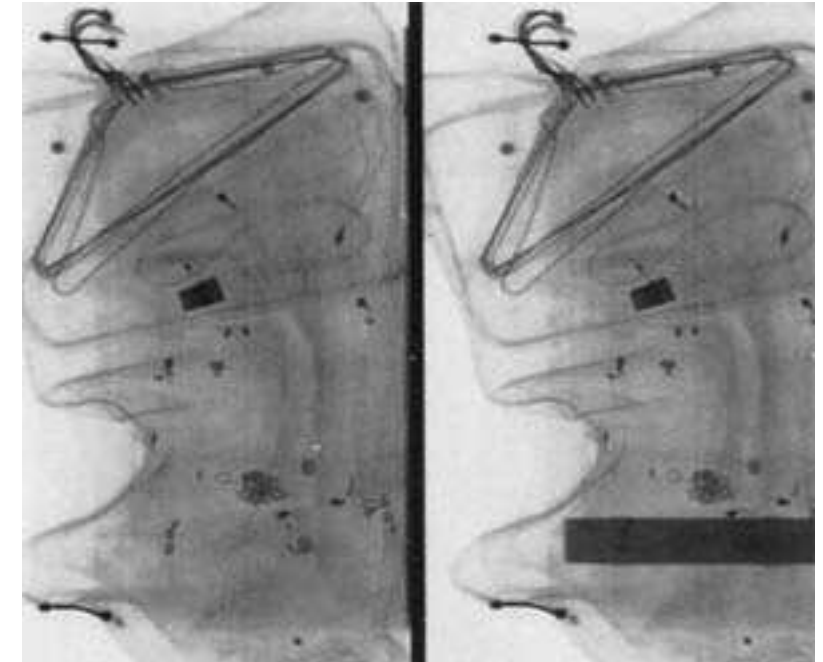
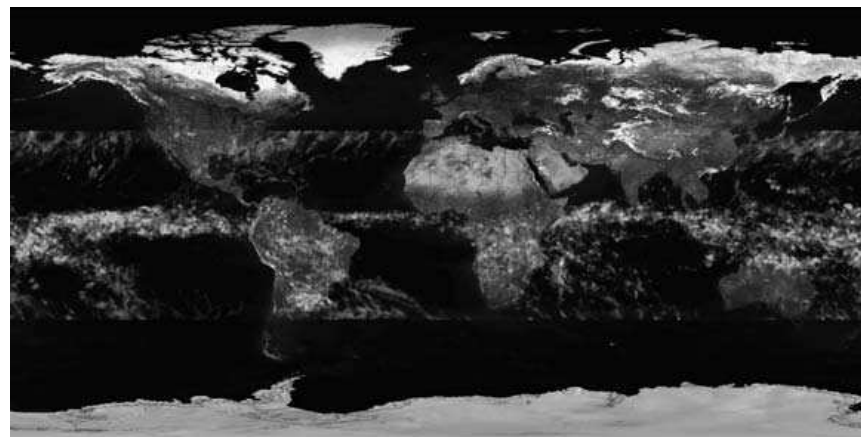
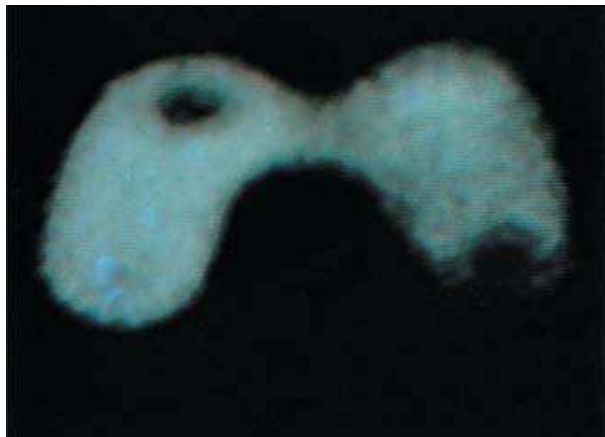
8 colores (3 bits)



2 colores (1 bit)

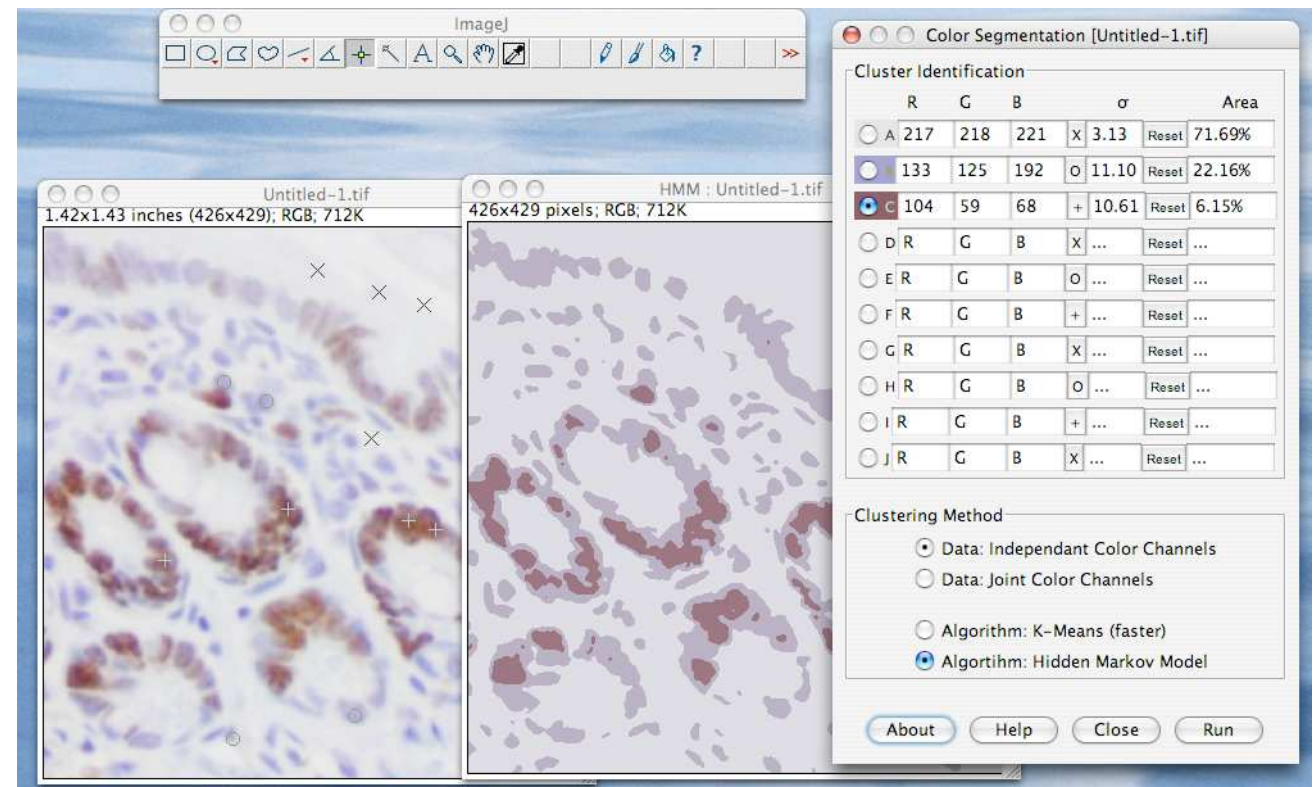
Pseudo-color

- Uso de un mapa de colores para la visualización de imágenes monocromáticas.
- Mejor discernimiento de colores.



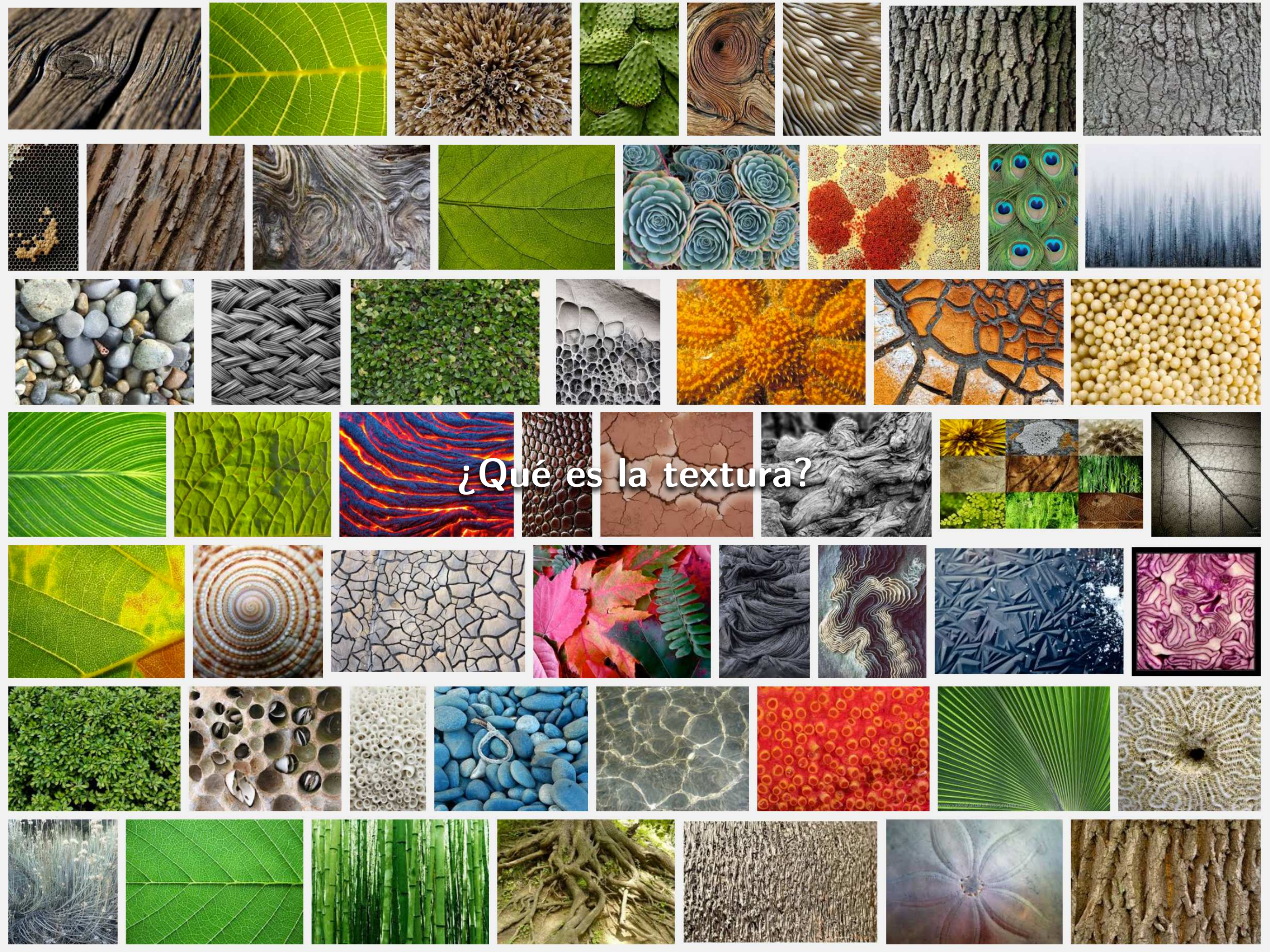
Color segmentation

- “Color Segmentation: ImageJ plugin to cluster color pixel driven by the user input”
- Bajar e instalar ColorSegmentation_.jar*
- Abrir la imagen mandas.jpg
 - Con la herramienta POINTCROSS elegir los colores (A, B, C, ...). Se pueden seleccionar más de un punto por color.
 - Elegir Clustering Method
 - Elegir algoritmo: K-Means (faster one) or Hidden Markov Model (agrega restricciones espaciales).
 - Run



