Visión por Computador

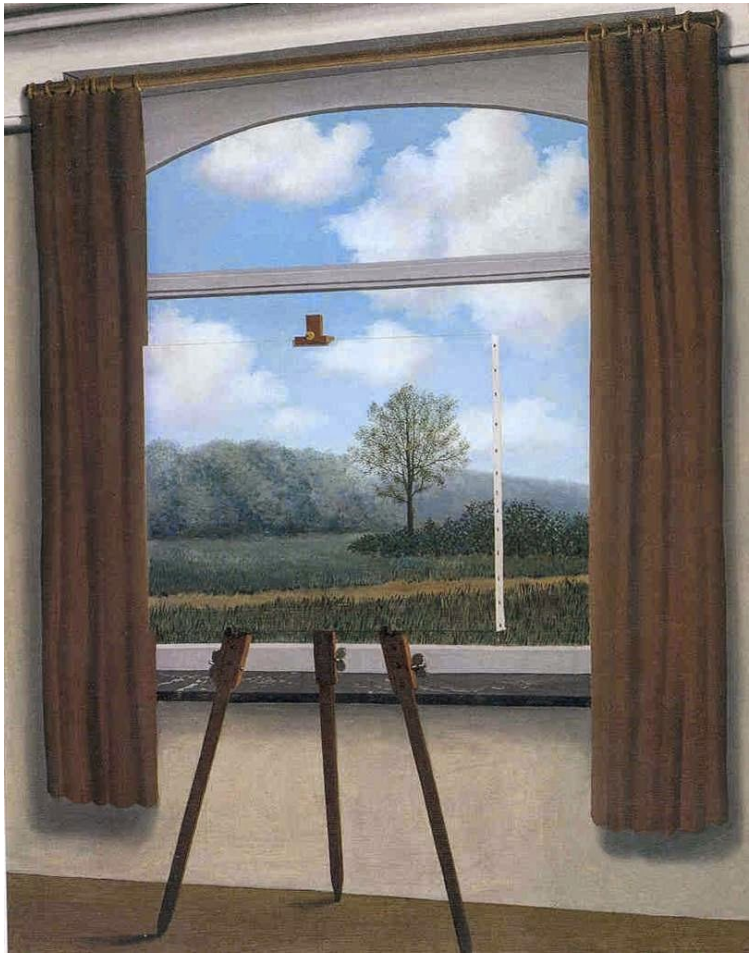
T2. Adquisición, formación y representación de la imagen

La reproducción interdite, René Magritte

EII, GII. *Modesto Castrillón Santana*

Contenidos

- Imagen
- Cámara digital
- Formación de la imagen



La condición humana, R. Magritte

¿Qué es una imagen?

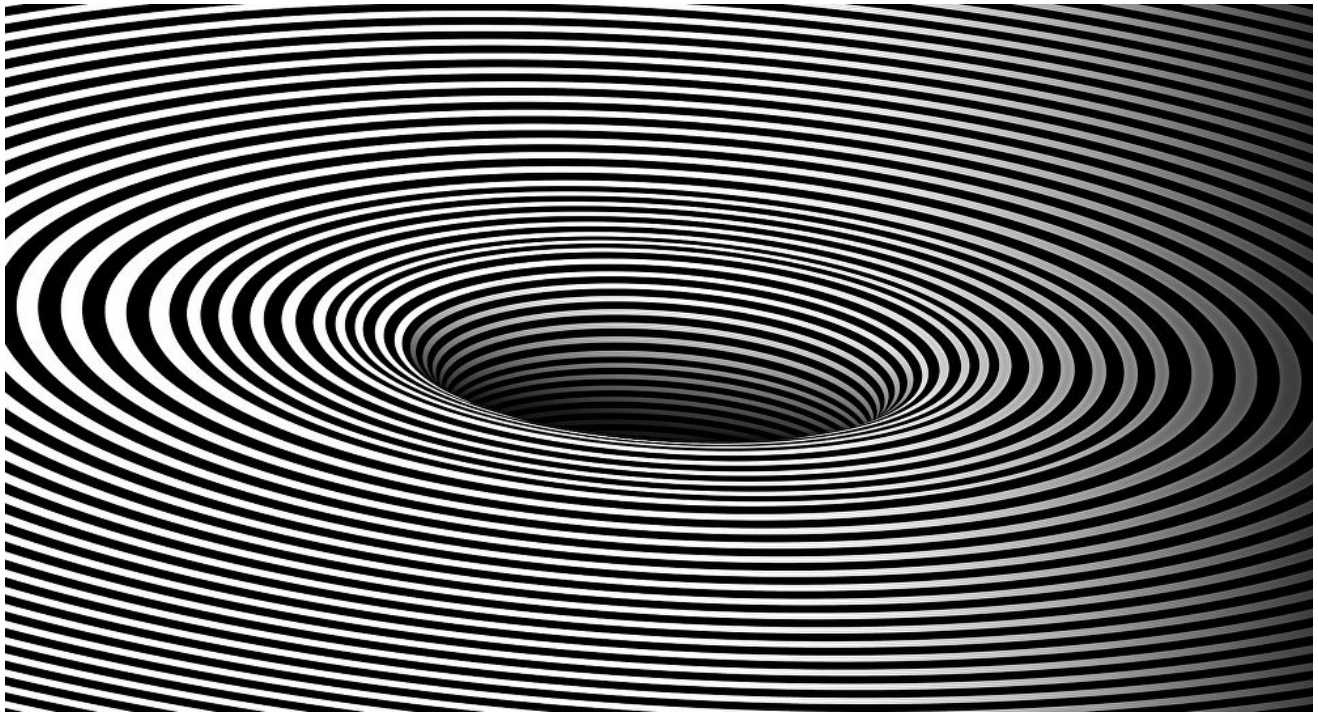
"La famosa pipa. ¡La gente me ha reprochado muchísimo por ella! Realmente es solo una representación, ¿no es cierto? Escribí en mi pintura 'Esto no es una pipa' ¡Estaba mintiendo!"

R. Magritte

¿Qué es una imagen?

¿Qué es una imagen?

¿Plana?



¿Qué es una imagen?

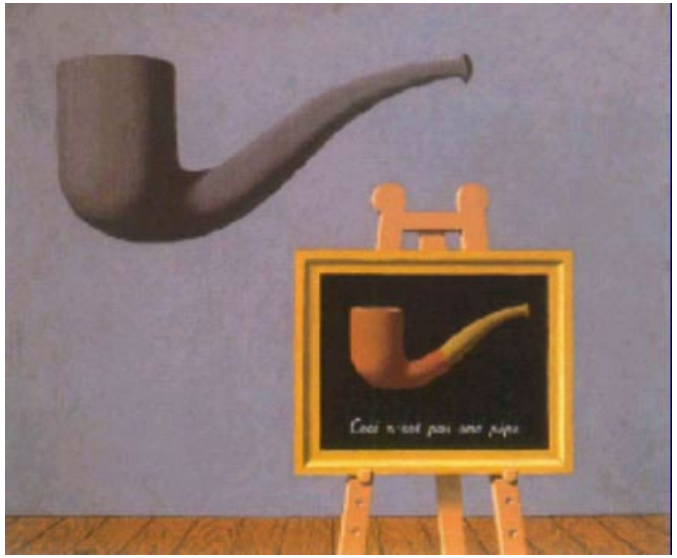
Una imagen es una elección, un juicio que utiliza un proceso de selección y omisión. El mito del ojo inocente es una ilusión.

E. Gombrich

¿Qué es una imagen?

Dualidad:

- Objeto plano
- Representación realidad 3D

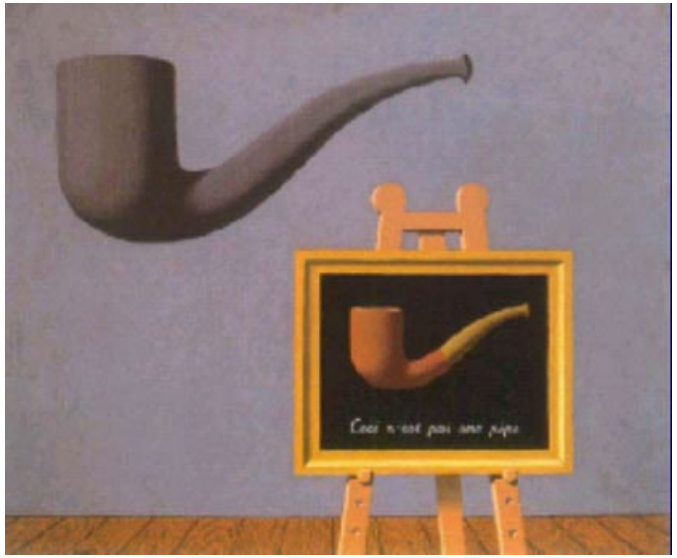


Los dos misterios, R. Magritte

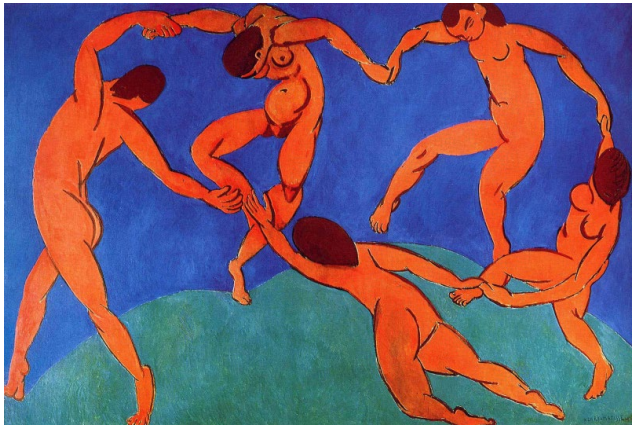
¿Qué es una imagen?

Dualidad:

- Objeto plano
- Representación realidad 3D



Los dos misterios, R. Magritte



La danza, Henri Matisse

- *El brazo de la mujer es demasiado largo*
- *Se equivoca usted señora, no es una mujer, es una pintura*

H. Matisse

¿Qué es una imagen?

Imagen como representación de la realidad

El creador *juega* con el sistema visual humano, con su intención, con el contexto, con su selección de elementos de interés.

¿Qué es una imagen?

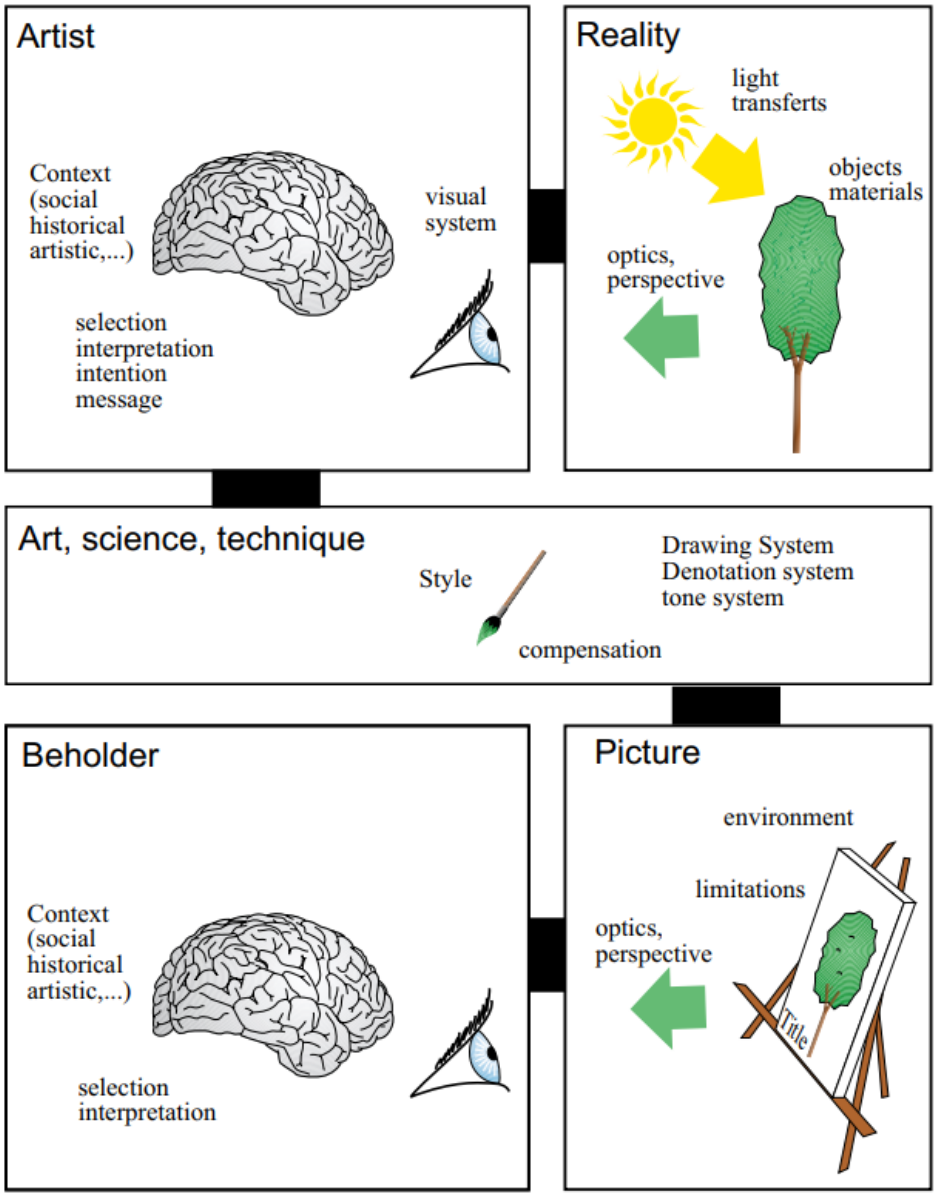
Imagen como representación de la realidad

El creador *juega* con el sistema visual humano, con su intención, con el contexto, con su selección de elementos de interés.

¿Pose confortable?

La fuente, Jean-Auguste-Dominique Ingres, 1856

¿Qué es una imagen?



Fredo Durand

¿Qué es una imagen?

Imagen plana, finita, caracterizada por el contexto, y percibida

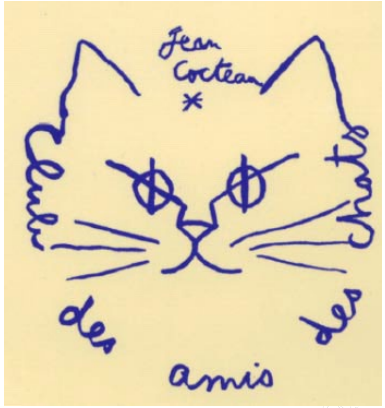
Diferentes observadores, diferentes interpretaciones

El mundo de Cristina, Andrew Wyeth

Guernica, Pablo Picasso

¿Qué es una imagen?

¿2D o 3D?



¿Qué es una imagen?

¿Tecnologías para producir imágenes?

¿Qué es una imagen?

¿Tecnologías para producir imágenes?

Pintura y fotografía (psicología vs. geometría)

Vocazione di San Matteo, Caravaggio, 1601

***The Terror of War*, Nick Ut, 1972**

Imagen

Detalle de *La invención del dibujo*, Karl Friedrich, 1830

Imagen

Imagen

Imagen

Imagen

Imagen

Imagen

Imagen digital

La cámara *sustituye* al ojo

Cámara digital:

- Conos y bastones → CCD o CMOS
- Células ganglionares → Bancos de filtros

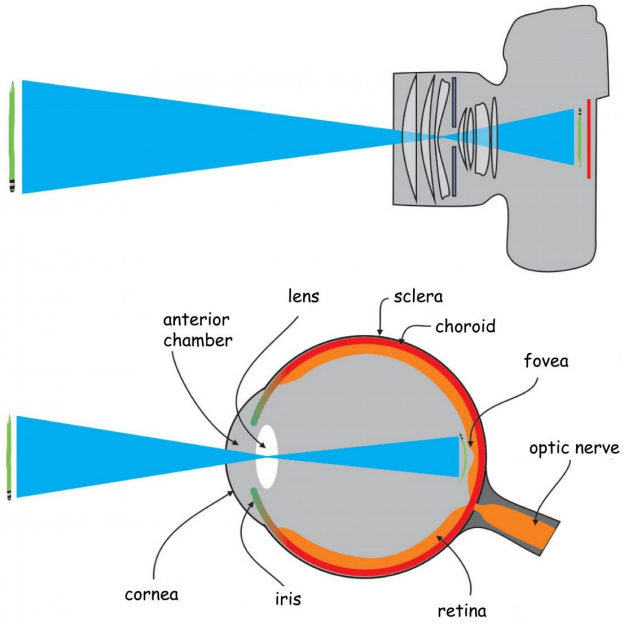


Imagen digital

Medio repetible, portable y reproducible
Donde esté el medio digital estará la imagen
Era post-fotografía
Promptografía, promptógrafo

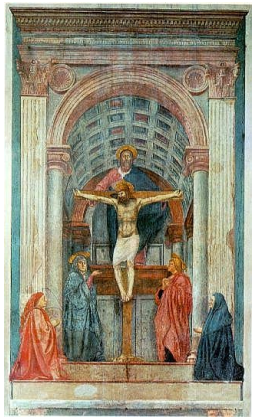


Imagen digital

Promptografía

FREEP!K

Imagen digital

Píxeles

Imagen digital

Píxeles
Rejilla rectangular

Imagen digital

Píxeles

Rejilla rectangular

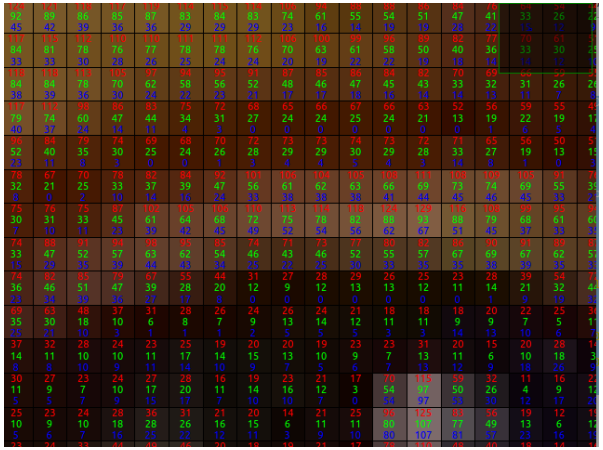
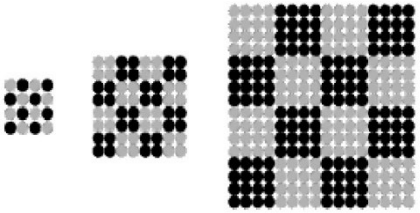


Imagen digital

El píxel, *picture element*

"Un píxel es una muestra puntual, es decir, el valor de algo continuo en un punto (con dimensión cero). Si simplemente esto fuera entendido, podríamos evitar para siempre el error de considerar un píxel como un pequeño cuadrado."