* Daniel Sage
EPFL Biomedical Imaging Group
<http://bigwww.epfl.ch/sage/soft/colorsegmentation/>

Textura



¿Qué es la textura?

¿Qué es la textura?

- Concepto *alto nivel*.
- Suavidad, áspero, regularidad, patrón repetitivo, ...
- No local.
- No hay una medida *trivial*, objetiva.
- Análisis basado en descriptores o características (features).
 - Estructural: primitivas de construcción de la imagen
 - Estadístico: suave, granular, ...
 - Espectral: periodicidad, potencia en el espectro.

Dependencia con la escala



Dependencia con la escala



Testículos ovinos (hematoxilina-eosina) 4x

Dependencia con la escala



Testículos ovinos (hematoxilina-eosina) 10x

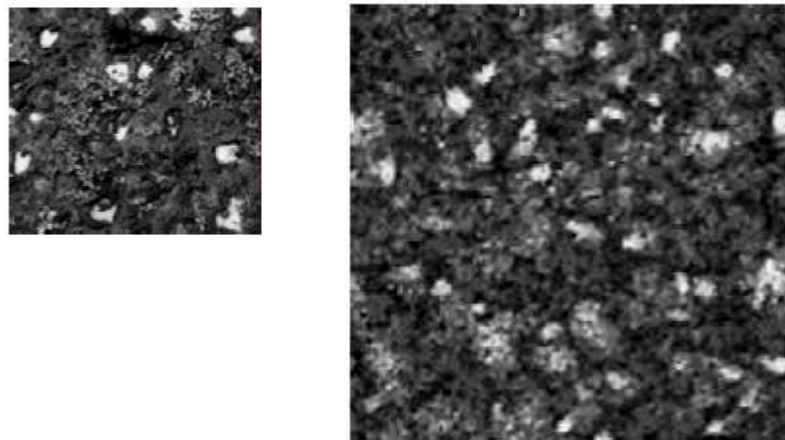
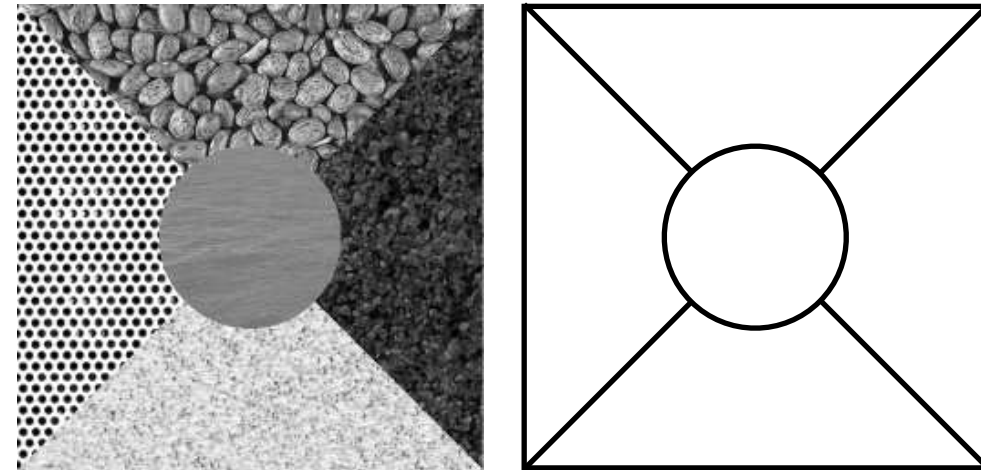
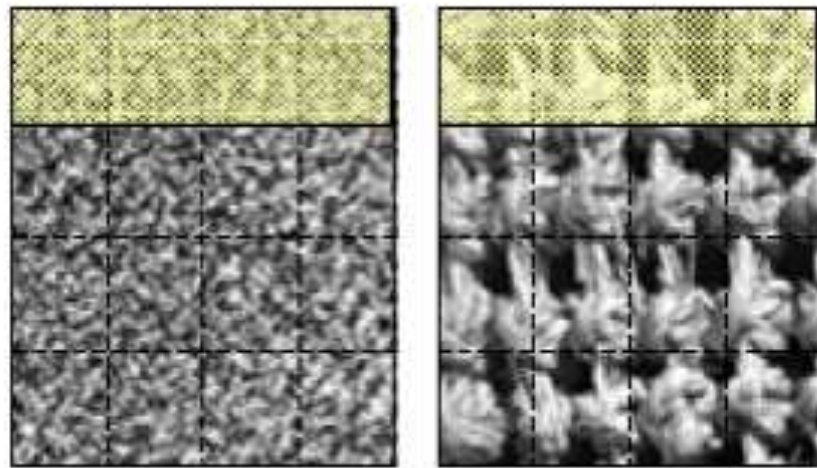
Dependencia con la escala



Testículos ovinos (hematoxilina-eosina) 40x

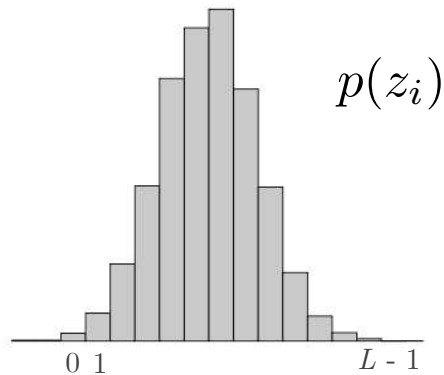
Aplicaciones

- Clasificación: determinar el tipo (clase) a una nueva muestra
- Segmentación: partir en regiones de textura similar
- Síntesis: dada una muestra, generar otras de apariencia similar
- Recuperación de pose y estructura: shape from texture



Métricas estadísticas

- Momentos estadísticos del histograma de intensidades.



$$\mu_n(z_i) = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - m)^n p(z_i)$$

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p(z_i)$$

- Primeros dos momentos $\mu_0 = 1, \mu_1 = 0$
- Segundo momento (varianza) $\mu_2 = \sigma^2(z_i)$ o desviación estándar $\sigma(z)$
 - Medida del contraste y la suavidad de la variación.

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2(z)}$$

$R = 0$ zonas constantes

$R \rightarrow 1$ zonas mucha variación.

- Tercer momento (skewness) μ_3 es una medida de la simetría del histograma
- Cuarto momento (flatness) es una medida de la "llanura".

Métricas estadísticas

- “Uniformidad”

$$U(z) = \sum_{i=0}^{L-1} p^2(z_i)$$

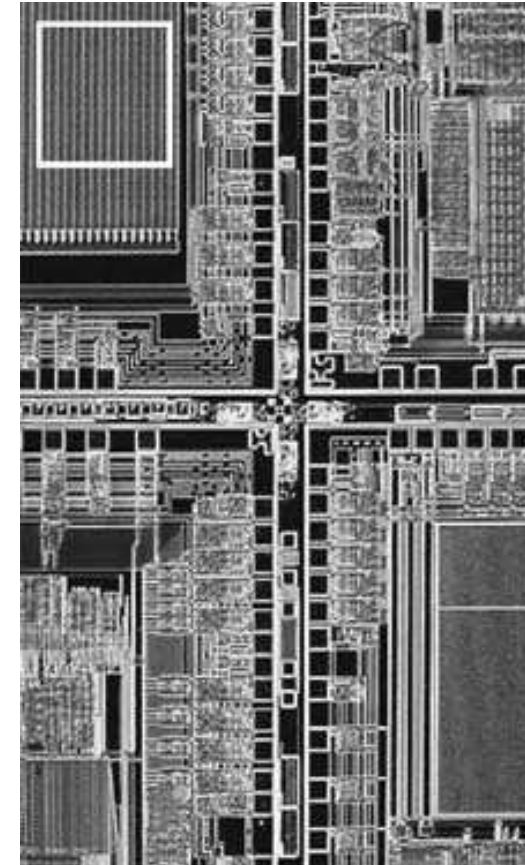
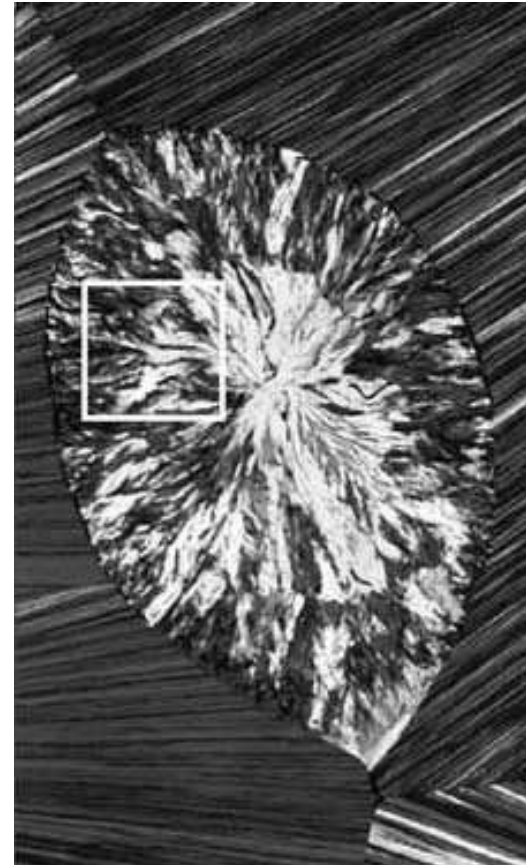
- Entropía

$$e(z) = - \sum_{i=0}^{L-1} p(z_i) \log_2 p(z_i)$$

- R (normalizada)

$$R(z) = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2(z)}$$

Métricas estadísticas



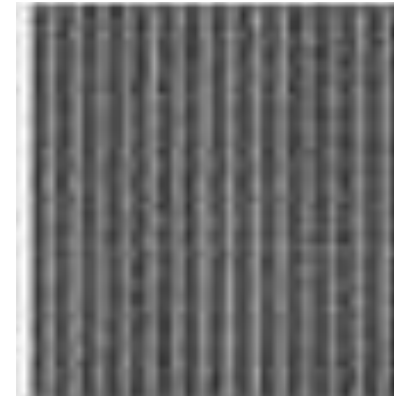
Smooth



Coarse

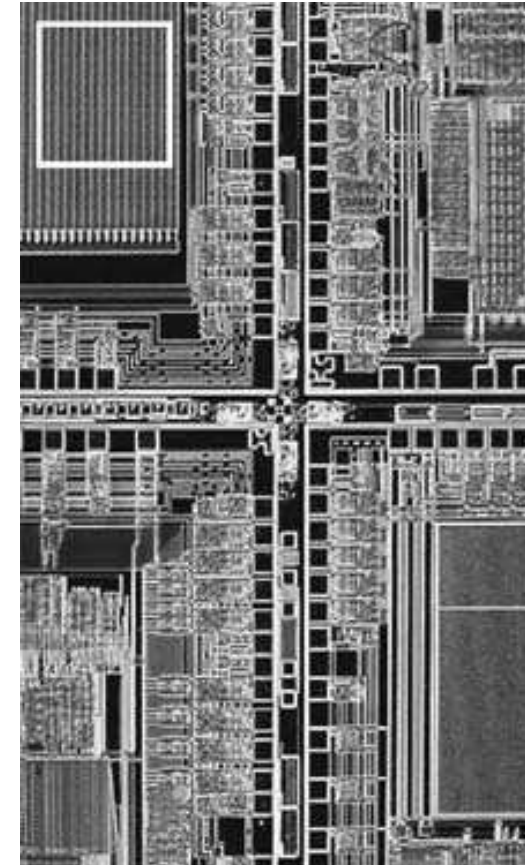
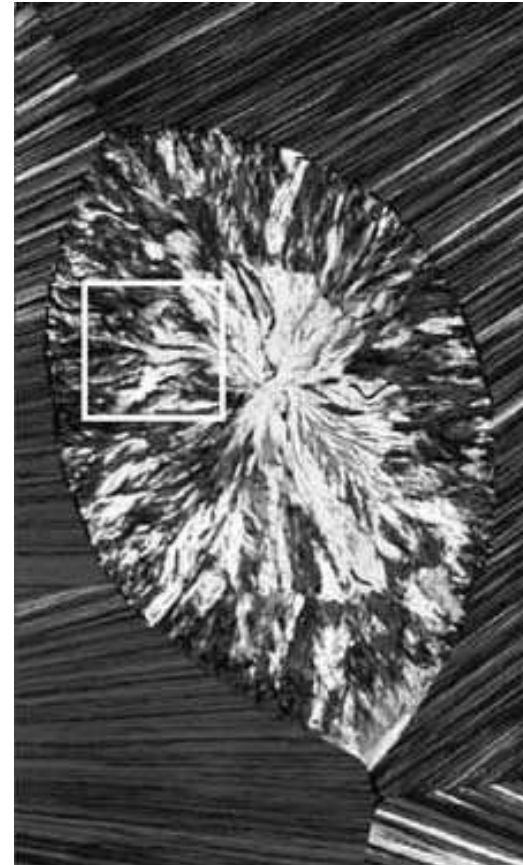


Regular



Texture	Mean	Standard deviation	R (normalized)	Third moment	Uniformity	Entropy
Smooth	82.64	11.79	0.002	-0.105	0.026	5.434
Coarse	143.56	74.63	0.079	-0.151	0.005	7.783
Regular	99.72	33.73	0.017	0.750	0.013	6.674

Métricas estadísticas



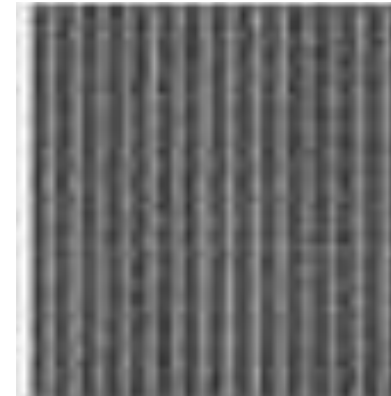
Smooth



Coarse



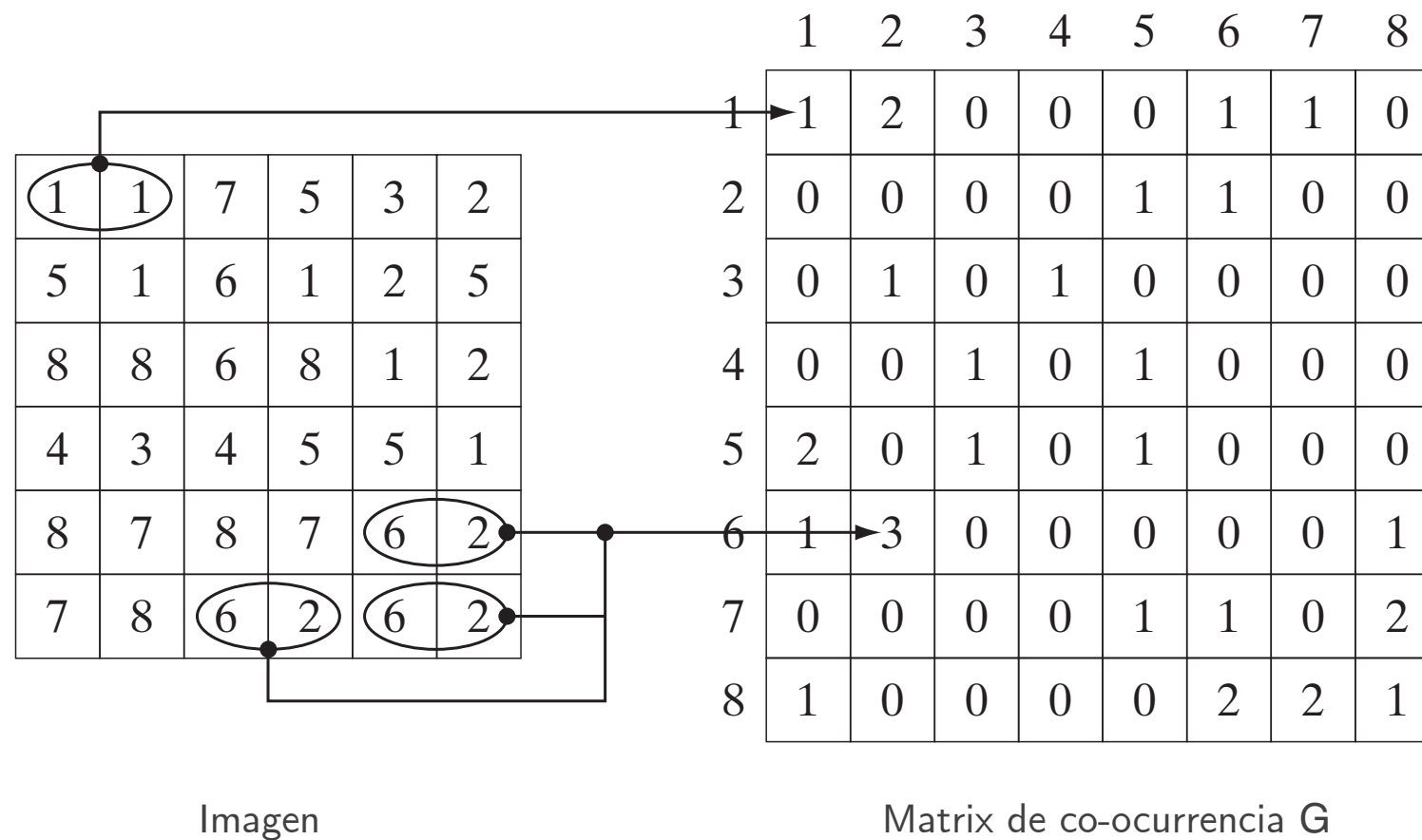
Regular



Texture	Mean	Standard deviation	R (normalized)	Third moment	Uniformity	Entropy
Smooth	82.64	11.79	0.002	-0.105	0.026	5.434
Coarse	143.56	74.63	0.079	-0.151	0.005	7.783
Regular	99.72	33.73	0.017	0.750	0.013	6.674