Alvy Ray Smith (creador de Paint)



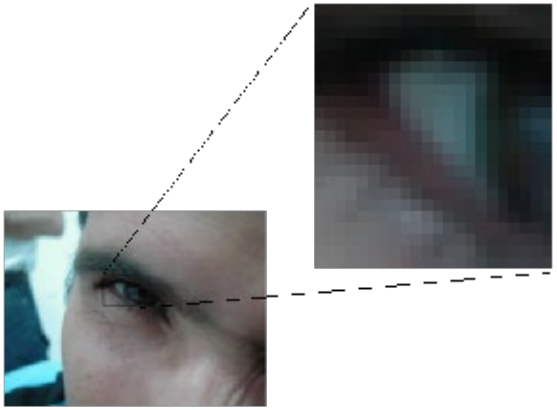
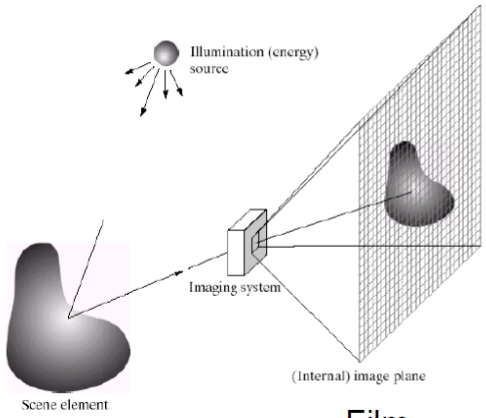
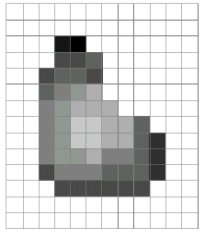


Imagen digital

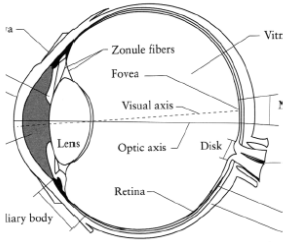
Imagen como función intensidad de la luz
f(x,y) proporcional al brillo/energía, *x* e *y* coordenadas
Número de posiciones finitas
Tercera componente *t* (tiempo): vídeo
Almacenamiento no analógico sino digital
Discretización señal analógica captada por el sensor
Proyección 2D de escena 3D
Frustum



Film



Digital Camera

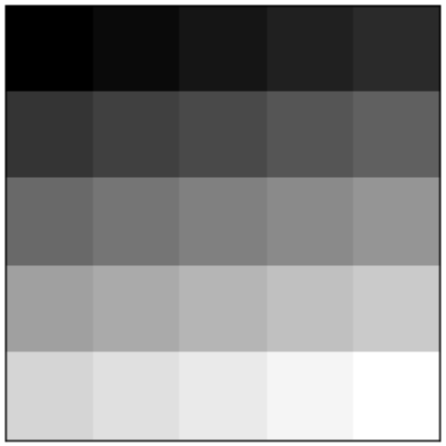


The Eye

James Hays

Imagen digital

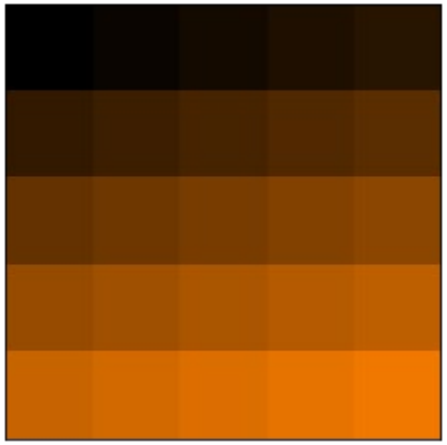
Imagen digital: píxeles



```
#Crea una imagen 5x5 con un plano
sz = 5
img = np.zeros((sz, sz,1), dtype = np.uint8)

#Asignamos valores en crecimiento
for y in range(0, sz):
    for x in range(0, sz):
        img[y,x] = (y*sz+x)*10

#Zoom x5 sin interpolación
up_img = np.repeat(np.repeat(img, sz, axis=0), sz, axis=1)

#Muestra la imagen
plt.imshow(up_img, cmap='gray')
```

Imagen digital

Imagen digital: píxeles



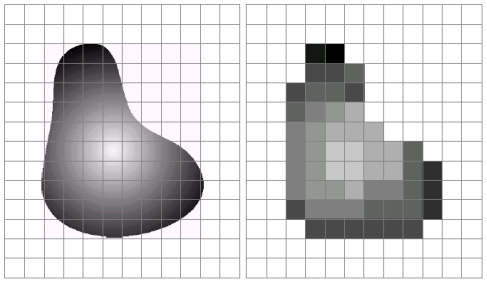
```
#Crea una imagen 5x5 con tres planos
sz = 5
img = np.zeros((sz, sz,3), dtype = np.uint8)

#Asignamos valores en crecimiento
for y in range(0, sz):
    for x in range(0, sz):
        img[y,x,0] = (y*sz+x)*10
        img[y,x,1] = (y*sz+x)*5
        img[y,x,2] = (y*sz+x)*3


#Zoom x5 sin interpolación
up_img = np.repeat(np.repeat(img, sz, axis=0), sz, axis=1)

#Muestra la imagen
plt.imshow(up_img)
```

Imagen digital

Almacenar en memoria requiere discretizar:

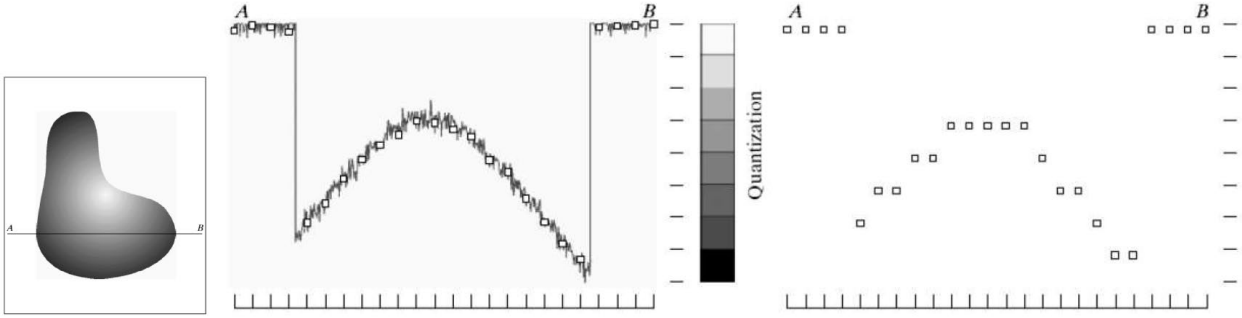
- Muestreo espacial (2D), lo normal equiespaciado (frecuencia)
- Cuantizar, obtiene valores numéricos (enteros)

Facilita tratamiento



a b

FIGURE 2.17 (a) Continuos image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

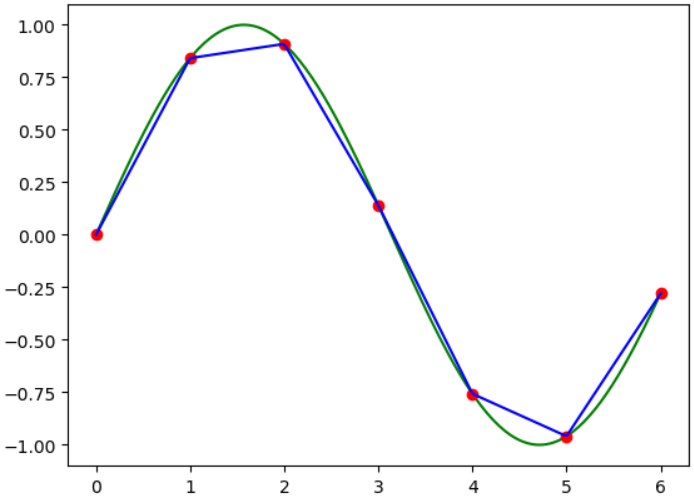


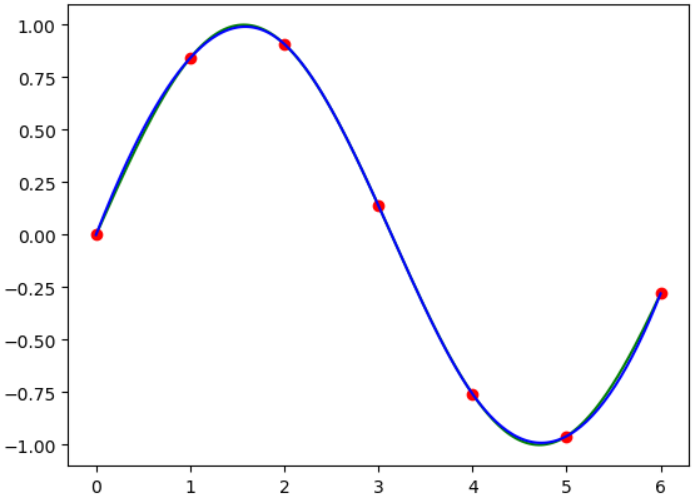
James Hays

Imagen digital

Discretizar pierde información
Impide recuperar señal original
Un sistema digital se considera muy preciso ¿por qué?

Interpolar permite aproximar





Rein van den Boomgaard

Imagen digital

Calidad imagen digital:

- resolución (número de píxeles de la imagen)
- número de bits por píxel

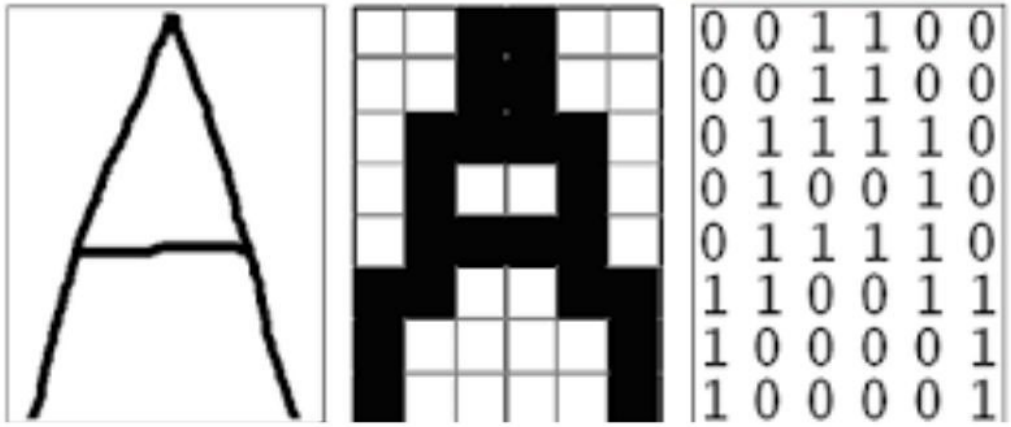


Imagen digital

Resolución

Mismo tamaño, distinta resolución de partida

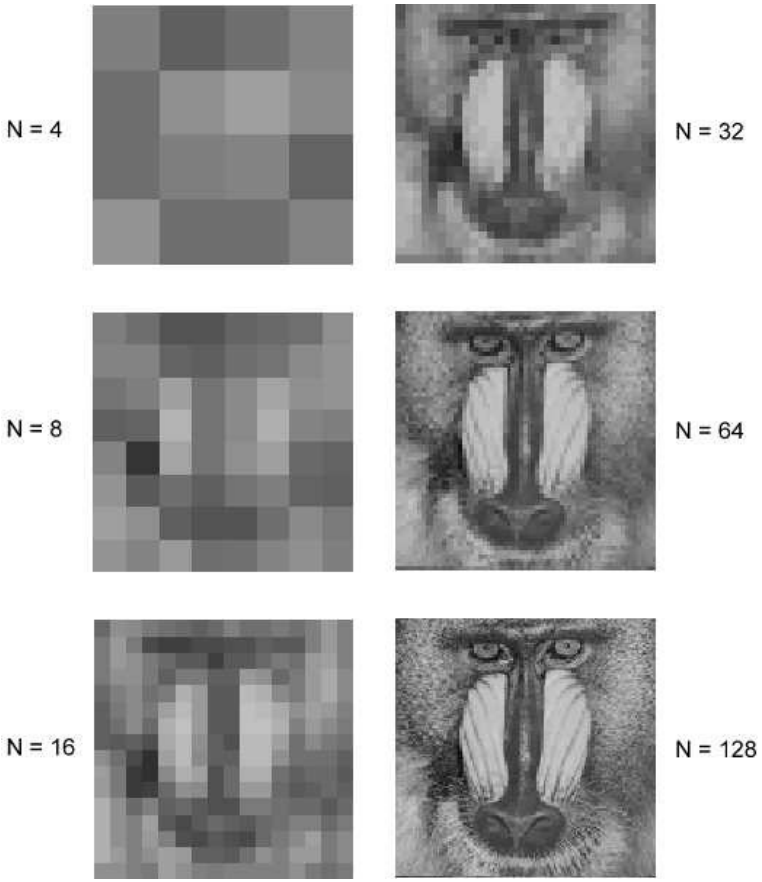
Imagen digital

Profundidad del píxel
Digital versus analógico (RGB o 24 bits, 6, 4 y 3 bits)
Número de valores diferentes por píxel

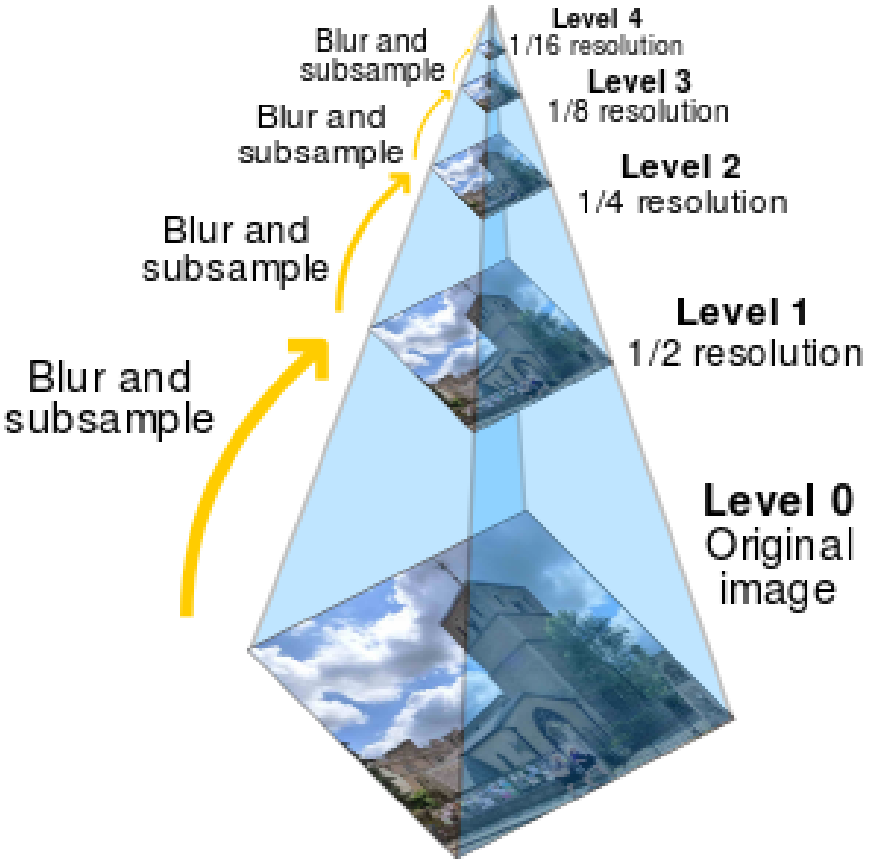
Imagen digital

Aliasing

Bajar la escala en un factor x2



Max Mignotte

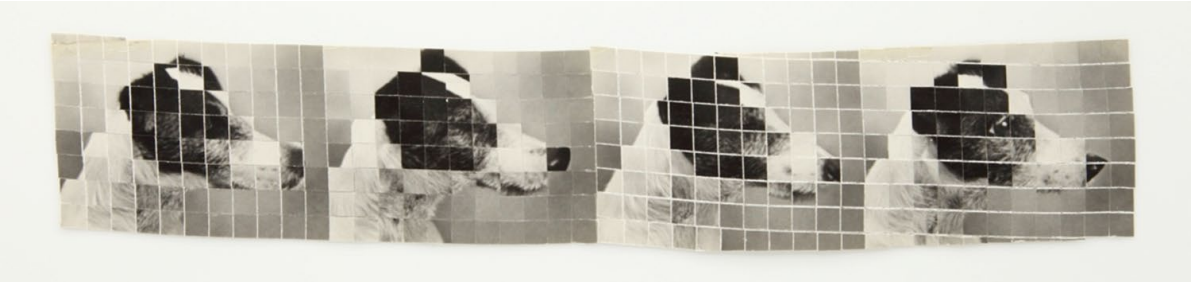


Srinath Sridhar

Imagen digital

Aliasing

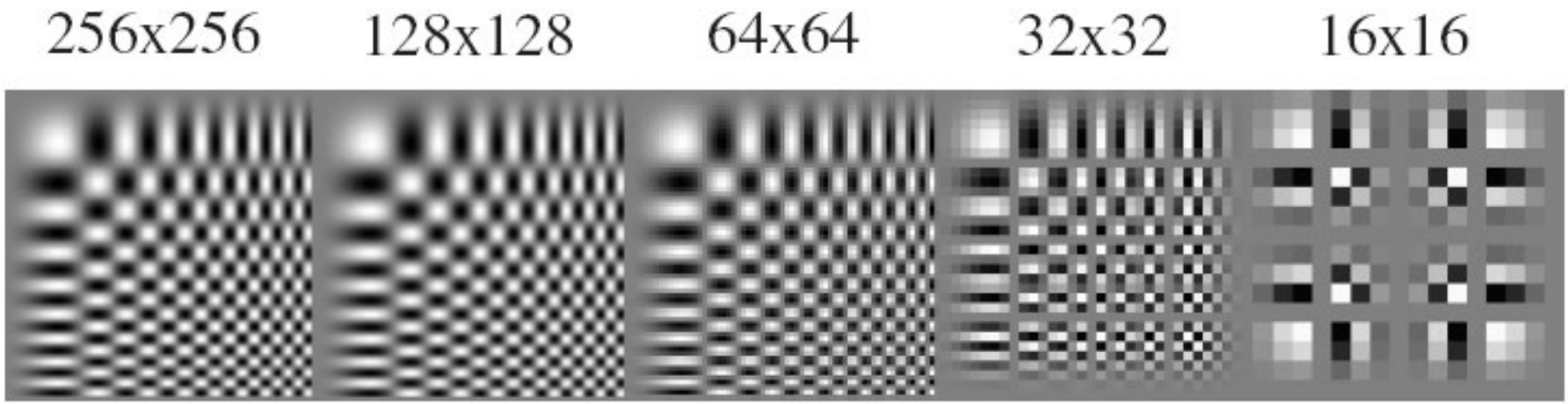
Bajar la escala en un factor x2



Kensuke Koike

Imagen digital

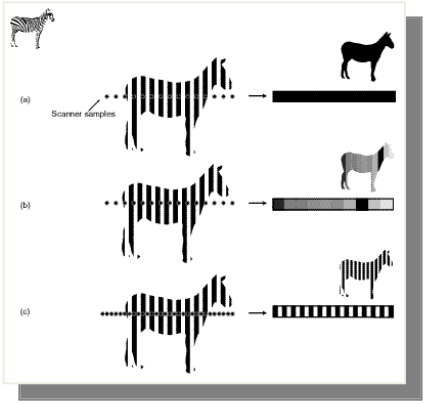
Aliasing espacial y muestreo

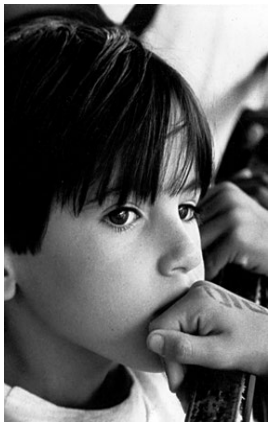


Srinath Sridhar

Imagen digital

Aliasing espacial y muestreo
Dos veces la resolución del medio utilizado para reproducir
Mayor resolución, mayor tamaño
Mayor resolución puede no aportar calidad