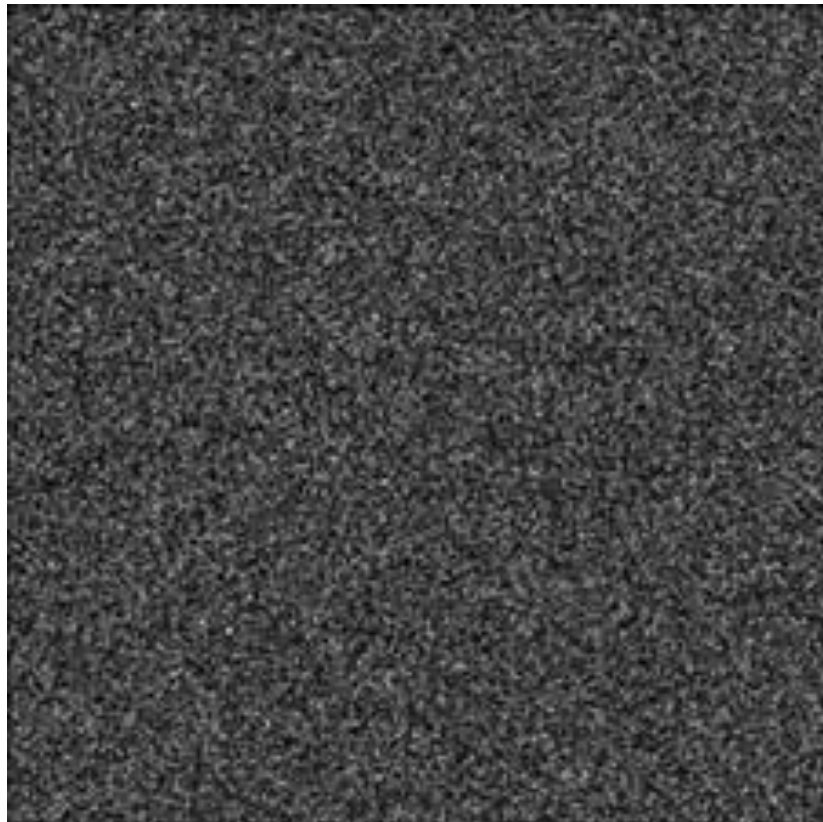
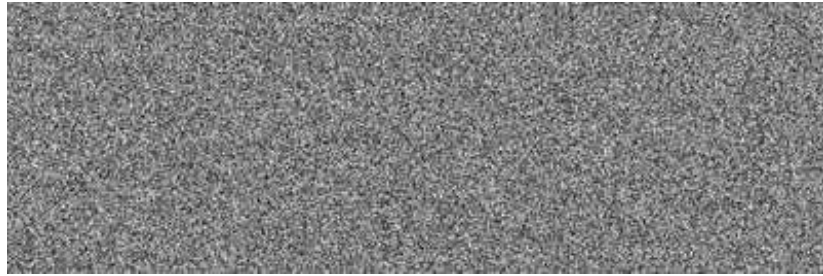
Métricas estadísticas

- Los histogramas no tiene información de la posición de las intensidades, que es un aspecto clave para la textura.
- Matriz de co-ocurrencia

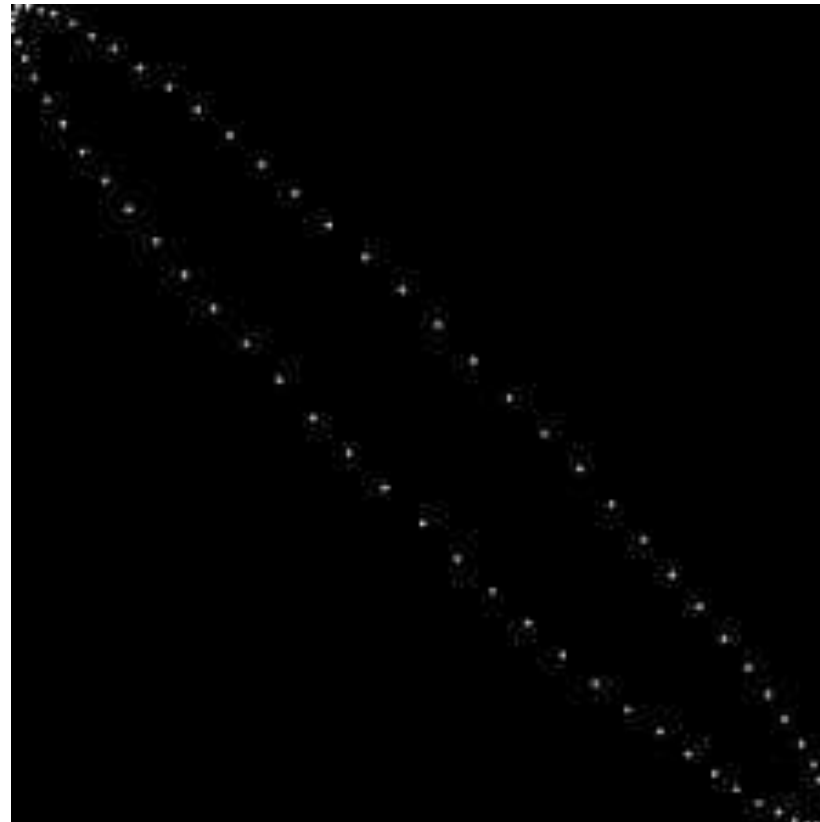
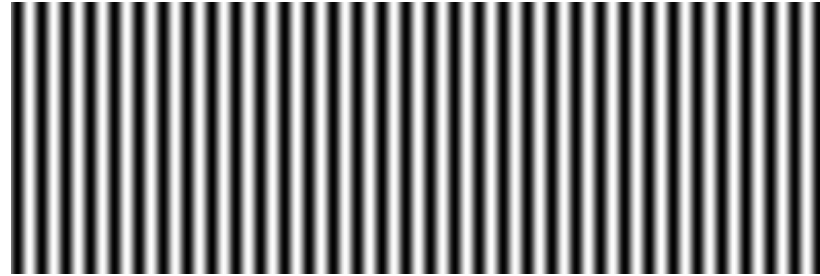


Métricas estadísticas

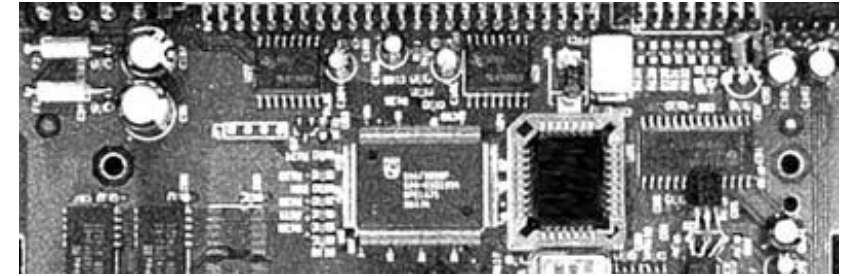
1



2



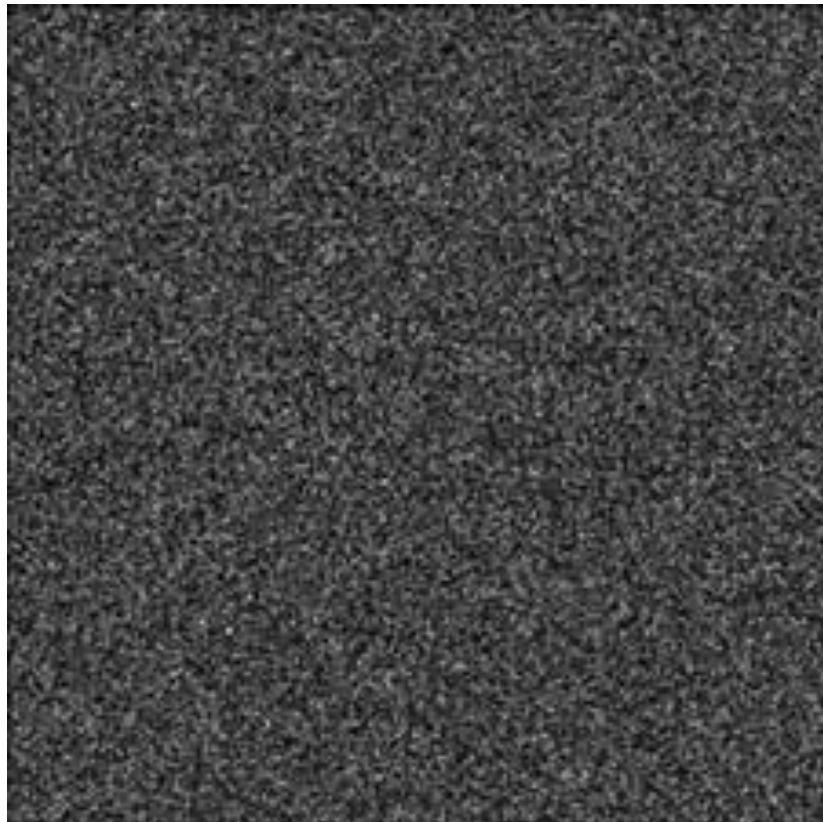
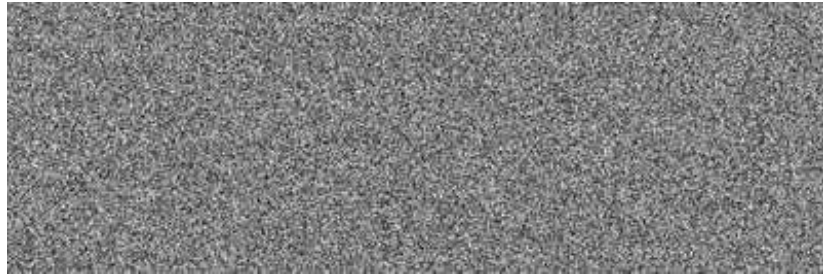
3



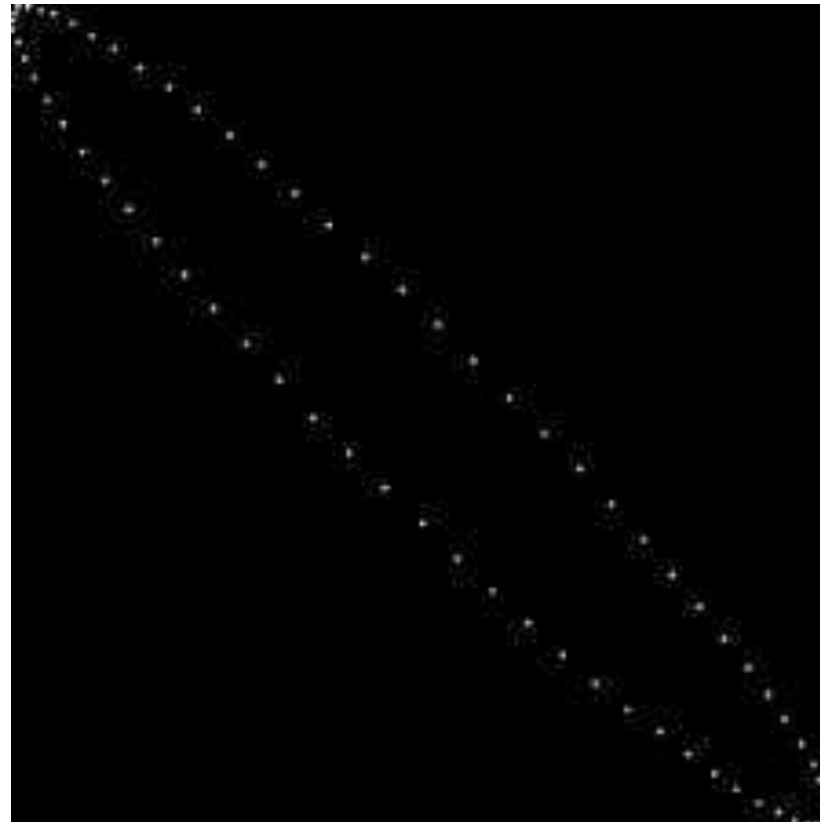
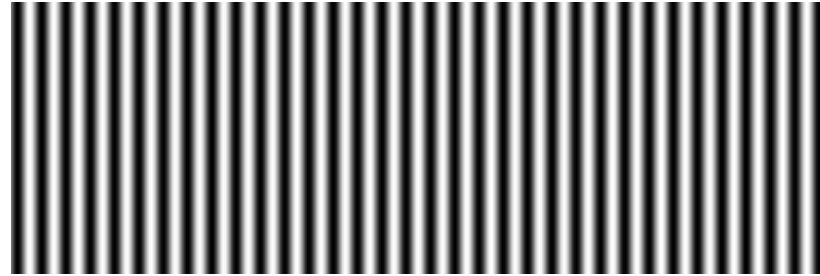
Normalized Co-occurrence Matrix	Descriptor					
	Max Probability	Correlation	Contrast	Uniformity	Homogeneity	Entropy
\mathbf{G}_1/n_1	0.00006	-0.0005	10838	0.00002	0.0366	15.75
\mathbf{G}_2/n_2	0.01500	0.9650	570	0.01230	0.0824	6.43
\mathbf{G}_3/n_3	0.06860	0.8798	1356	0.00480	0.2048	13.58

Métricas estadísticas

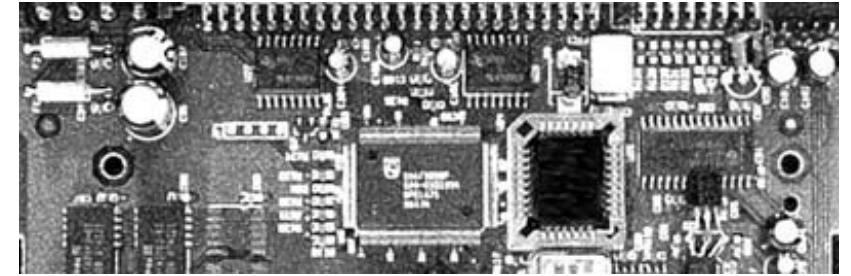
1



2



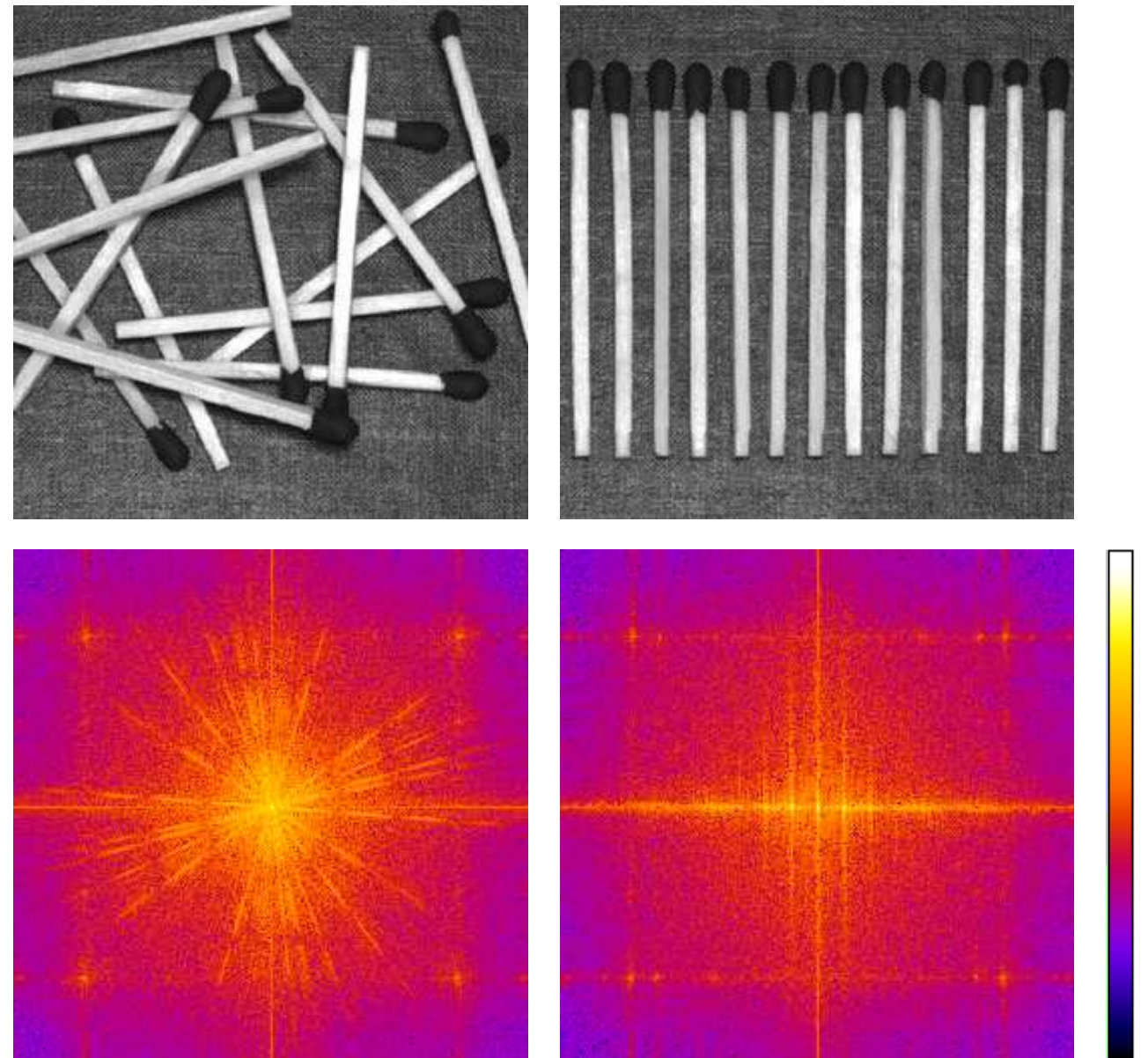
3



Normalized Co-occurrence Matrix	Descriptor					
	Max Probability	Correlation	Contrast	Uniformity	Homogeneity	Entropy
\mathbf{G}_1/n_1	0.00006	-0.0005	10838	0.00002	0.0366	15.75
\mathbf{G}_2/n_2	0.01500	0.9650	570	0.01230	0.0824	6.43
\mathbf{G}_3/n_3	0.06860	0.8798	1356	0.00480	0.2048	13.58

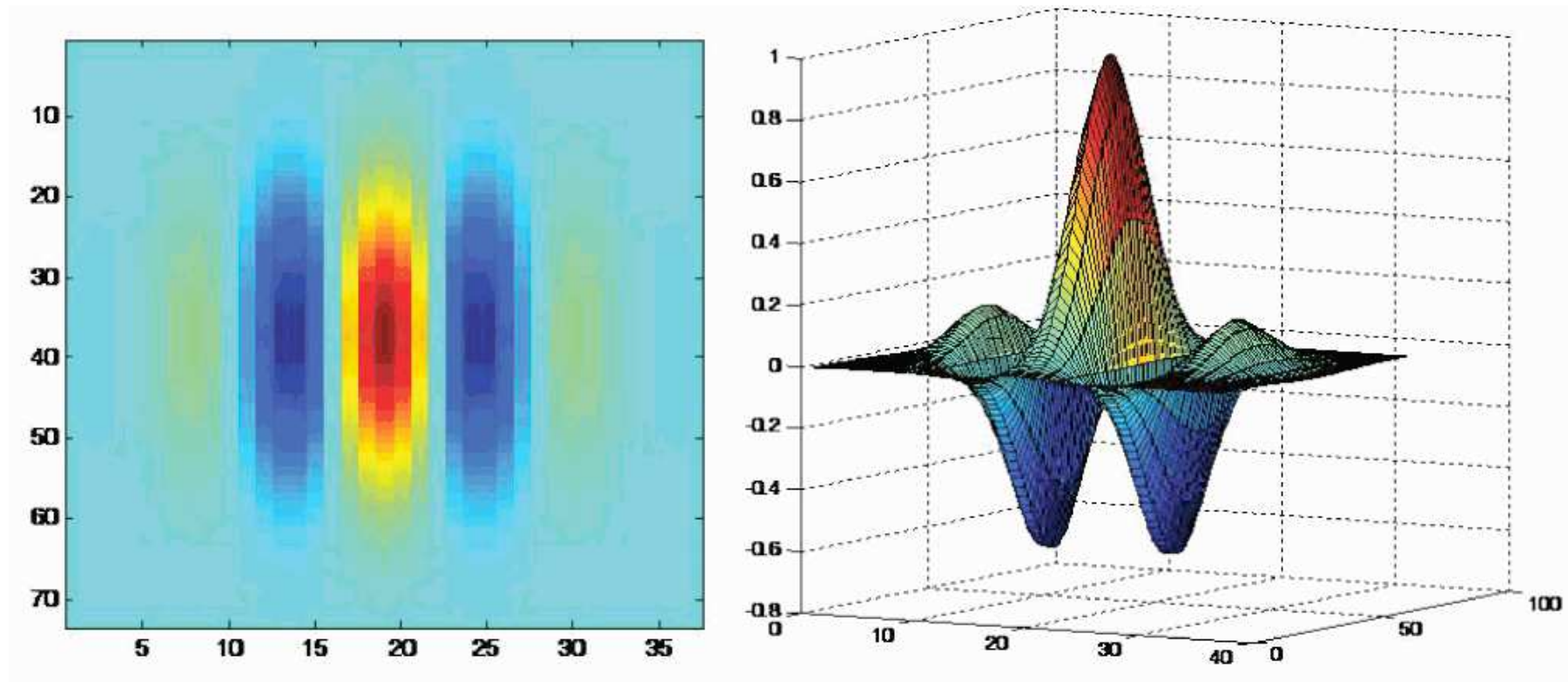
Métricas espectrales

- Basadas en la Transformada de Fourier o variantes como la DCT.
 - Ajustada para distinguir patrones repetitivos o periódicos.
 - Patrones globales.
- Con la TF se detectan:
 - Picos dominantes asociados a direcciones principales de textura.
 - Tamaño (frecuencia) de las repeticiones espaciales.
 - Eliminando (filtrando) esas componentes dominantes queda la información no periódica que puede describirse con métricas estadísticas.