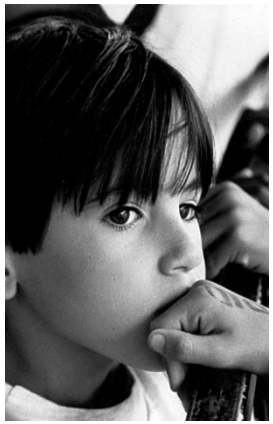


Imagen digital

Aliasing espacial

Mayor frecuencia de muestreo

Filtrados paso banda

Elimina frecuencias > ½ la frecuencia de muestreo

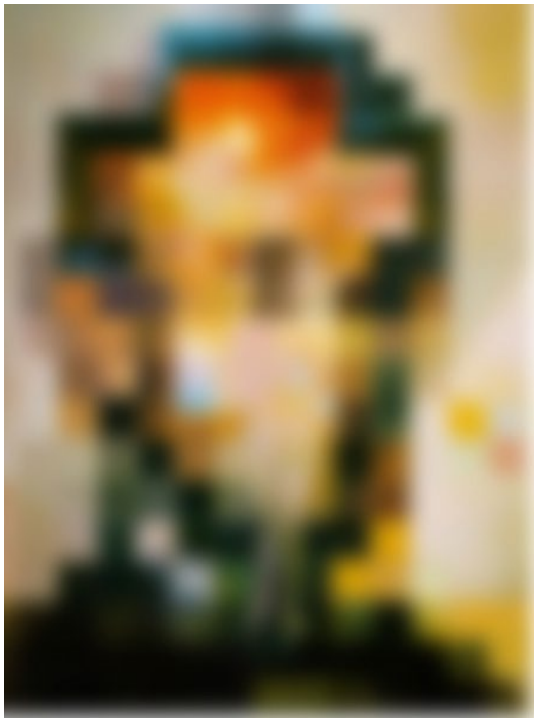
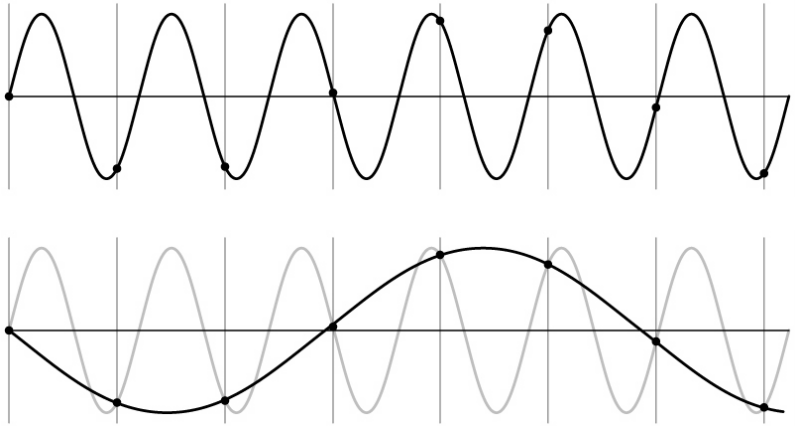


Imagen digital

Aliasing temporal y muestreo
En *t*
Señales indistinguibles



S. Marschner

Imagen digital

Matriz numérica bidimensional
Grises, un valor por píxel (0,255)
8 bits por píxel, 2^8=256 valores

```
[[  0  10  20  30  40]
 [ 50  60  70  80  90]
 [100 110 120 130 140]
 [150 160 170 180 190]
 [200 210 220 230 240]]
```

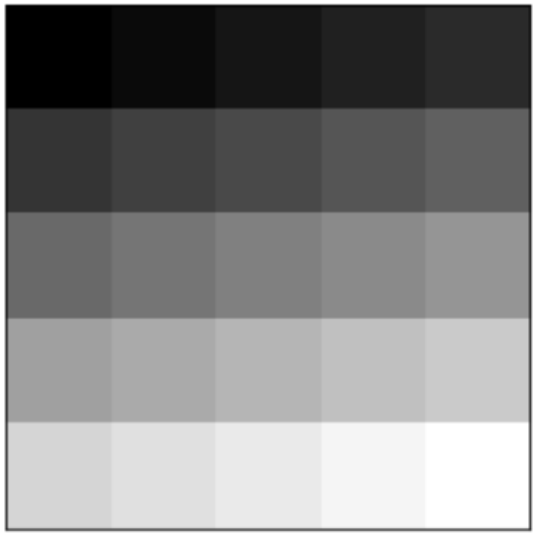


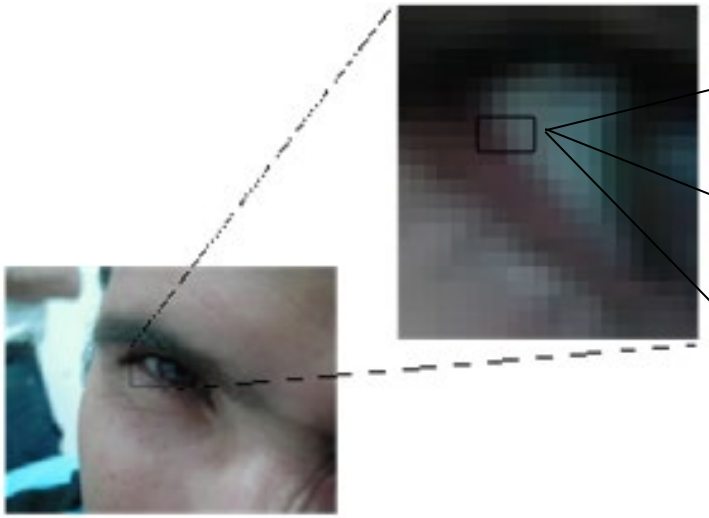
Imagen digital

Ancho y alto (resolución) del sensor
Imagen 256x256, 65536 píxeles
256^{65536} combinaciones posibles
VC, espacio de muy alta dimensión

x =	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
y =															
41	210	209	204	202	197	247	143	71	64	80	84	54	54	57	58
42	206	196	203	197	195	210	207	56	63	58	53	53	61	62	51
43	201	207	192	201	198	213	156	69	65	57	55	52	53	60	50
44	216	206	211	193	202	207	208	57	69	60	55	77	49	62	61
45	221	206	211	194	196	197	220	56	63	60	55	46	97	58	106
46	209	214	224	199	194	193	204	173	64	60	59	51	62	56	48
47	204	212	213	208	191	190	191	214	60	62	66	76	51	49	55
48	214	215	215	207	208	180	172	188	69	72	55	49	56	52	56
49	209	205	214	205	204	196	187	196	86	62	66	87	57	60	48
50	208	209	205	203	202	186	174	185	149	71	63	55	55	45	56
51	207	210	211	199	217	194	183	177	209	90	62	64	52	93	52
52	208	205	209	209	197	194	183	187	187	239	58	68	61	51	56
53	204	206	203	209	195	203	188	185	183	221	75	61	58	60	60
54	200	203	199	236	188	197	183	190	183	196	122	63	58	64	66
55	205	210	202	203	199	197	196	181	173	186	105	62	57	64	63

Imagen digital

Color, tres matrices/planos
Tres valores por píxel
24 bits por píxel, 2^{24}=65536 valores
RGB u otros espacios (HSV)
Imagen 256x256
65536^{65536} combinaciones posibles
Aún mayor dimensión



R

44	57	72	77
50	56	72	78

G

37	59	81	93
38	50	74	89

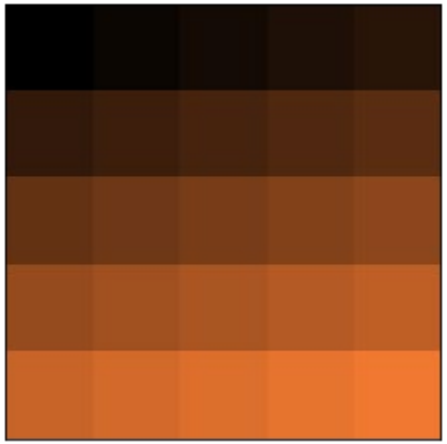
B

40	62	85	97
42	55	79	94

Imagen digital

```
[[  0  10  20  30  40]
 [ 50  60  70  80  90]
 [100 110 120 130 140]
 [150 160 170 180 190]
 [200 210 220 230 240]]
[[  0   5  10  15  20]
 [ 25  30  35  40  45]
 [ 50  55  60  65  70]
 [ 75  80  85  90  95]
 [100 105 110 115 120]]
[[ 0  2  4  6  8]
 [10 12 14 16 18]
 [20 22 24 26 28]
 [30 32 34 36 38]
 [40 42 44 46 48]]
```

Color



Planos de color

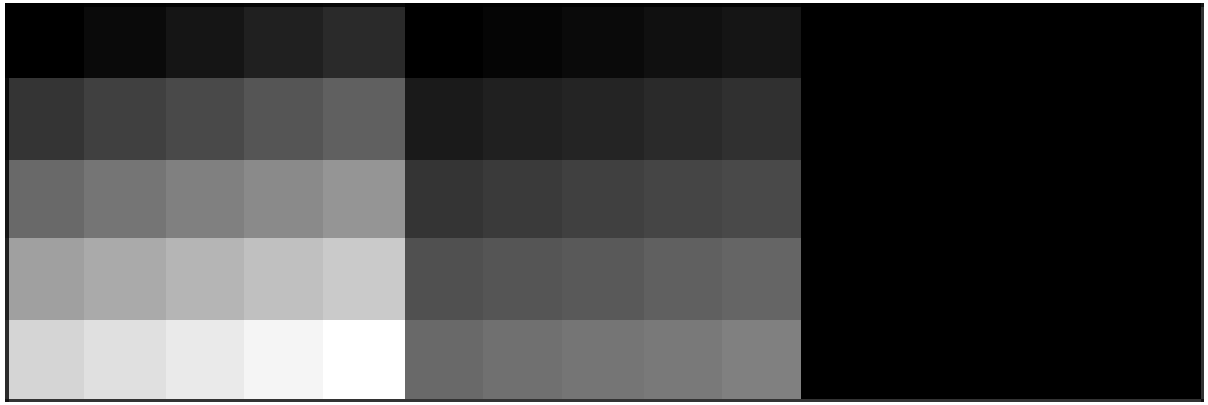


Imagen digital

Color a niveles de gris

- Promedio

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

- Estándar BT.601

$$gris = 0.299 * \mathrm{R} + 0.587 * \mathrm{G} + 0.114 * \mathrm{B}$$

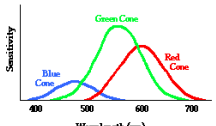
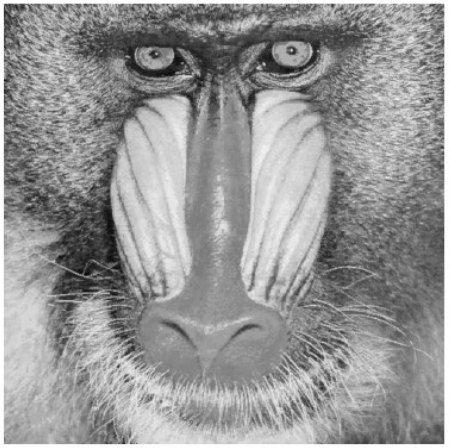
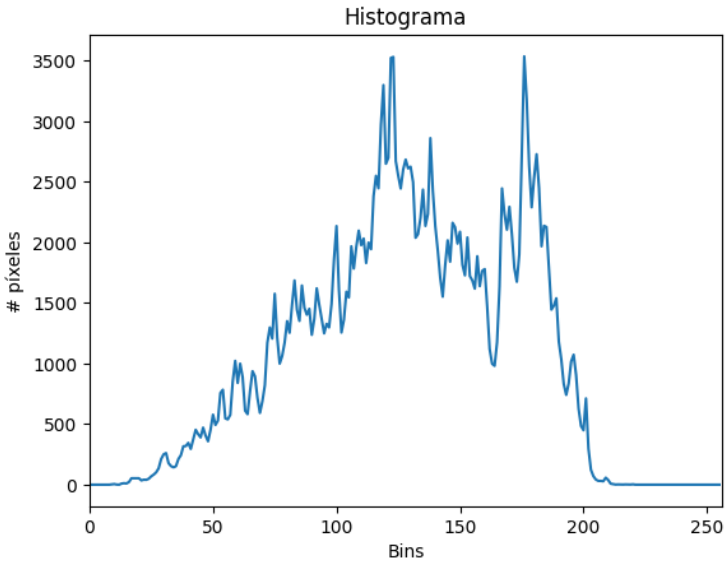


Imagen digital

Histograma de una imagen
Distribución intensidades de píxeles
Normalizar





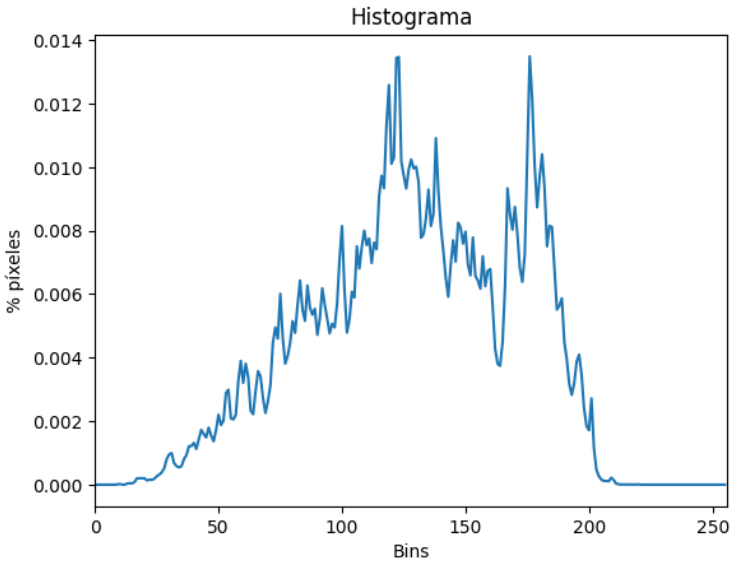
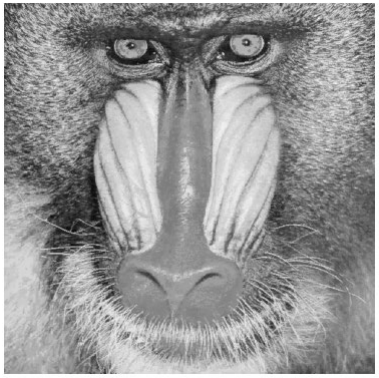
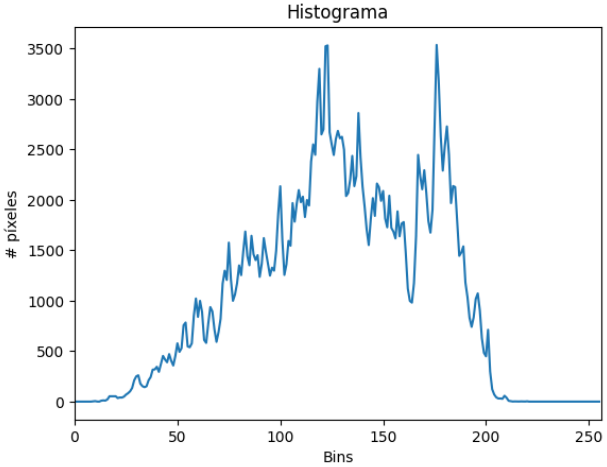


Imagen digital



Histograma de una imagen

```
#histograma en escala de grises
hist = cv2.calcHist([gris], [0], None, [256], [0, 256]))
plt.figure()
plt.title("Histograma")
plt.xlabel("Bins")
plt.ylabel("# píxeles")
plt.plot(hist)
plt.xlim([0, 256])
hist /= hist.sum() #normaliza
```



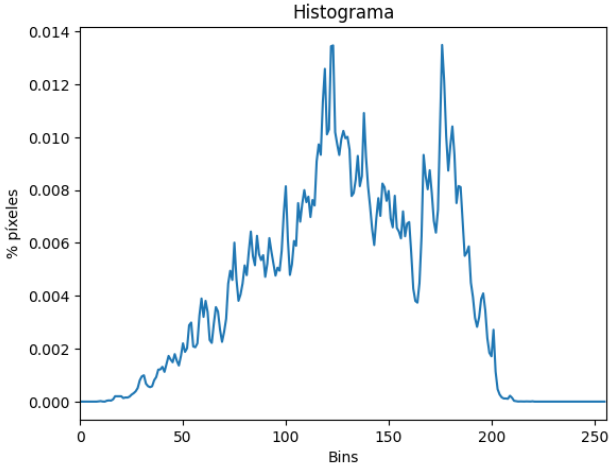
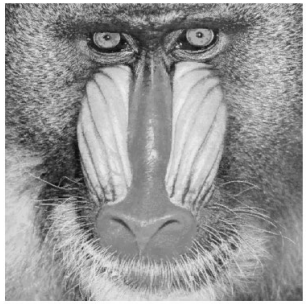
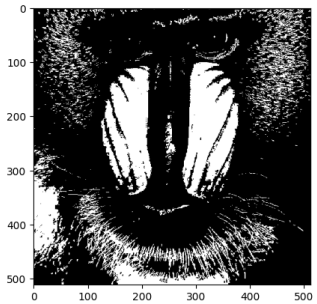


Imagen digital



Histograma de una imagen
Umbralizado

```
from scipy.signal import find_peaks

#Convierte en vector fila
hist = hist.flatten()

#Máximos locales, ordena índices por valor
picos, _ = find_peaks(hist, distance=20)
picos_ordenados = sorted(picos, key=lambda x: hist[x],
 reverse=True)

pico1, pico2 = picos_ordenados[:2]
#Busca mínimo (valor de gris) entre picos
if pico2 < pico1:
    pico1, pico2 = pico2, pico1
valle = np.argmin(hist[pico1:pico2]) + pico1

#Umbraliza con posición del mínimo
res, imagenUmbralizada = cv2.threshold(gris, valle, 255, cv2.THRESH_BINARY)
plt.imshow(imagenUmbralizada, cmap='gray')
plt.show()
```



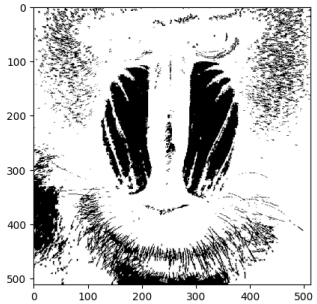
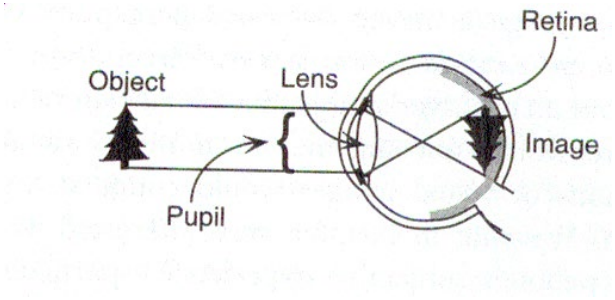
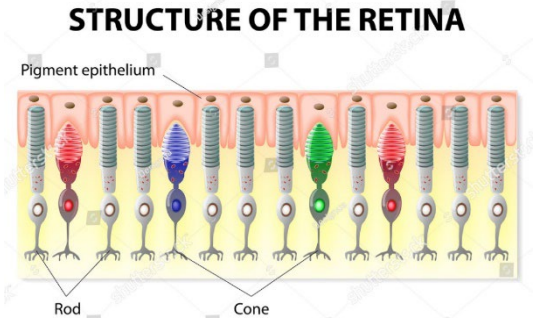
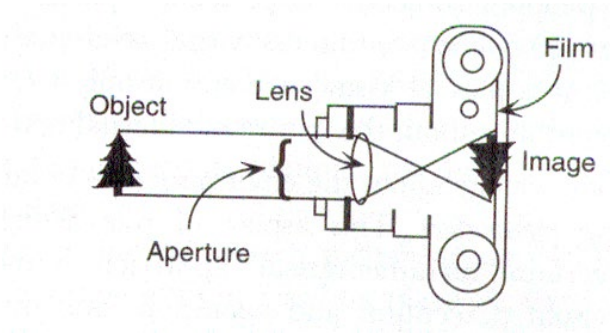


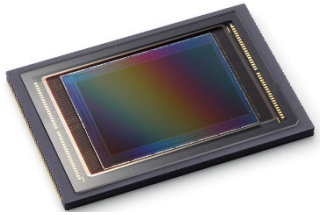
Imagen digital

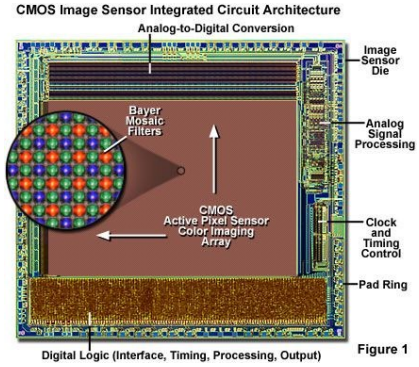
Captura de la imagen
Convierte imagen óptica a eléctrica
Formación de la imagen







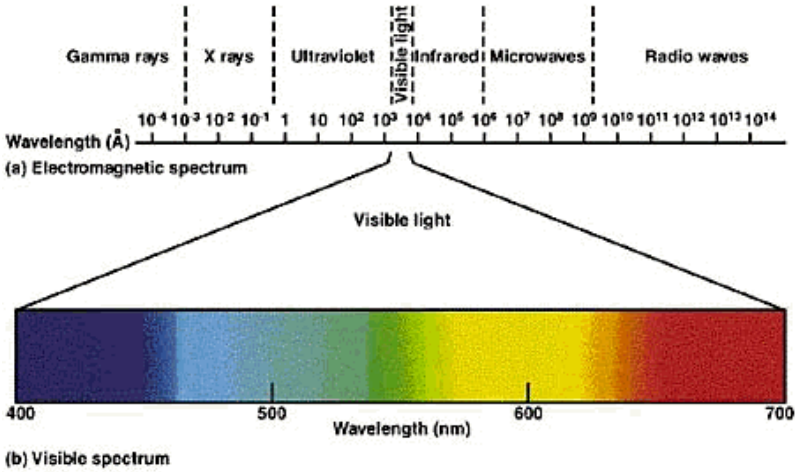




Sensores

Luz emitida
Refleja en superficies
Atraviesa la lente
Llega al sensor

Rango visible

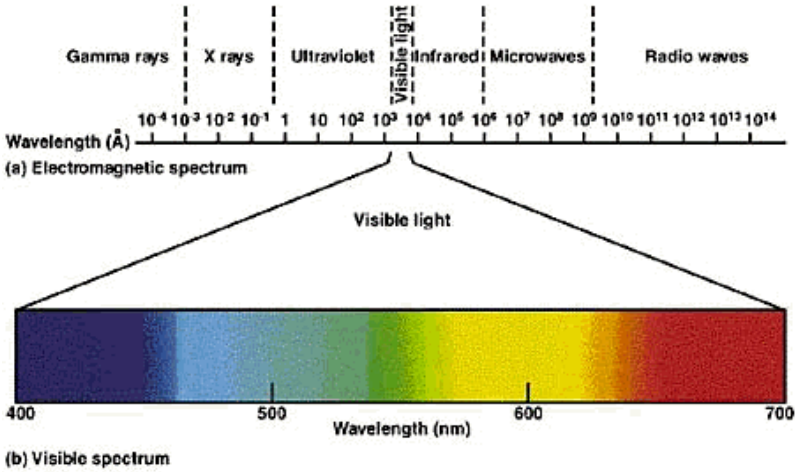


400 - 700 nm

Sensores

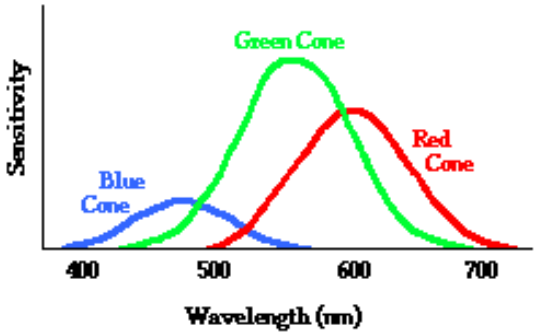
Luz emitida
Refleja en superficies
Atraviesa la lente
Llega al sensor

Rango visible



400 - 700 nm

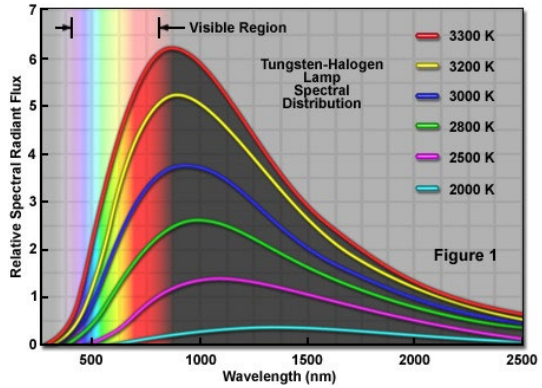
Distribución y sensibilidad receptores del ojo humano

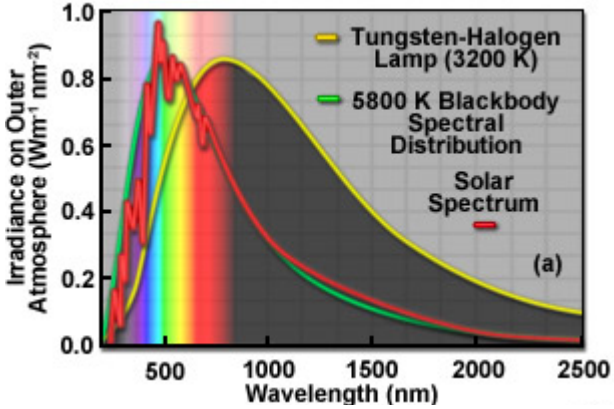


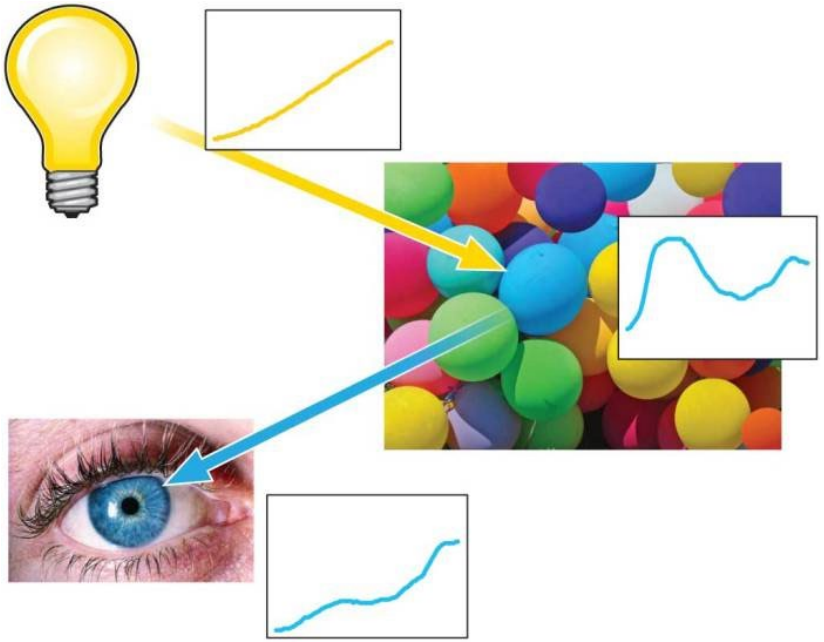
Sensores

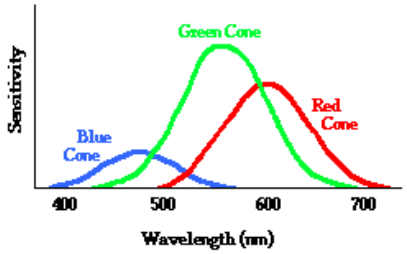
Color del objeto depende de:

- espectro de reflectancia
- luz
- sensor





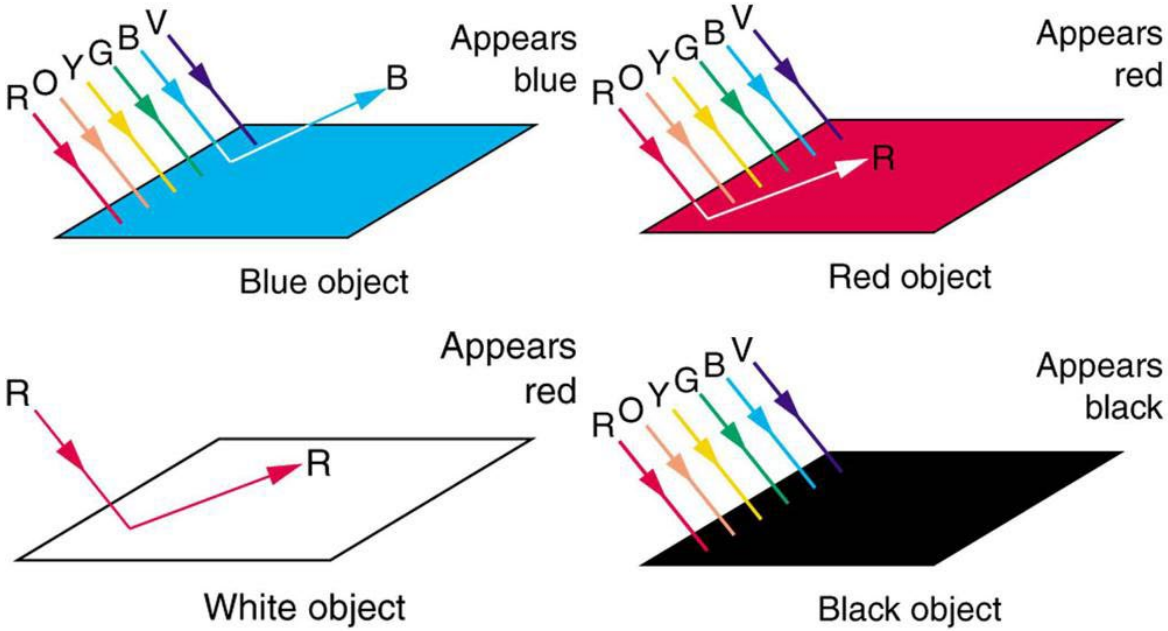




Sensores

Color del objeto depende de:

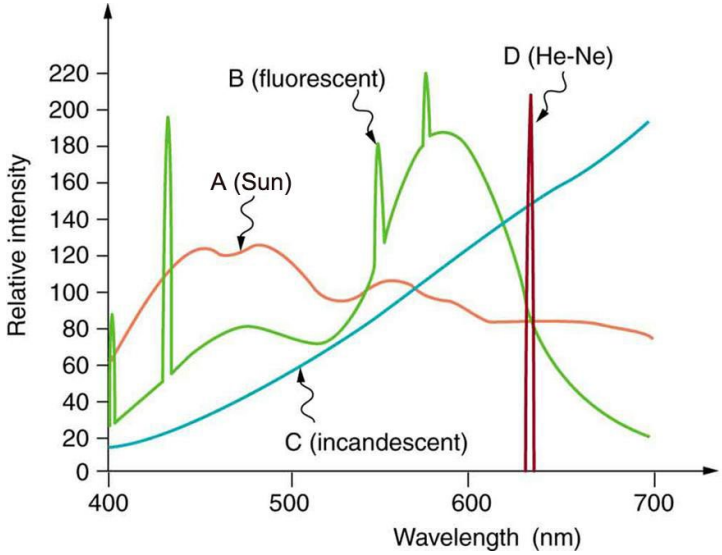
- **espectro de reflectancia**
- luz
- sensor



Sensores

Color del objeto depende de:

- espectro de reflectancia
- **luz**
- sensor

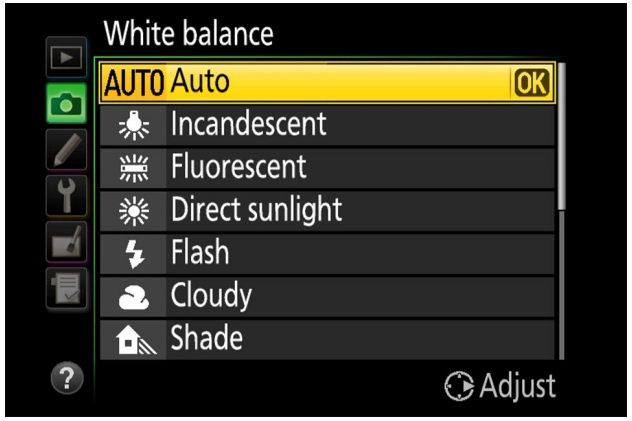


Sensores

Color del objeto depende de:

- espectro de reflectancia
- luz
- sensor

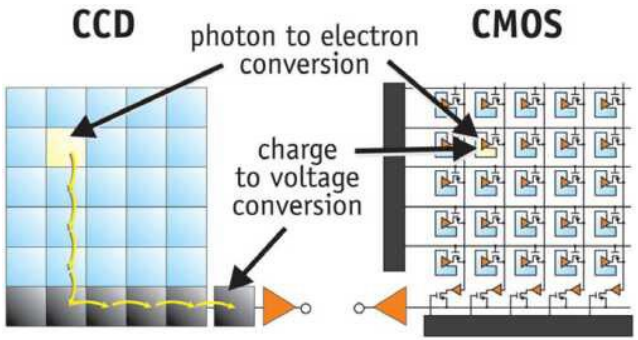
Corrección mediante balance de blancos (*White Balance*)



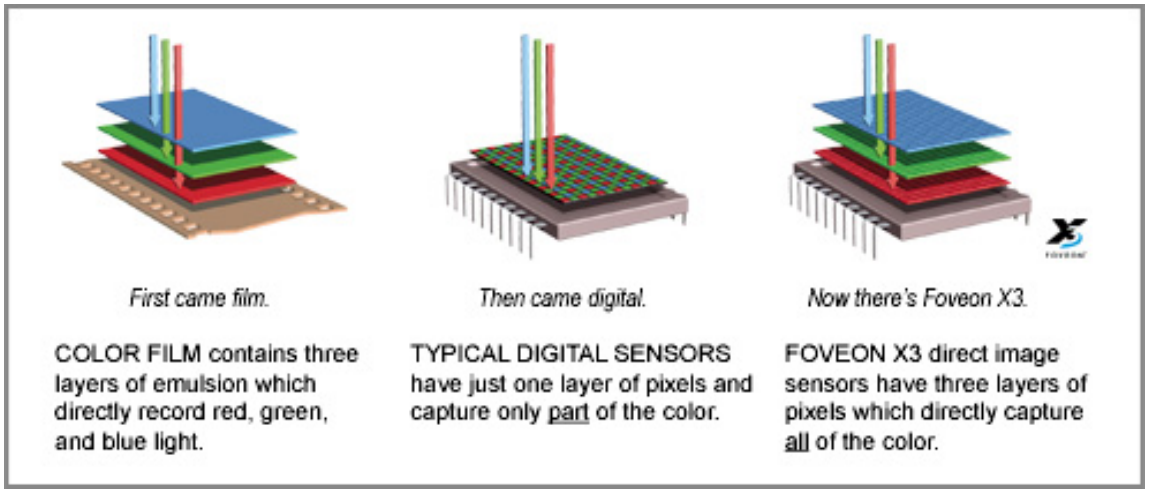
Sensores

Tecnologías principales adquisición:

- Charge Coupled Device (CCD)
- CMOS Sensor (CMOS)



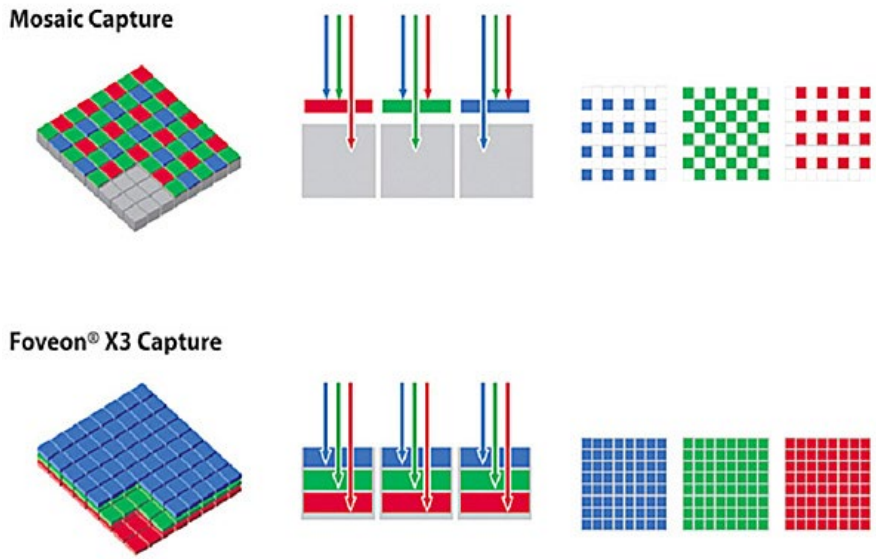
Szeliski



Sensores

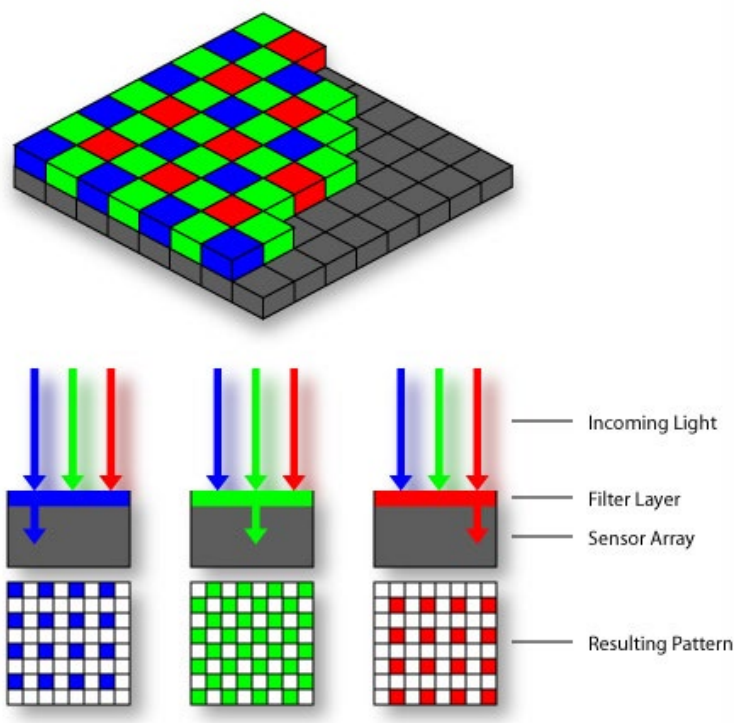
Tecnologías principales adquisición:

- Charge Coupled Device (CCD) + caro, + consumo, IR
  Rejilla de Bayer
- CMOS Sensor (CMOS) + frecuente
  Rejilla de Bayer y Foveon X3



Sensores

Rejilla de Bayer
Filtros de color del sensor
Interpola con vecindad componentes no presentes