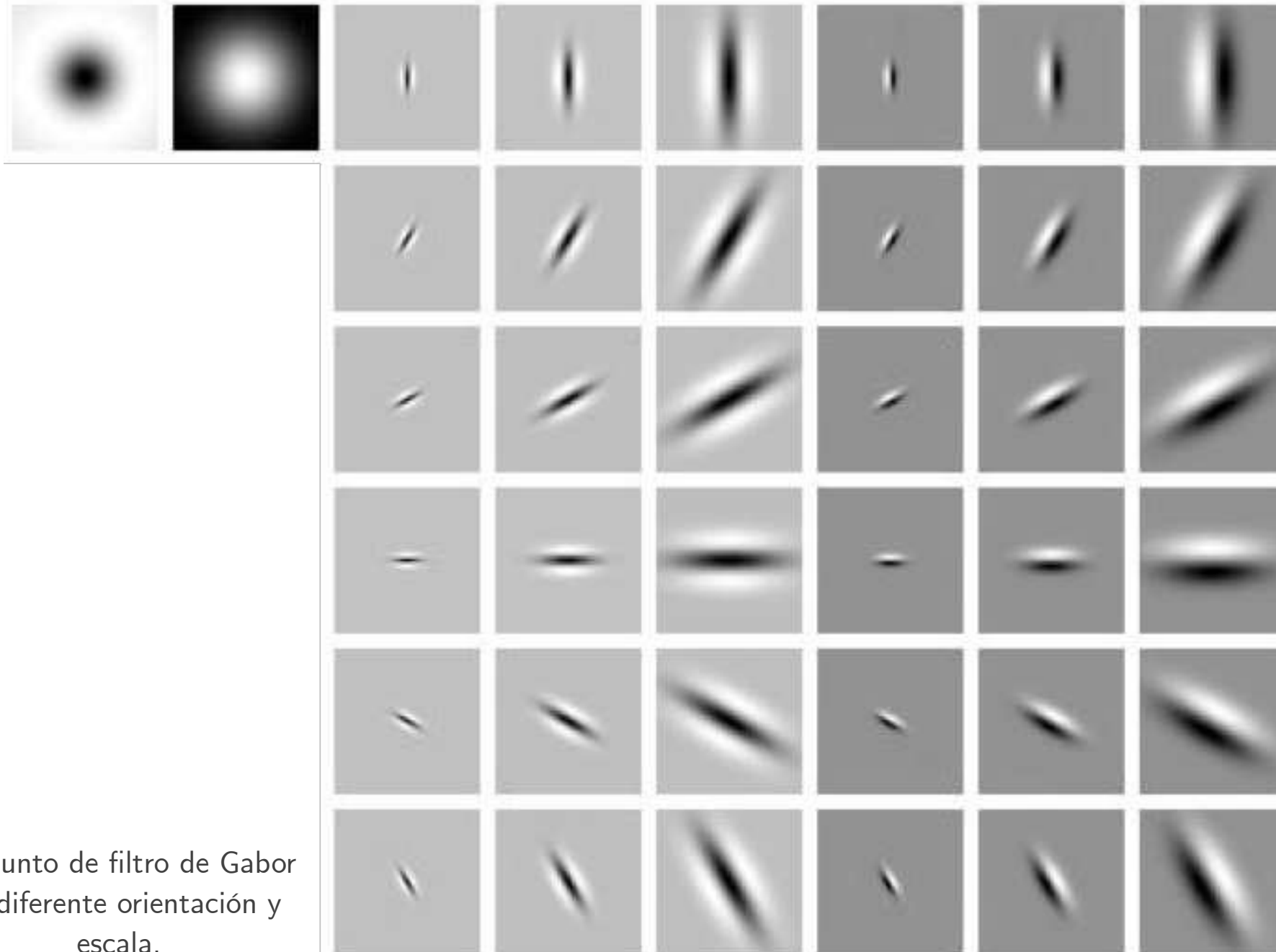
Métricas basadas en filtros

- Representan la imagen a partir de la respuesta a un conjunto de filtros



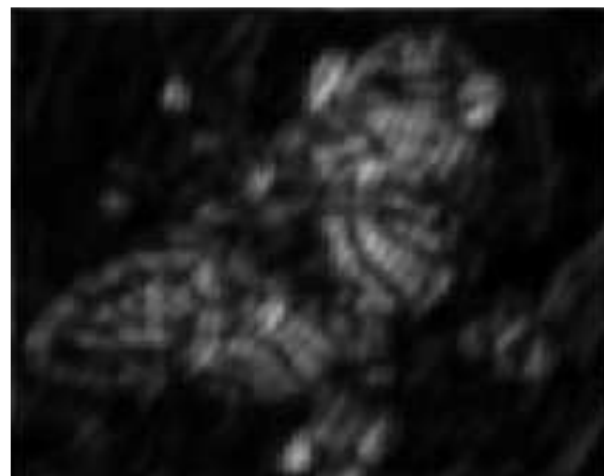
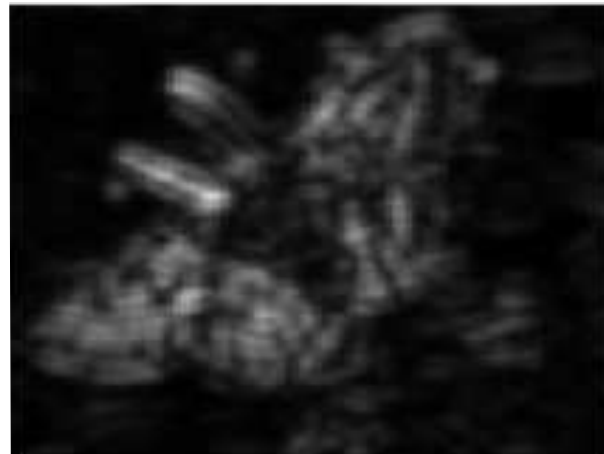
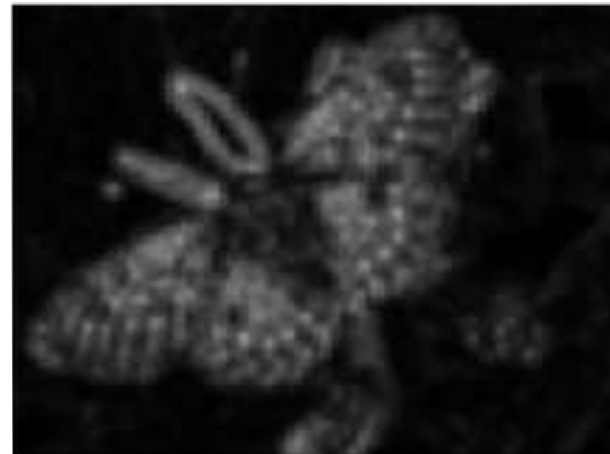
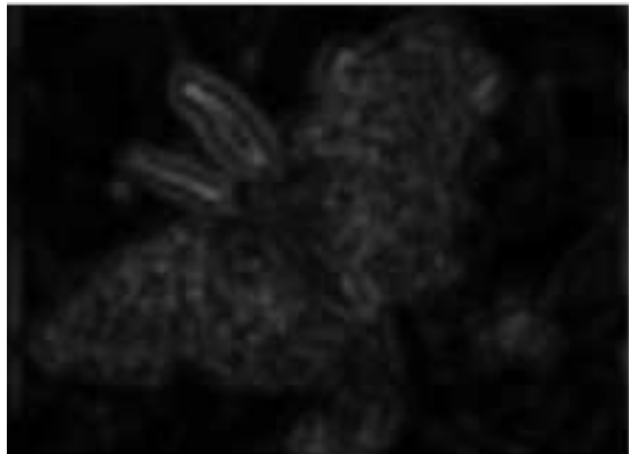
Métricas basadas en filtros