Sensores

Rejilla de Bayer
+ verde por su mayor influencia en la luminancia

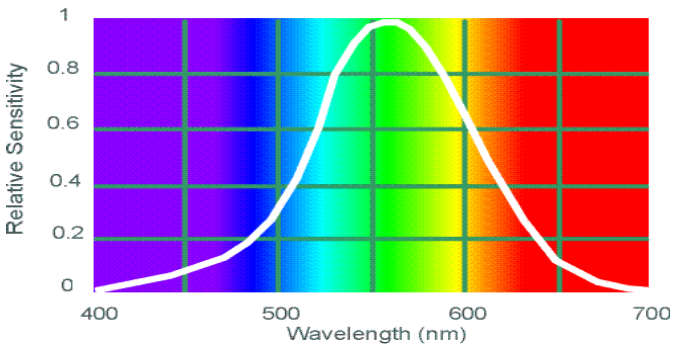
G	R	G	R
B	G	B	G
G	R	G	R
B	G	B	G

(a)

rGb	Rgb	rGb	Rgb
rgB	rGb	rgB	rGb
rGb	Rgb	rGb	Rgb
rgB	rGb	rgB	rGb

(b)

Szeliski

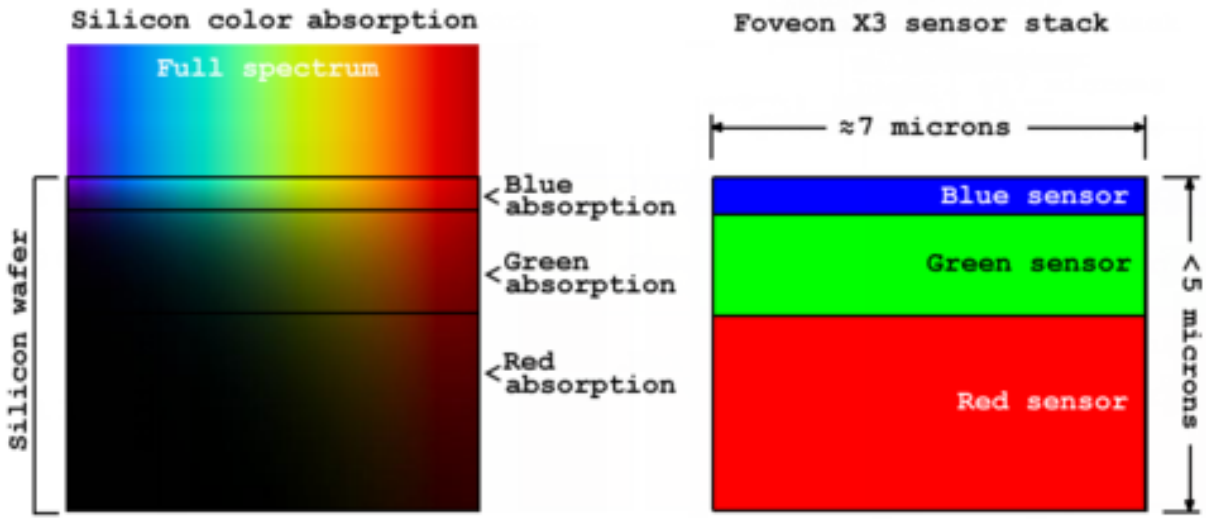


Human Luminance Sensitivity Function

Steve Seitz

Sensores

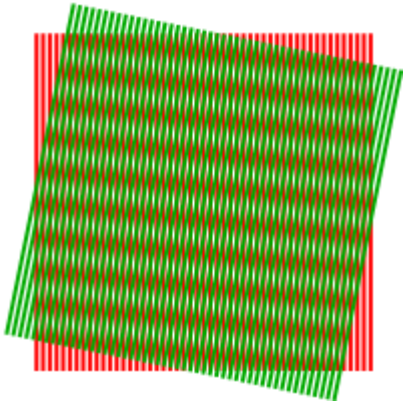
CMOS (Foveon)
Distintas longitudes de onda, distinta penetración en Silicio
Sin interpolación ¿más calidad?

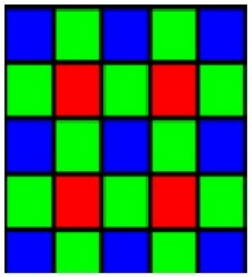


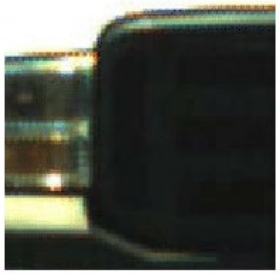
Sensores

Problemas:

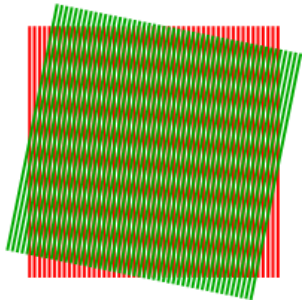
- Ruido
- Resolución
- Procesamiento en sensor
- Falsos colores
- Aberraciones cromáticas
- *Raw* vs. comprimido (calidad y tamaño)
- Balance de blanco



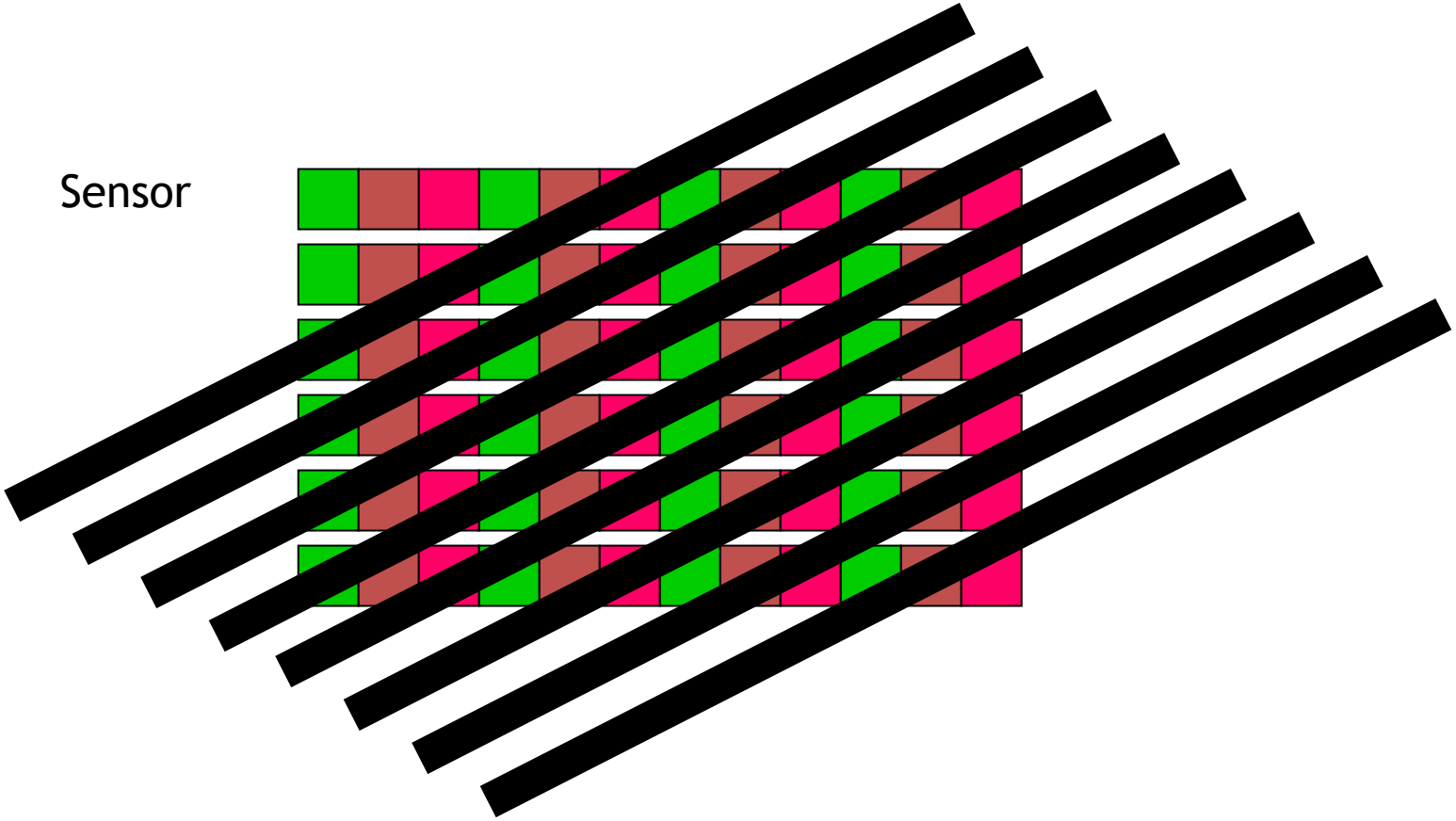




Sensores



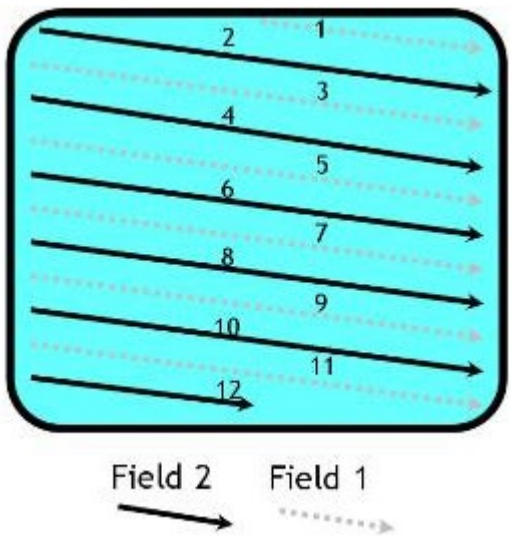
Moiré



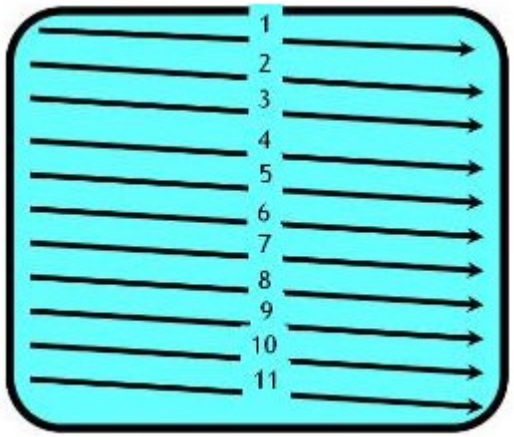
Sensores

Entrelazado vs progresivo

Captura alternativamente líneas pares – impares
Bajo ancho de banda TV analógica (siglo XX)
Doblar frecuencia con mismo ancho de banda
Humanos no detectan efecto (fenómeno Phi)



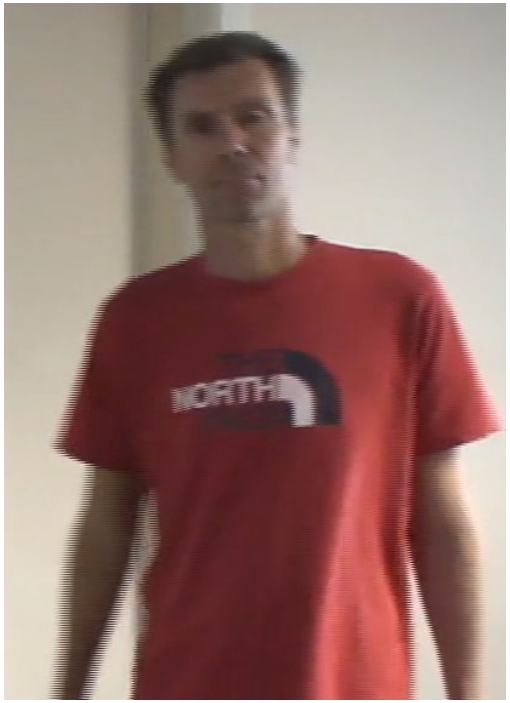
Entrelazado



Progresivo

Sensores

Entrelazado vs Progresivo

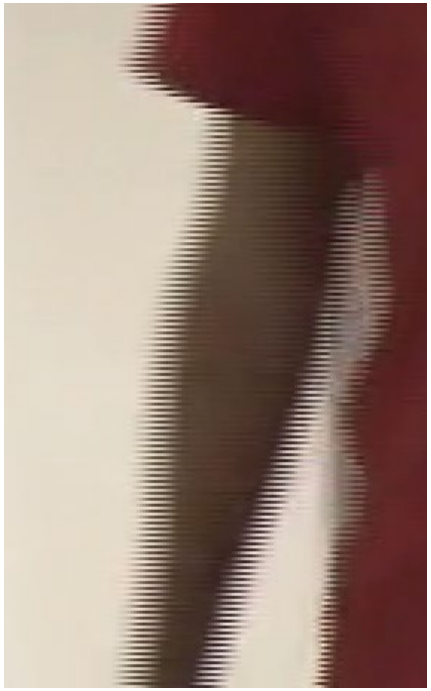


Sensor entrelazado

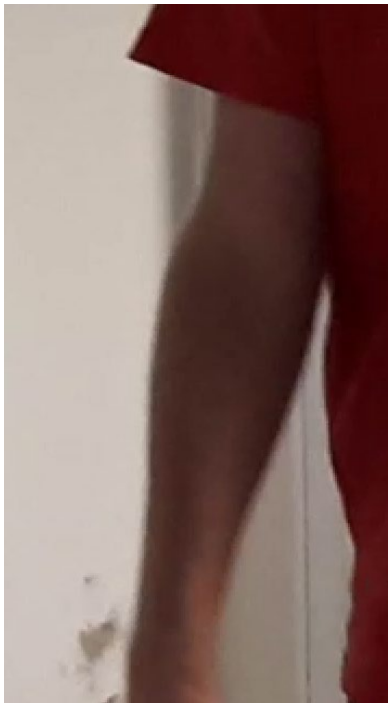
Sensor Progresivo

Sensores

Entrelazado vs Progresivo



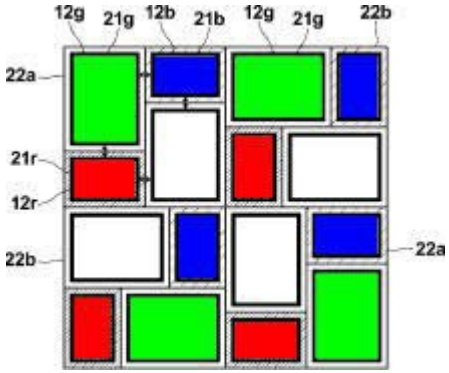
Sensor entrelazado



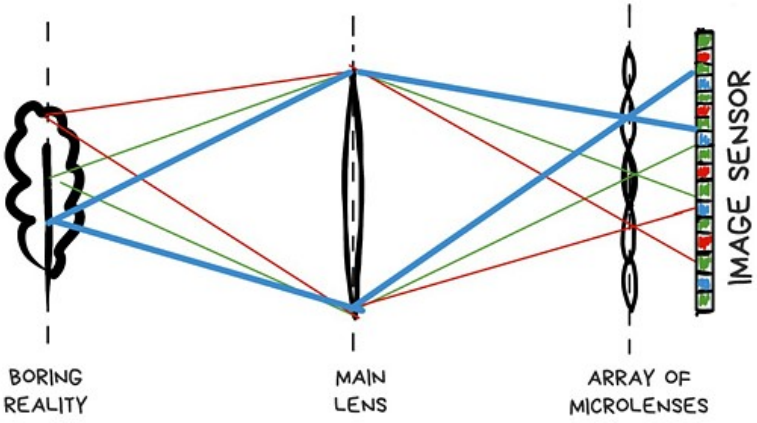
Sensor Progresivo

Sensores

Búsqueda de mejores sensores

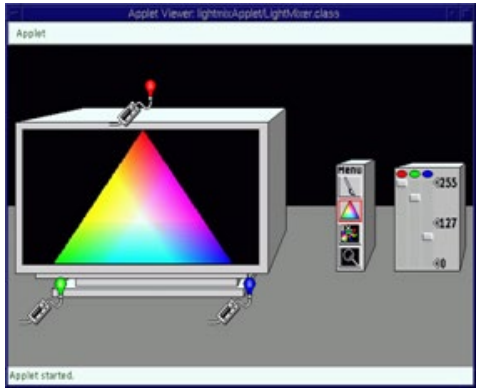


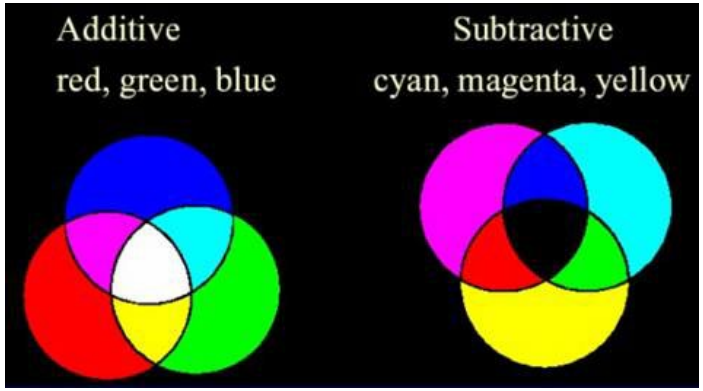
Cámaras plenópticas
De campo de luz
Integran microlentes
Work in progress

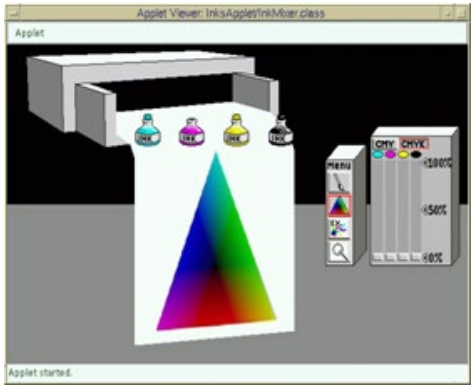


Representación

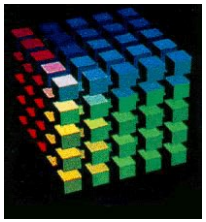
Espacios de color
Habitual tres colores primarios
Aditivo/sustractivo