- Representan la imagen a partir de la respuesta a un conjunto de filtros



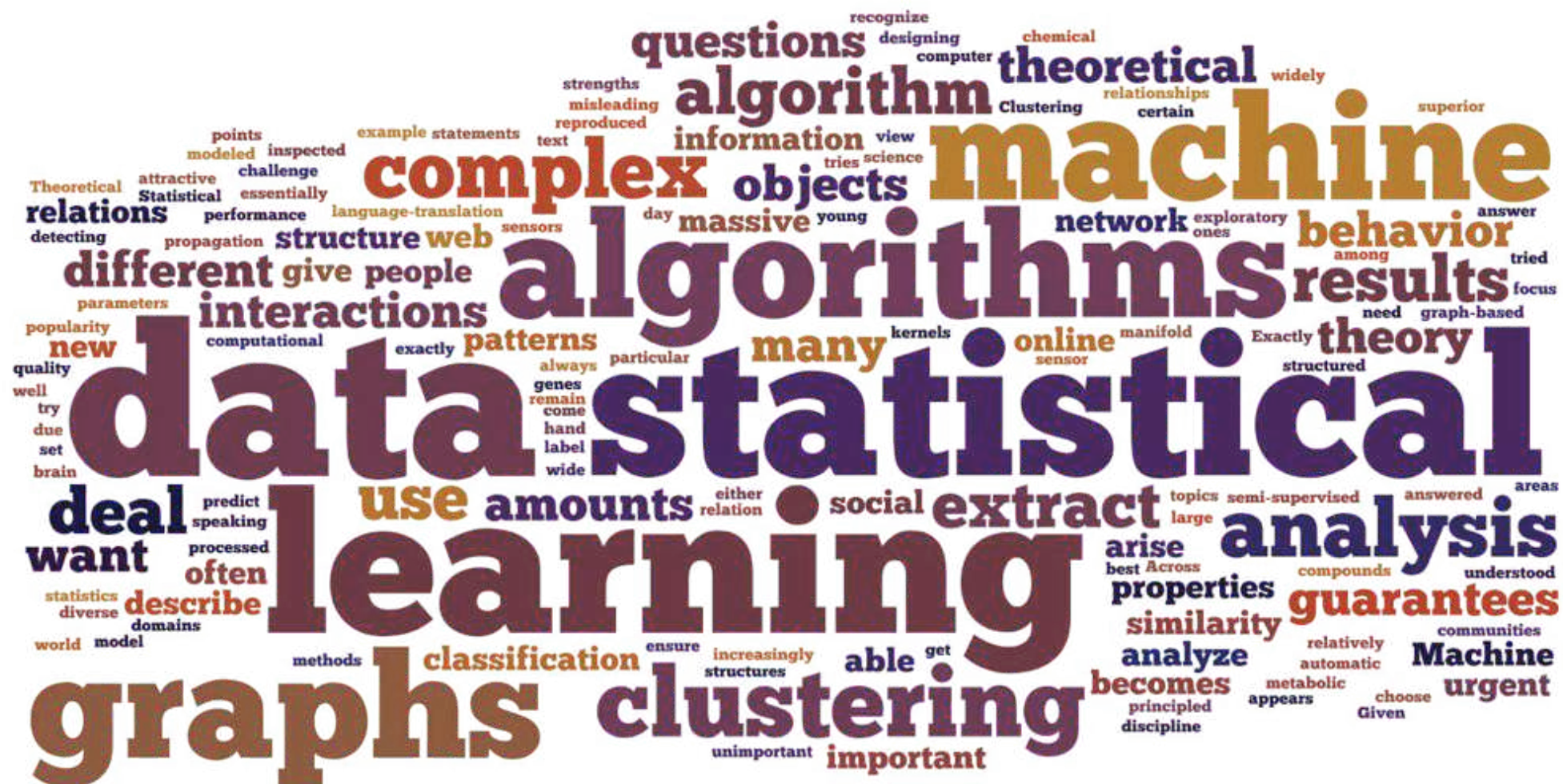
Conjunto de filtro de Gabor de diferente orientación y escala.

Métricas basadas en filtros



Descriptores

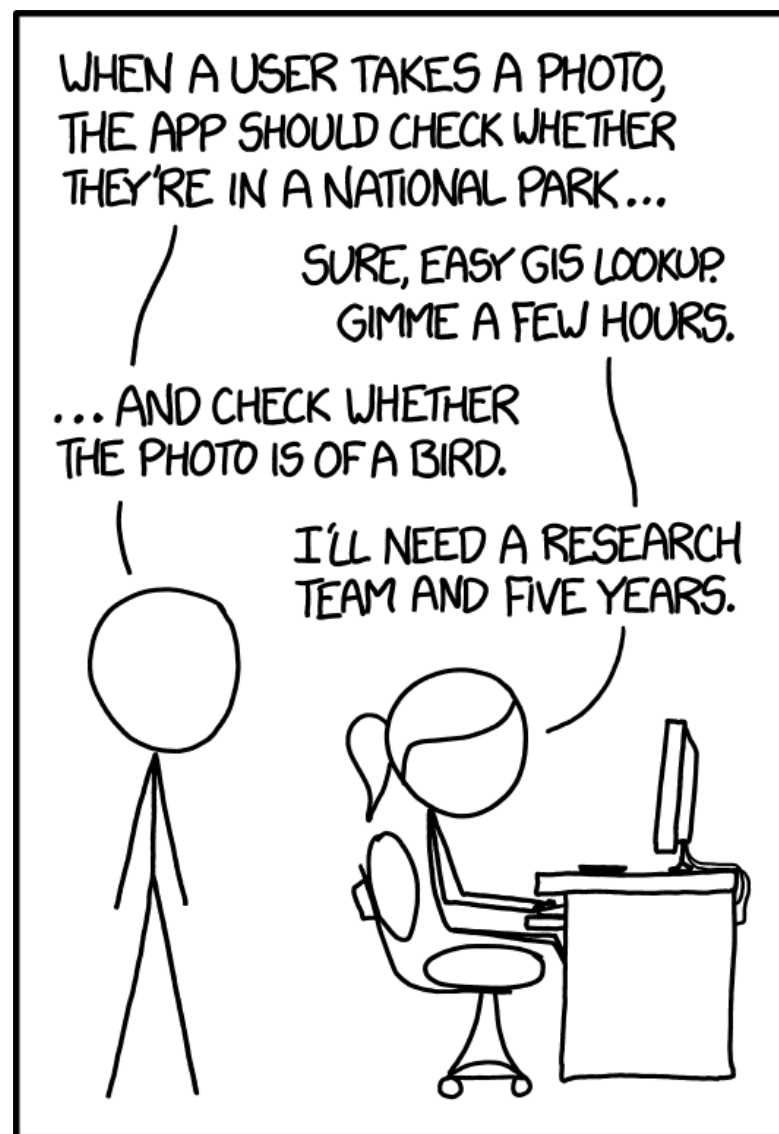
- Las diferentes medidas, estadísticas, filtrados (procesamiento en general) nos permite obtener *descriptores* de una ROI, objeto, imagen, eventos, trayectoria, ...
- Con estos *descriptores* es posibles *aprender* a diferenciar los casos de interés.



Descriptores

- Las diferentes medidas, estadísticas, filtrados (procesamiento en general) nos permite obtener *descriptores* de una ROI, objeto, imagen, eventos, trayectoria, ...
- Con estos *descriptores* es posibles *aprender* a diferenciar los casos de interés.



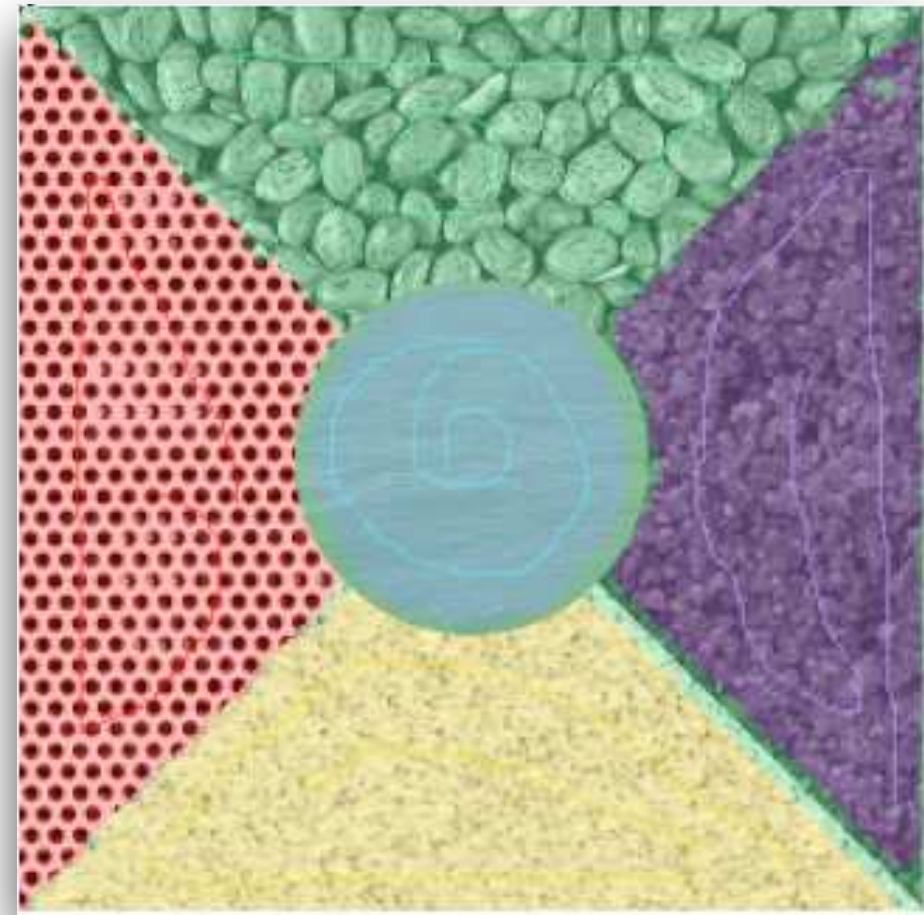
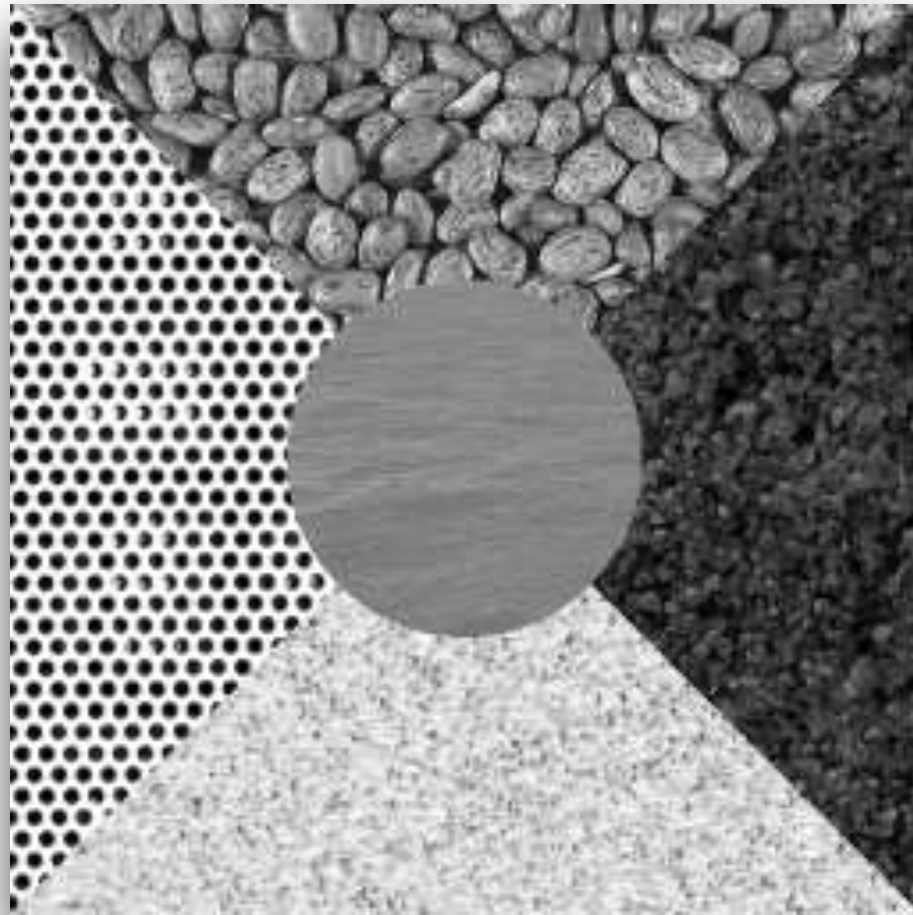