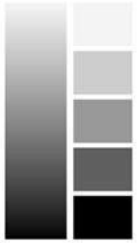


Representación

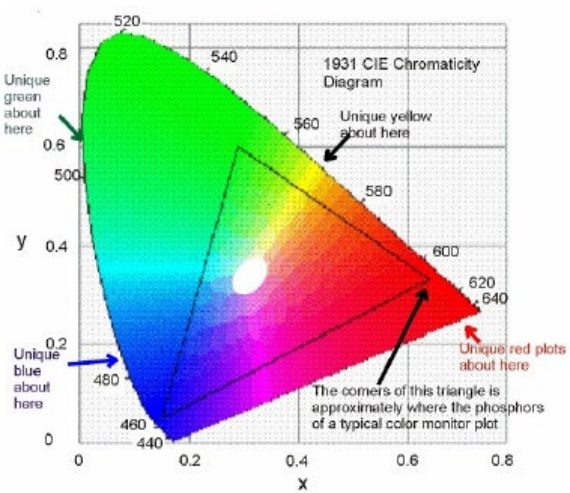


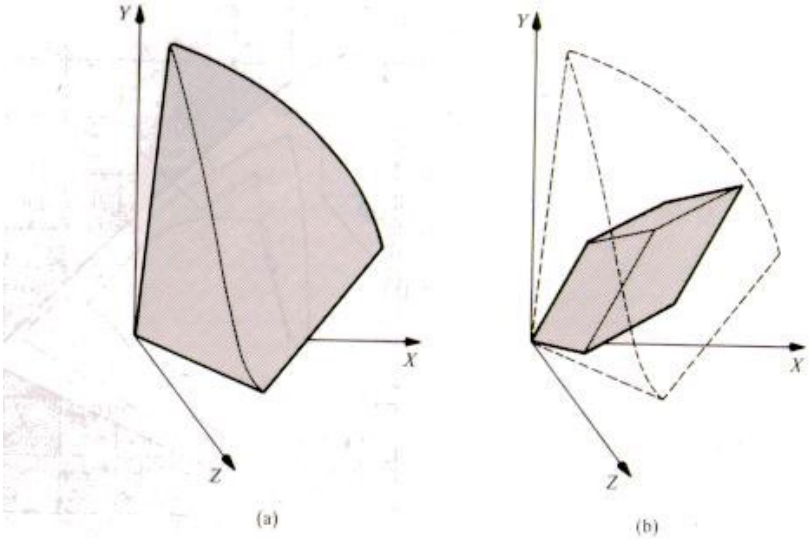
Espacios de color

- RGB
- HSV
- CIE
- YCbCr
- L*a*b*



Perceptualmente uniforme



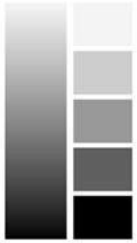


Representación

Espacios de color

HSV perceptualmente uniforme

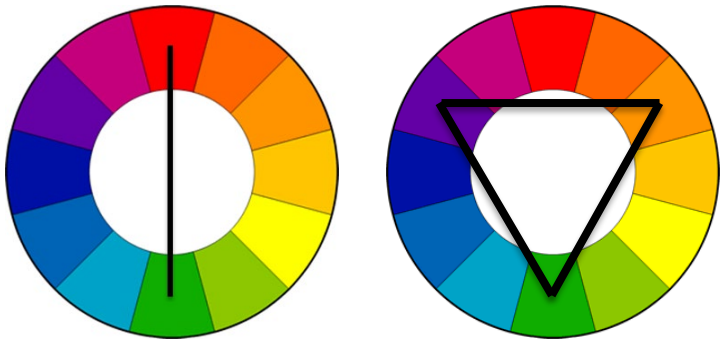
OpenCV: H (0-179), S y V (0-255)

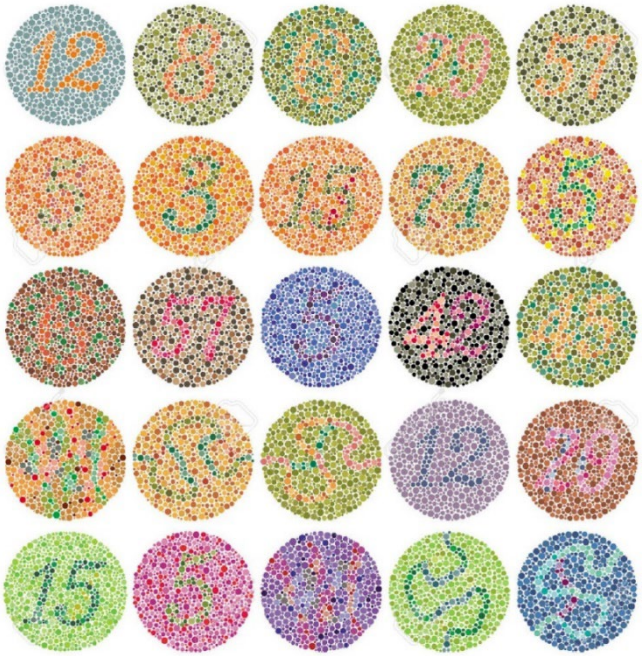


```
img = cv2.imread('mandril.jpg’)
#Convierte a RGB y HSV
imgrgb = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2RGB)
imghsv = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
#Separa zonas rojas
mask1 = cv2.inRange(imghsv, (0, 120, 70), (10, 255, 255))
mask2 = cv2.inRange(imghsv, (170, 120, 70), (180, 255, 255))
imagenEnRango = cv2.bitwise_and(imgrgb, imgrgb, mask=mask1 + mask2)

#Muestra resultado
plt.figure()
plt.imshow(imagenEnRango)
plt.axis("off")
plt.show()
```

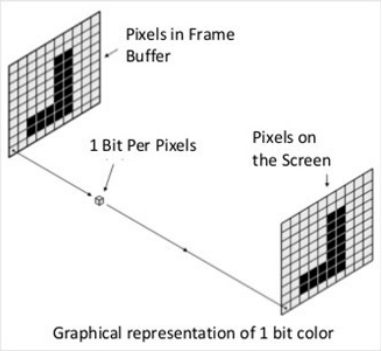
Representación

Armonía
Psicología
Accesibilidad
Patrones de color
Gran información en intensidad (grises)





Representación



Dispositivos gráficos

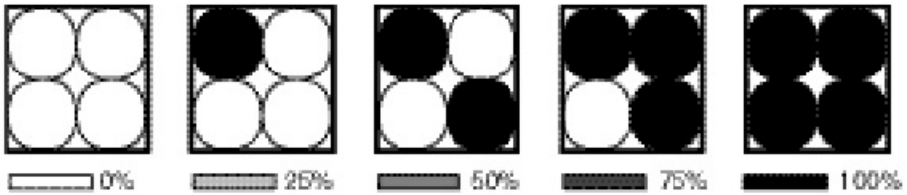
Inicialmente monocromático

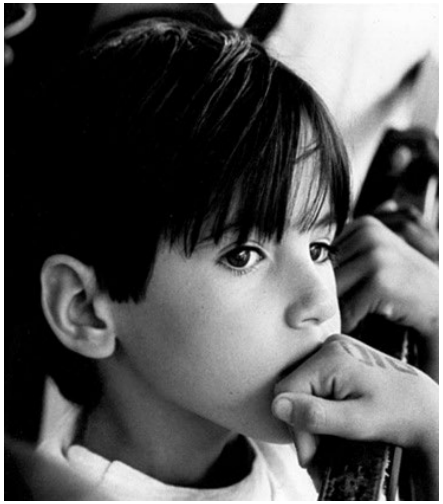
Dos tonos

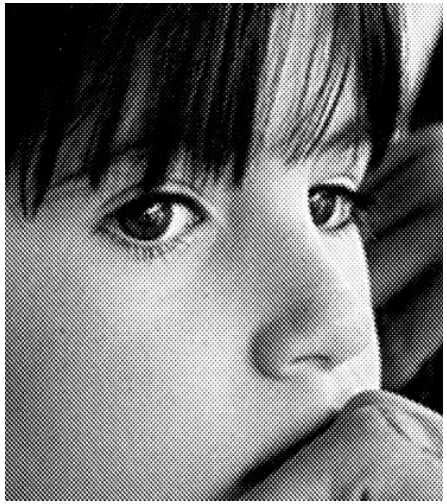
Medios tonos

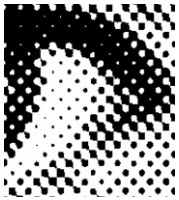
Dithering

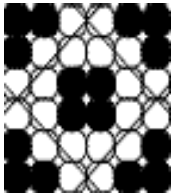
Impresora tinta negra











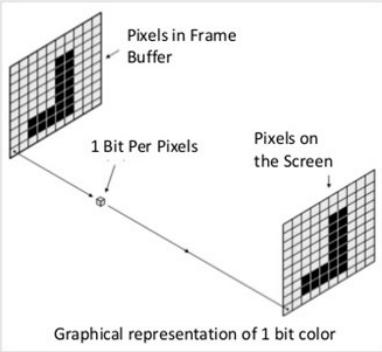
Representación

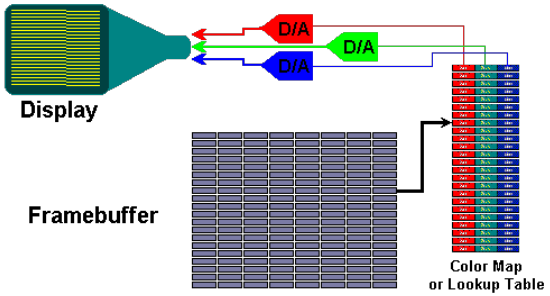
Dispositivos gráficos

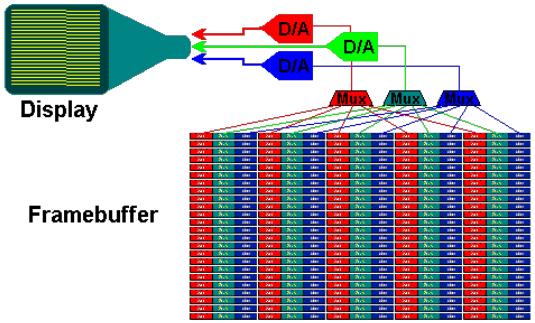
Inicialmente monocromático

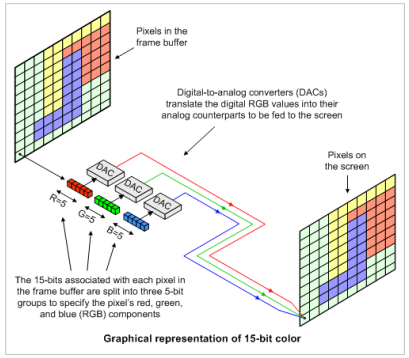
Tabla/mapas de color o codificación directa

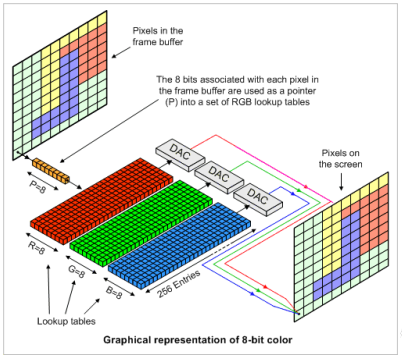
Inicios con pocos bits por píxel





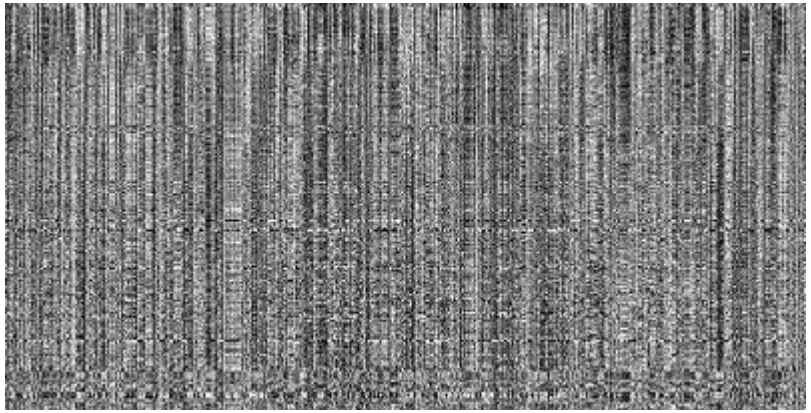


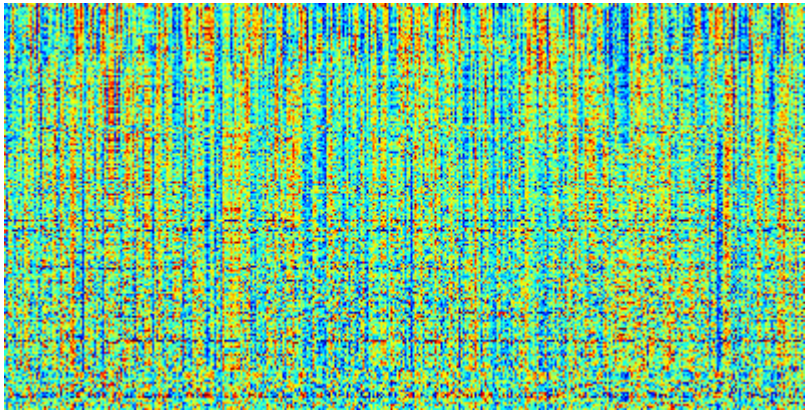




Representación

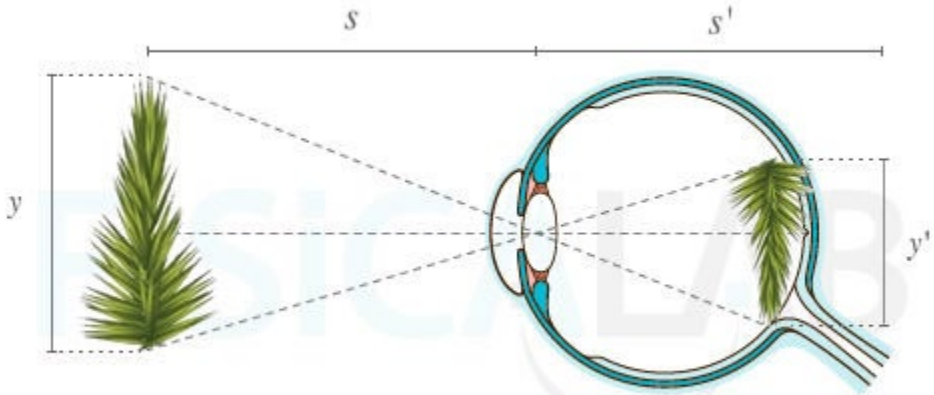
Mapas de color
Color indexado
Mapa de color *jet* con 256 valores

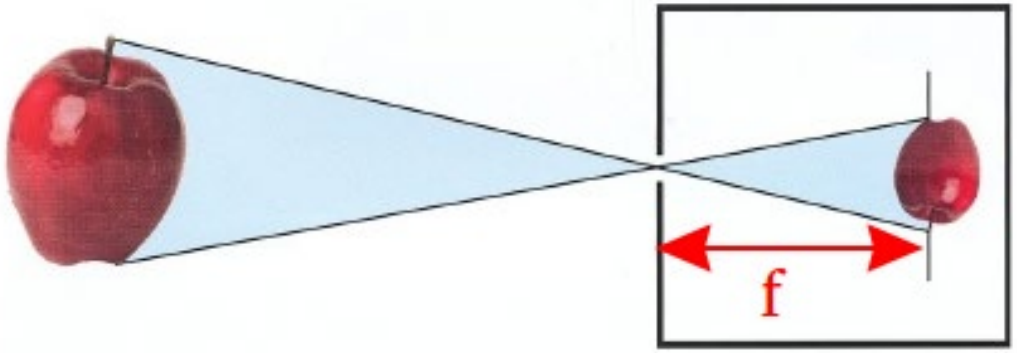




¿Cómo se captura?

La creación de la imagen

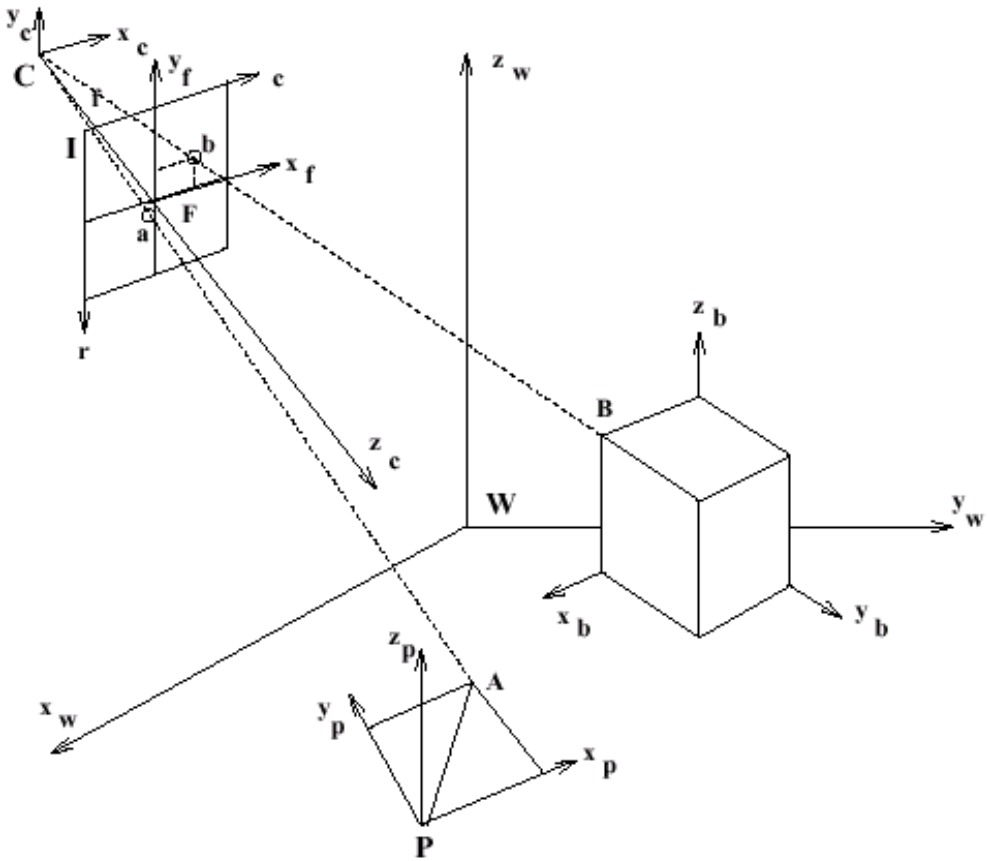




Pinhole Camera

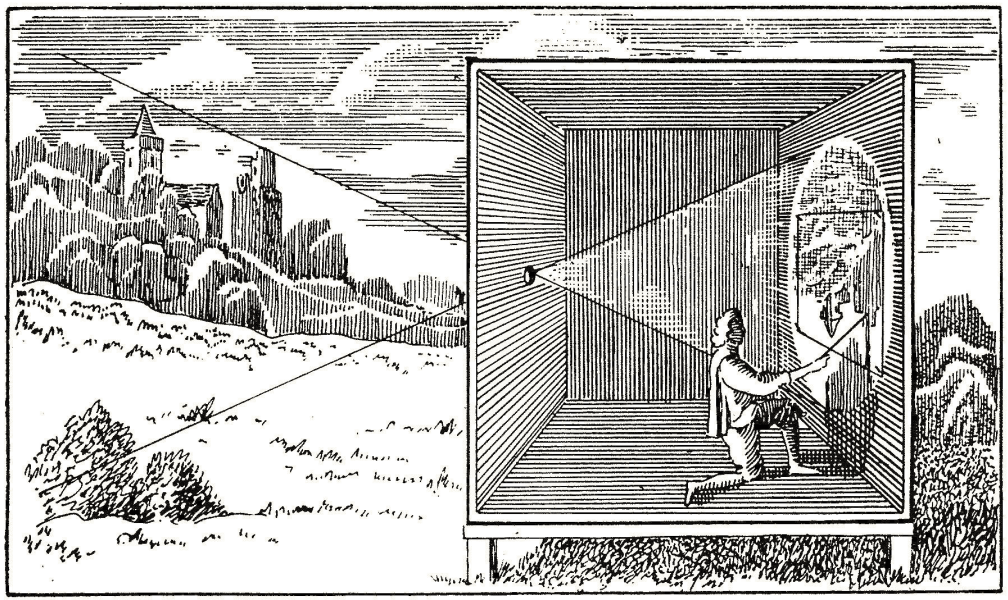
¿Cómo se captura?