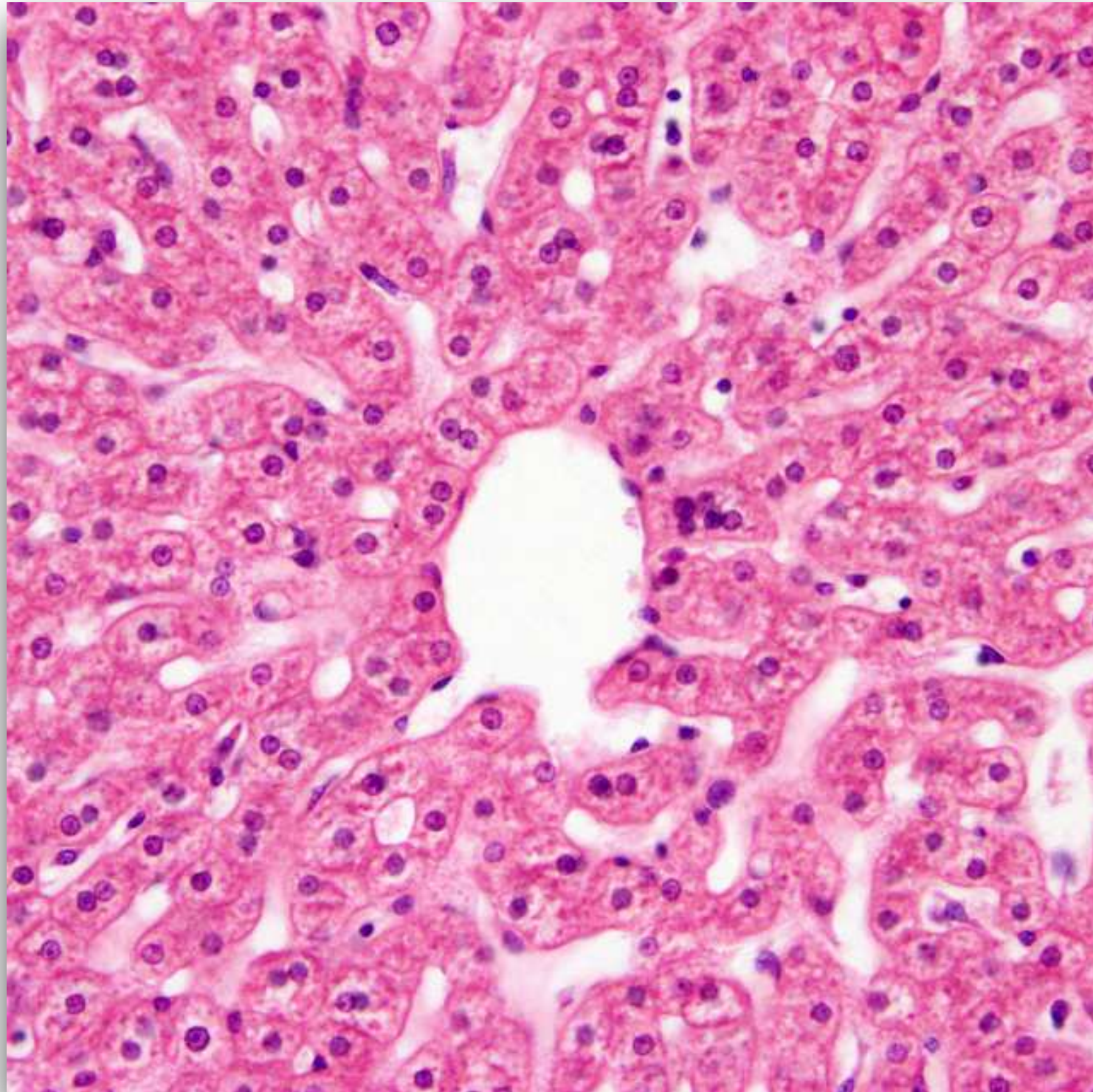
IN CS, IT CAN BE HARD TO EXPLAIN
THE DIFFERENCE BETWEEN THE EASY
AND THE VIRTUALLY IMPOSSIBLE.

Tasks (2014-09-24)

<https://xkcd.com/1425>

Pattern Recognition / Machine Learning





Pattern Recognition / Machine Learning

Trainable Weka Segmentation v2.1.0-SNAPSHOT

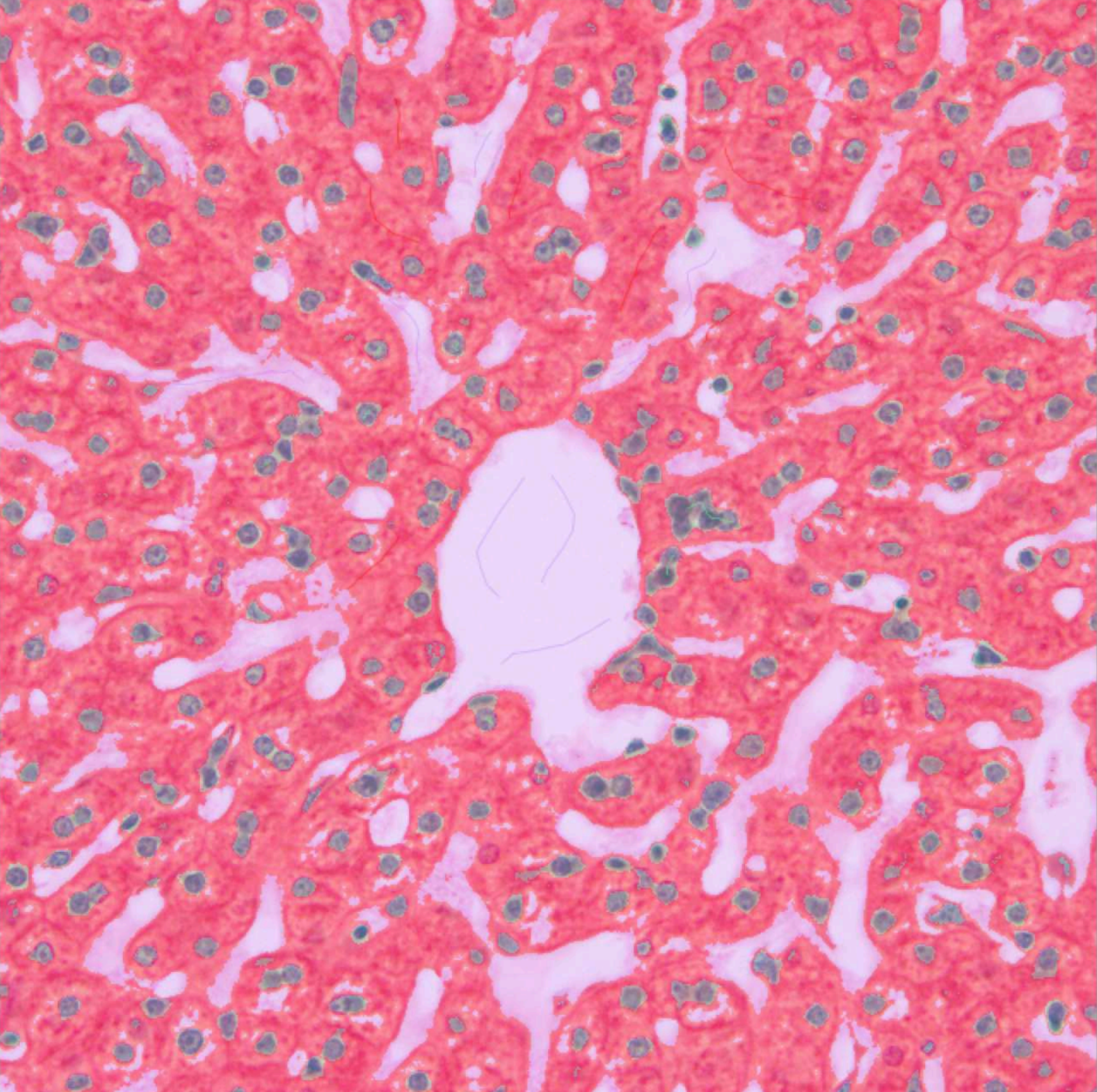
640x640 pixels: RGB: 1.6MB

Training

- Train classifier
- Toggle overlay
- Create result
- Get probability
- Plot result

Options


- Apply classifier
- Load classifier
- Save classifier
- Load data
- Save data
- Create new class
- Settings



The central image shows a microscopic view of kidney tissue. The background is a dense field of red-stained cells. A large, irregularly shaped, light purple region is visible in the center, representing a segmented area. Several small, dark blue circular spots are scattered throughout the red tissue, also representing segmented features. The segmentation is overlaid on the original image, showing the model's output.

Labels

- Add to class 1
- trace 0 (Z=1)
- trace 1 (Z=1)
- trace 2 (Z=1)
- trace 3 (Z=1)
- trace 4 (Z=1)
- Add to class 2
- trace 0 (Z=1)
- trace 1 (Z=1)
- trace 2 (Z=1)
- trace 3 (Z=1)
- trace 4 (Z=1)
- Add to class 3
- trace 0 (Z=1)
- trace 1 (Z=1)
- trace 2 (Z=1)
- trace 3 (Z=1)
- trace 4 (Z=1)



WEKA
The University of Waikato

Referencias

- Digital Image Processing, An Algorithm Introduction to Java. Wilhelm Burger & Mark J. Burge. Springer, ISBN 978-1-84628-379-6
 - Las transparencias usan material del libro disponible en <http://www.imagingbook.com/>
- Digital Image Processing, Gonzalez & Woods.
 - Las transparencias usan material del libro <http://www.imageprocessingplace.com/>