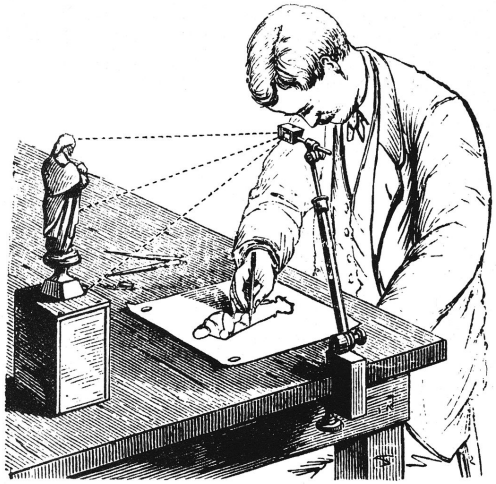
Creación de la imagen



¿Cómo se captura?

Camera obscura
Camera lucida

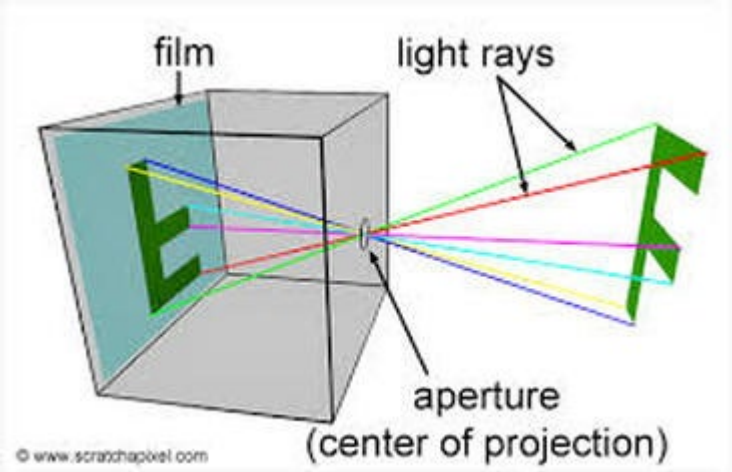


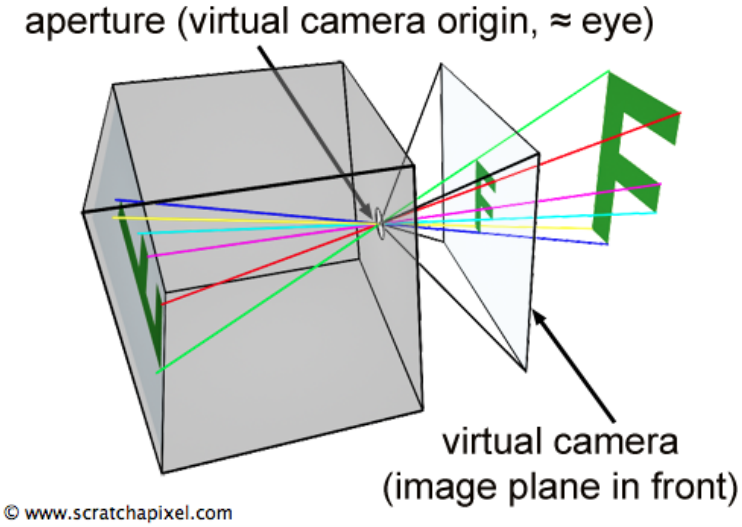


Tim's Vermeer

Modelo de cámara

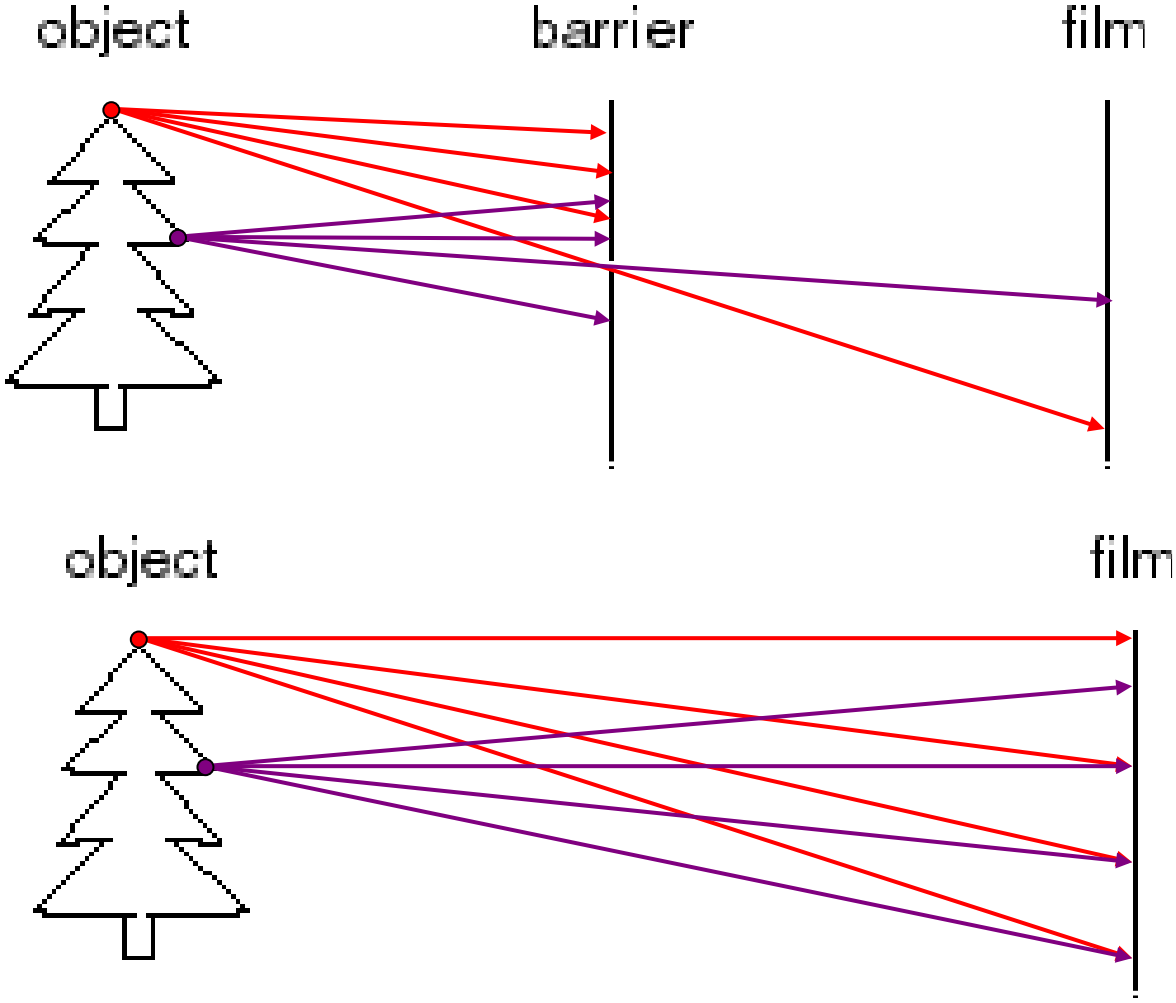
Caja con agujero/abertura (*pin hole*)
Haz de rayos a través del agujero (centro de proyección)
Modelo simple
Imagen invertida sobre plano imagen
Imagen virtual (no invertida)

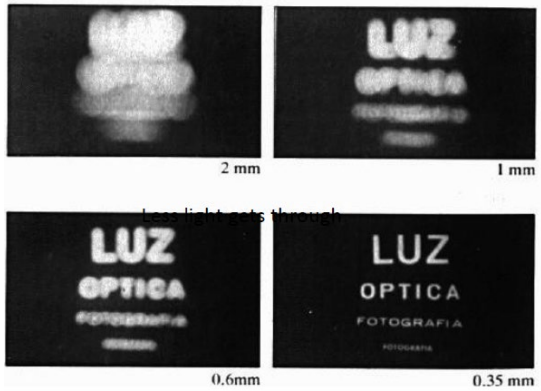




Modelo de cámara

Abertura: nitidez de la imagen resultante





Steve Seitz

Modelo de cámara

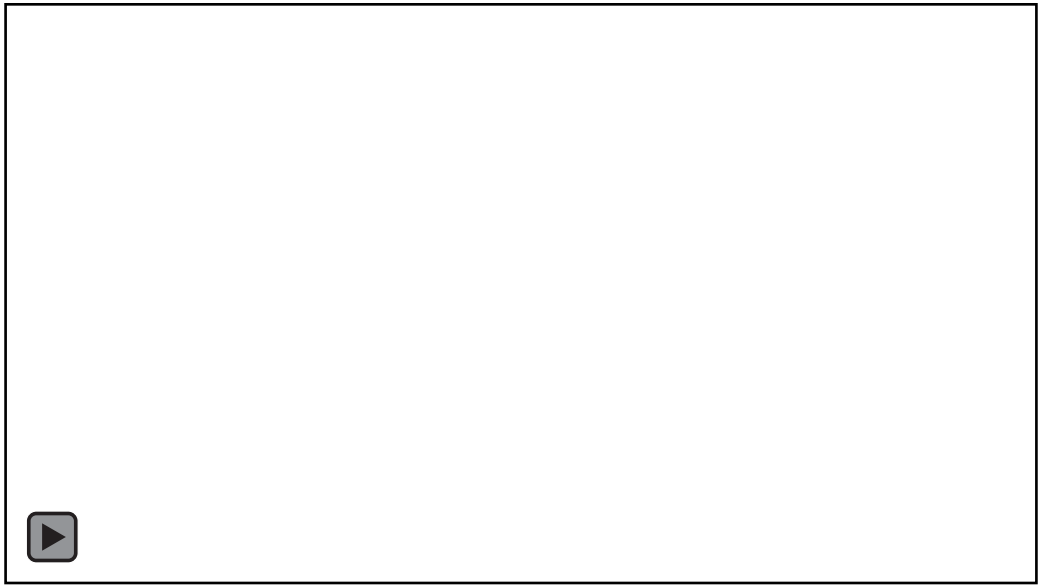
Proyectar elimina información
Una vista entre infinitas

Julian Beever

Modelo de cámara

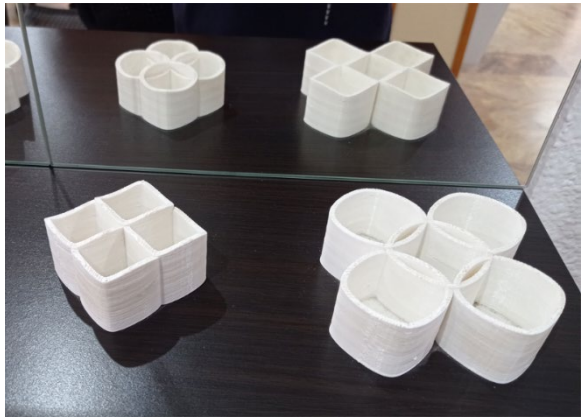
Proyectar elimina información

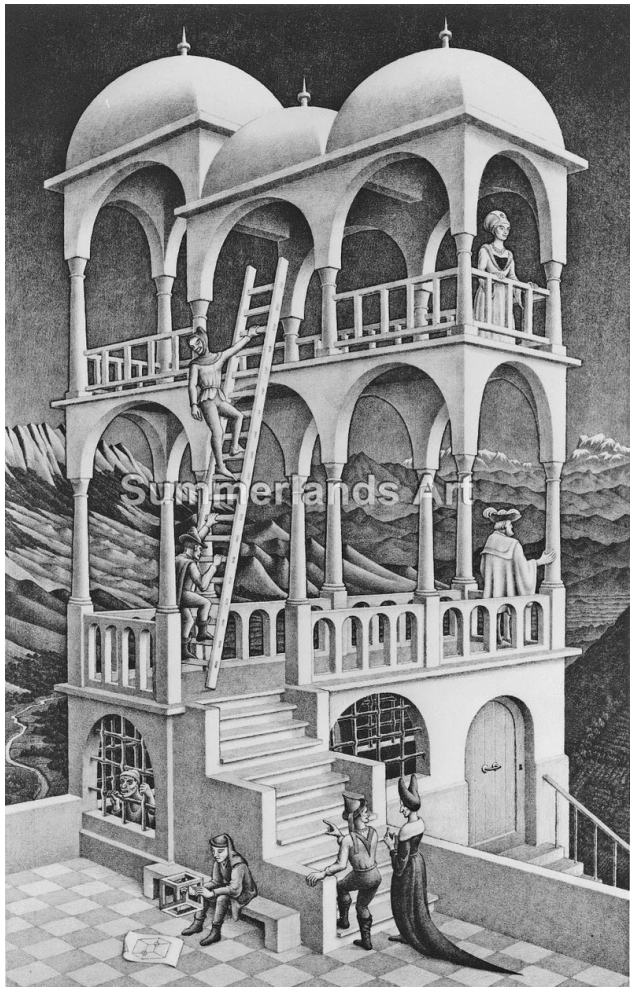
Una vista entre infinitas



Modelo de cámara

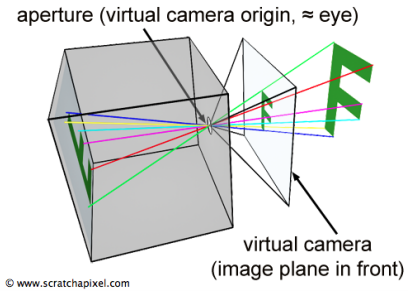
Proyectar elimina información
Una vista entre infinitas



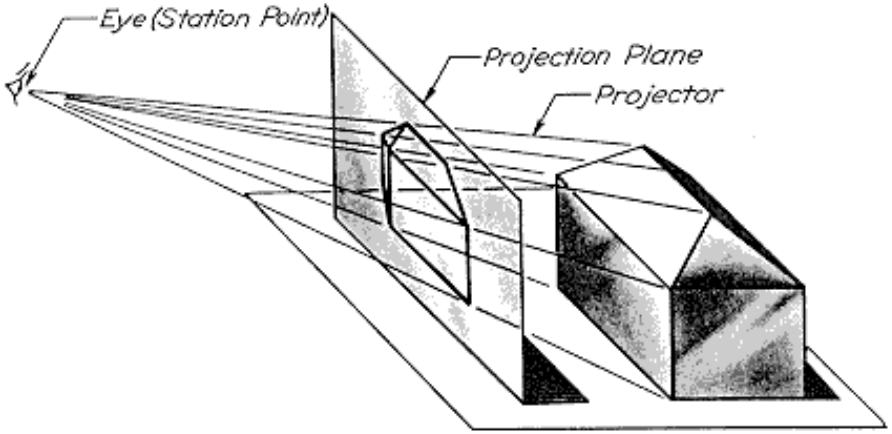


MC Escher, Belvedere

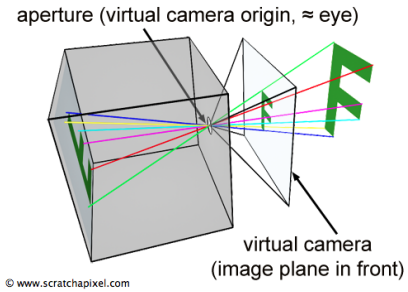
Modelo de cámara



Transformación de 3D a 2D
Equivalente a proyección
¿Cómo formalizar la proyección?
Perspectiva, objetos más alejados se aprecian menores

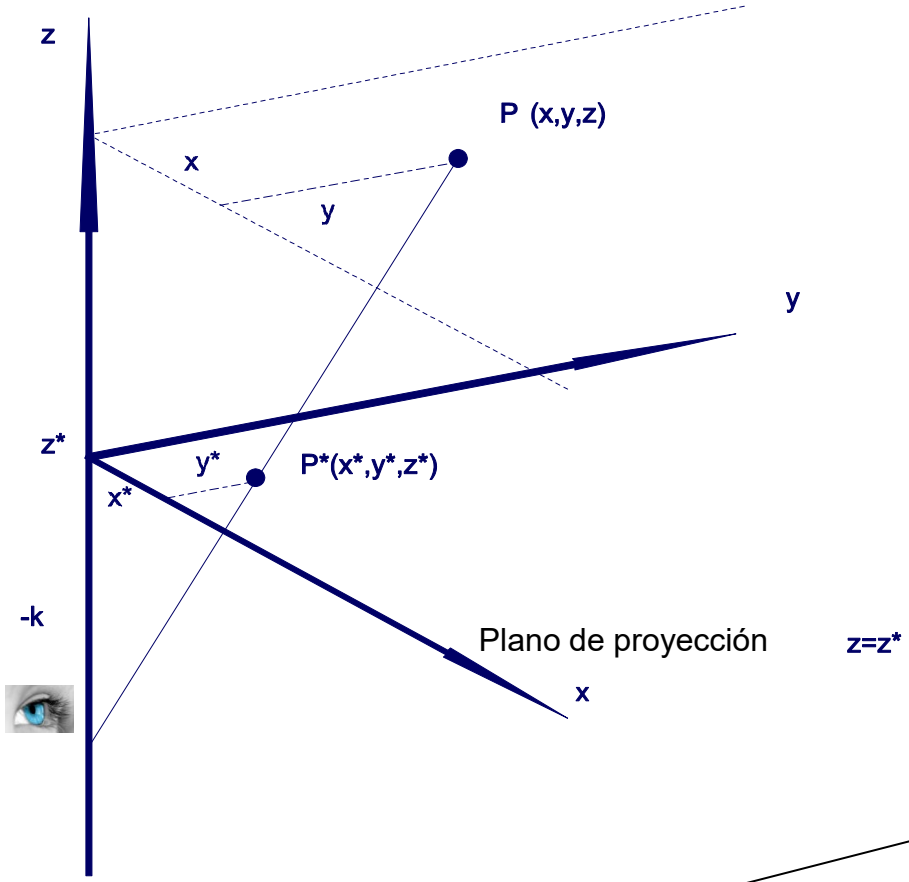


Modelo de cámara



Perspectiva, objetos alejados menores

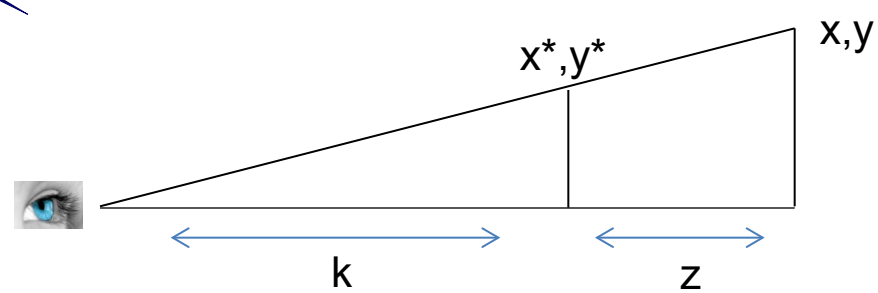
Focal



Si z*=0, por triángulos semejantes:

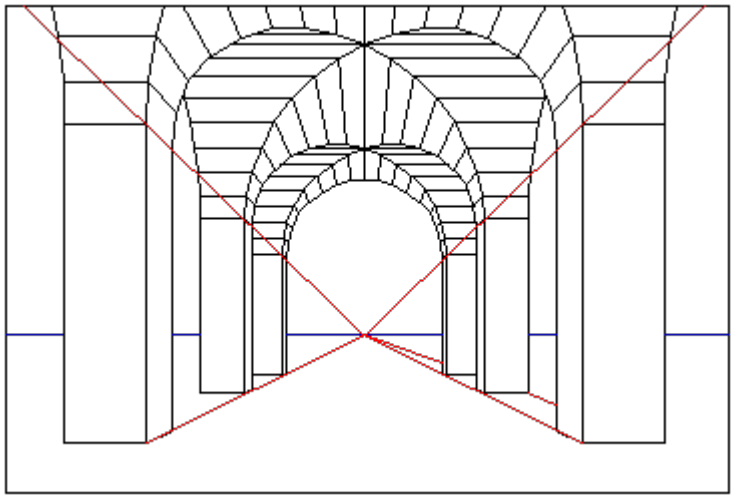
$$\frac{y^*}{k} = \frac{y}{k+z} \Rightarrow y^* = \frac{y}{1+\frac{z}{k}}$$

$$\frac{x^*}{k} = \frac{x}{k+z} \Rightarrow x^* = \frac{x}{1+\frac{z}{k}}$$

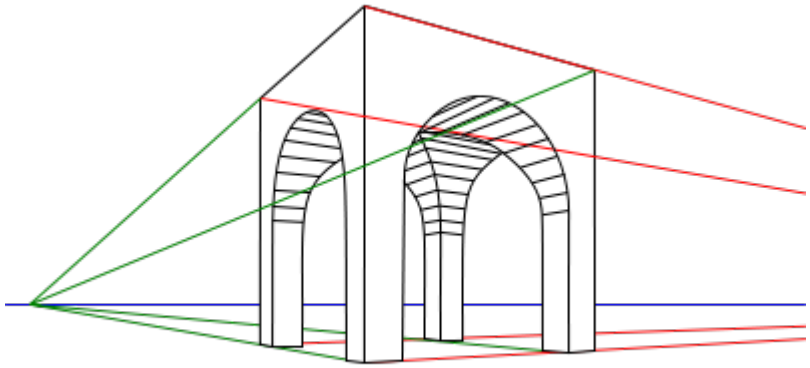


Modelo de cámara

Perspectiva, objetos alejados menores
Paralelas y puntos de fuga



Wolfram Gothe



Wolfram Gothe

Modelo de cámara

Perspectiva y distancia

Modelo de cámara

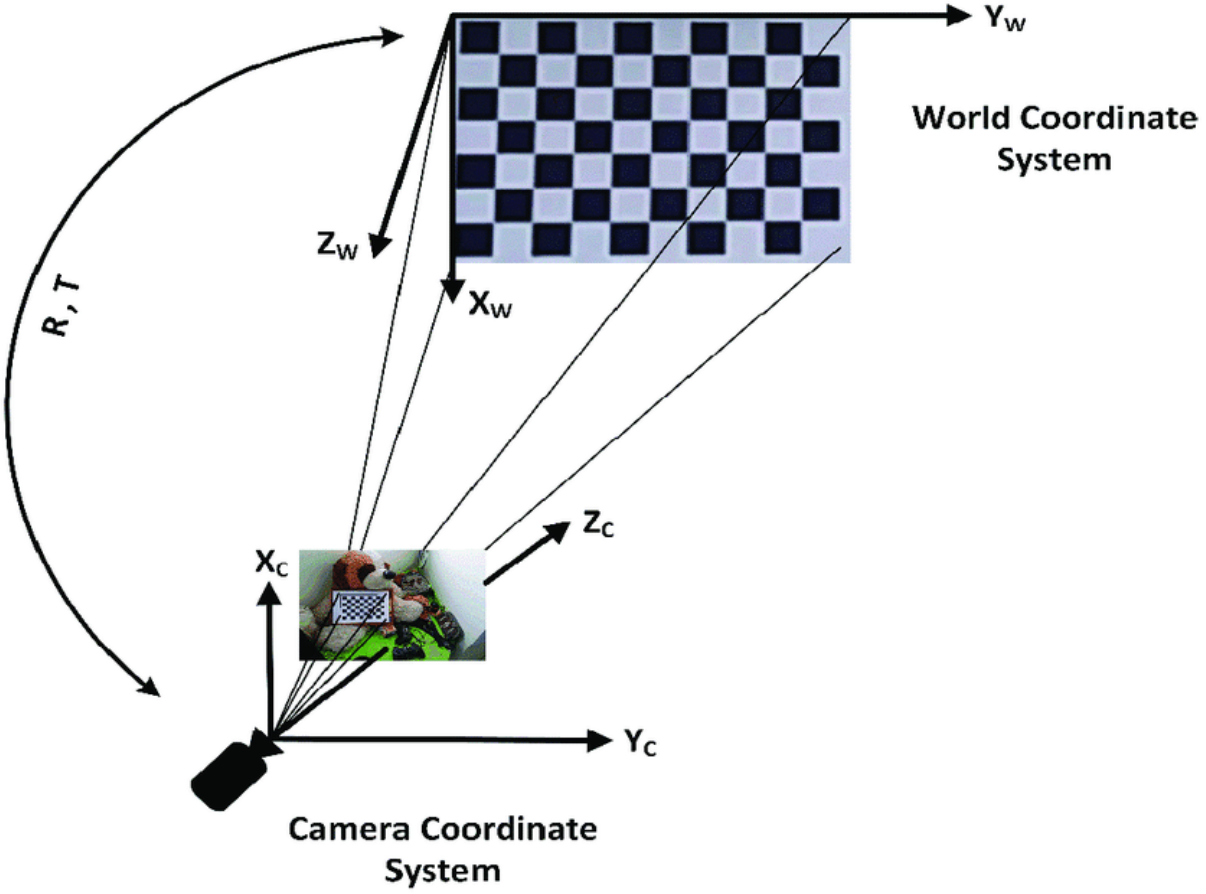
Focal y retratos

Modelo de cámara

Coordenadas imagen, cámara, mundo

Parámetros de cámara:

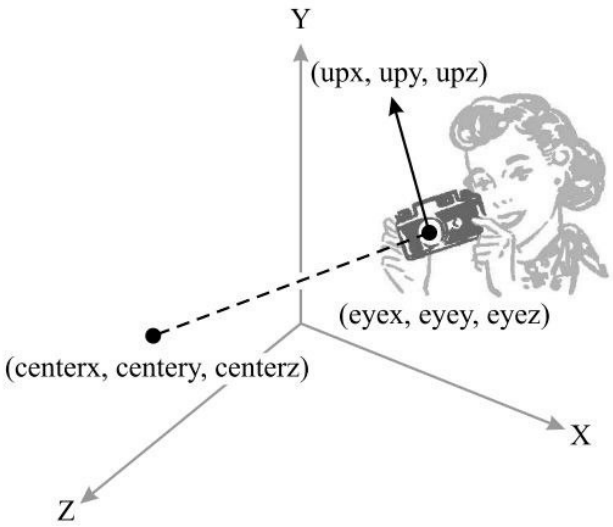
- Extrínsecos
  - Traslación
  - Rotación
- Intrínsecos
  - Óptica
  - Geometría
  - Digital



Modelo de cámara

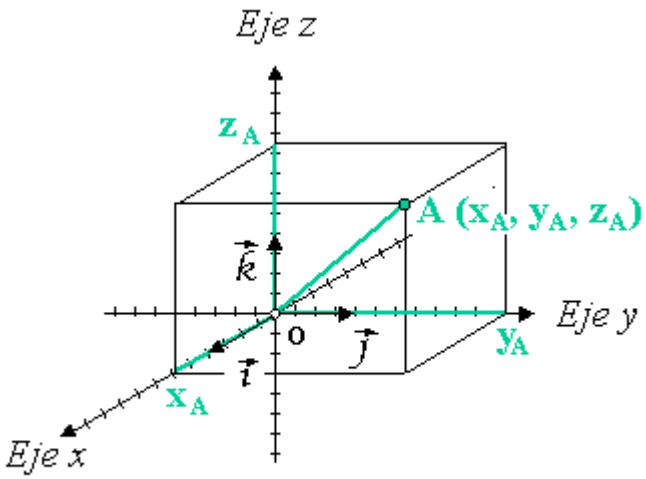
Parámetros de cámara:

- Extrínsecos
  - Traslación
  - Rotación



Modelo de cámara

Traslación



Sistema de Coordenadas Cartesianas Espaciales

$$P=(x \quad y \quad z)$$

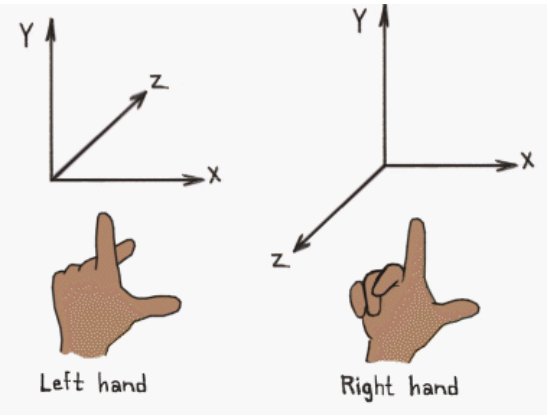
$$(x' \quad y' \quad z')=(x+a \quad y+b \quad z+c)$$

Modelo de cámara

Rotación

Dos posibles configuraciones de ejes

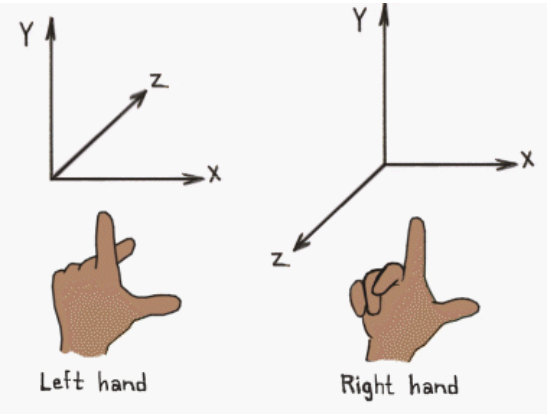
Tres ejes básicos: R_x, R_y y R_z



Levógiro Dextrógiro

Modelo de cámara

Rotación



Levógiro Dextrógiro

Dos posibles configuraciones de ejes

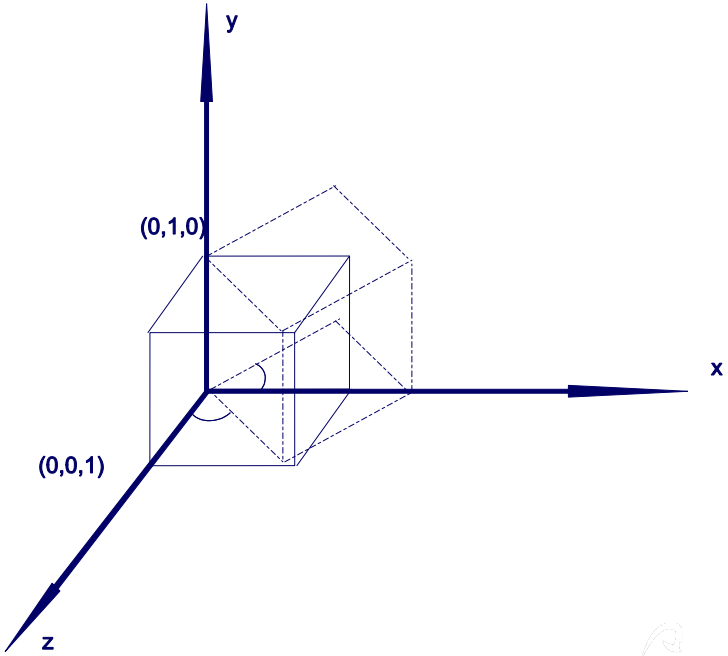
Tres ejes básicos: R_x, R_y y R_z

Si dextrógiro:

R_x rotamos (0,1,0) y (0,0,1) sobre x

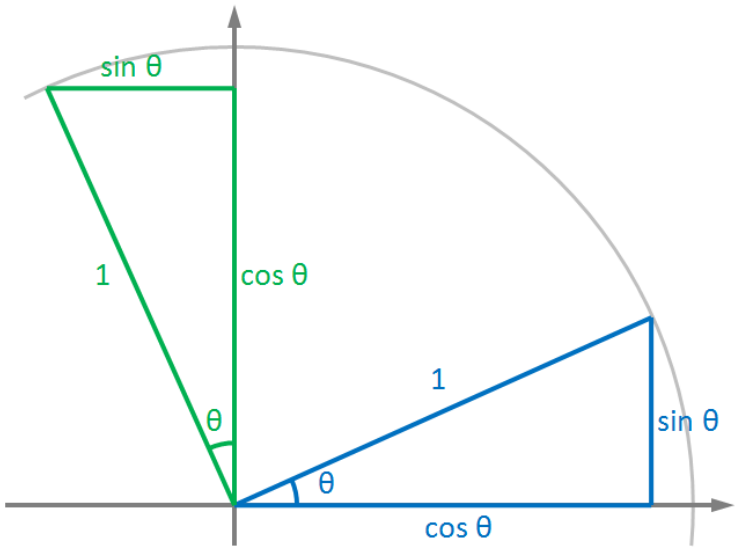
R_y rotamos (1,0,0) y (0,0,1) sobre y

R_z rotamos (1,0,0) y (0,1,0) sobre z



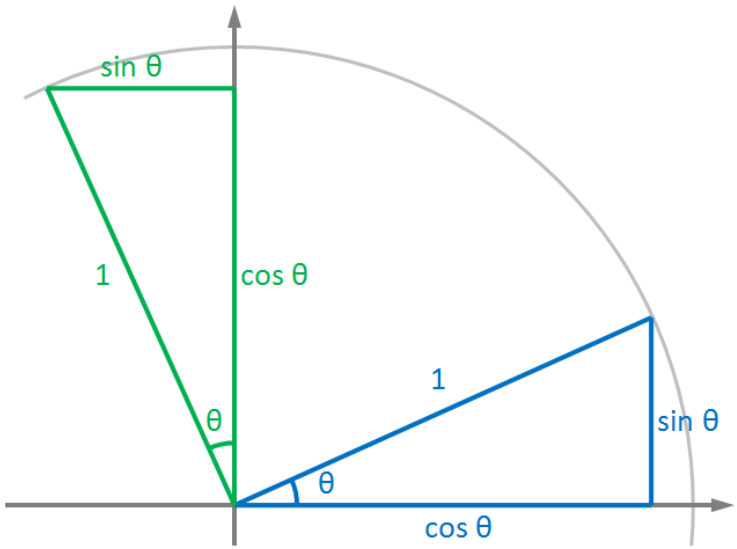
Modelo de cámara

Rotación sobre z



Modelo de cámara

Rotación sobre z
Similar a 2D



Si rotamos el punto (1,0,0) $(x' \quad y') = (\cos\theta \quad sen\,\theta)$

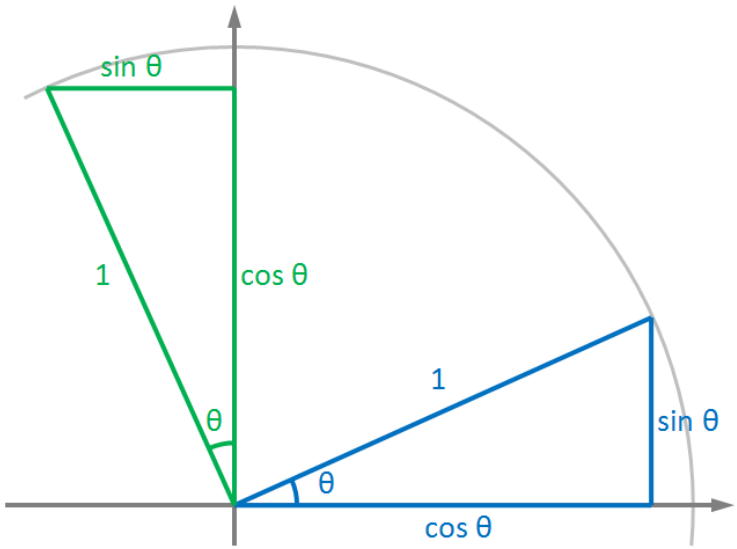
Si rotamos el punto (0,1,0) $(x' \quad y') = (-sen\,\theta \quad \cos\theta)$

Modelo de cámara

Rotación sobre z

(1,0,0) $(x' \quad y') = (\cos\theta \quad sen\,\theta)$

(0,1,0) $(x' \quad y') = (-sen\,\theta \quad \cos\theta)$



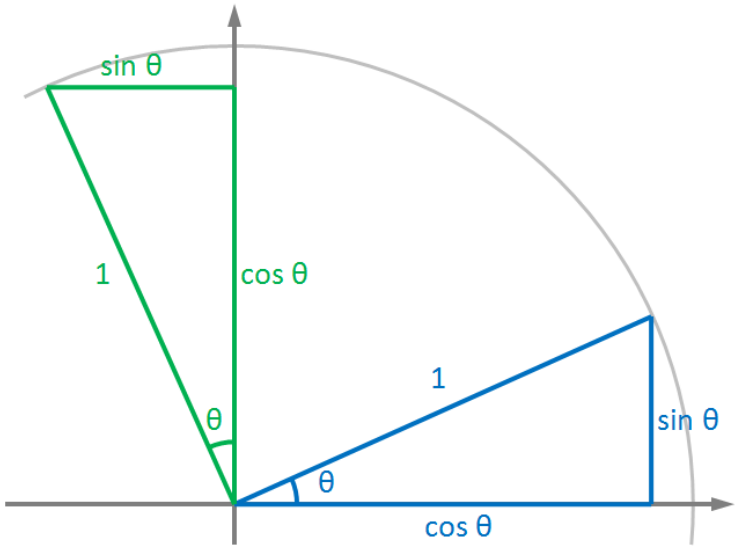
De forma general:

$$(x' \quad y') = (x \cdot \cos\theta - y \cdot sen\,\theta \quad x \cdot sen\,\theta + y \cdot \cos\theta)$$

$$(x' \quad y') = (x \quad y) \cdot \begin{pmatrix} \cos\theta & sen\,\theta \\ -sen\,\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$$

Modelo de cámara

Sobre los signos
Premultiplica/postmultiplicar
Rotación sobre z

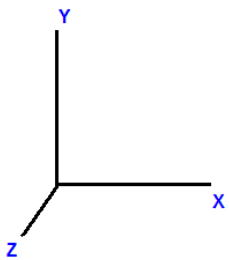


$$(x' \quad y') = (x \cdot \cos\theta - y \cdot sen\,\theta \quad x \cdot sen\,\theta + y \cdot \cos\theta)$$

$$(x' \quad y') = (x \quad y) \cdot \begin{pmatrix} \cos\theta & sen\,\theta \\ -sen\,\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$$ premultiplica

$$(x' \quad y') = \begin{pmatrix} \cos\theta & -sen\,\theta \\ sen\,\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$ postmultiplica

Modelo de cámara

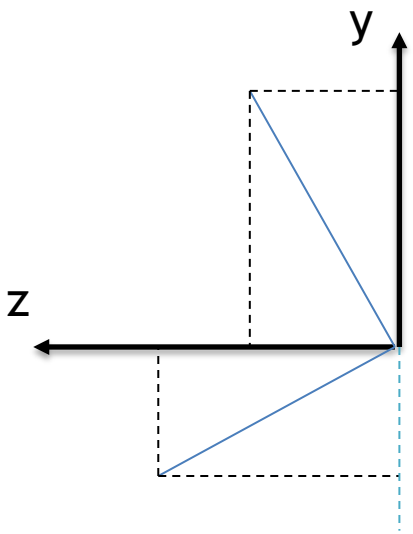


Rotación

R_x rotamos (0,1,0) y (0,0,1) sobre x

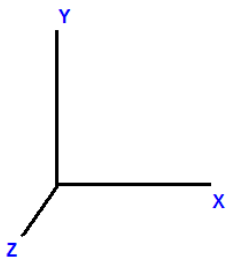
$(0\ 1\ 0) \rightarrow (0\ \ \cos\theta\ \ \mathrm{sen}\,\theta)$

$(0\ 0\ 1) \rightarrow (0\ \ -\mathrm{sen}\,\theta\ \ \cos\theta)$



Modelo de cámara

Rotación



R_x rotamos (0,1,0) y (0,0,1) sobre x

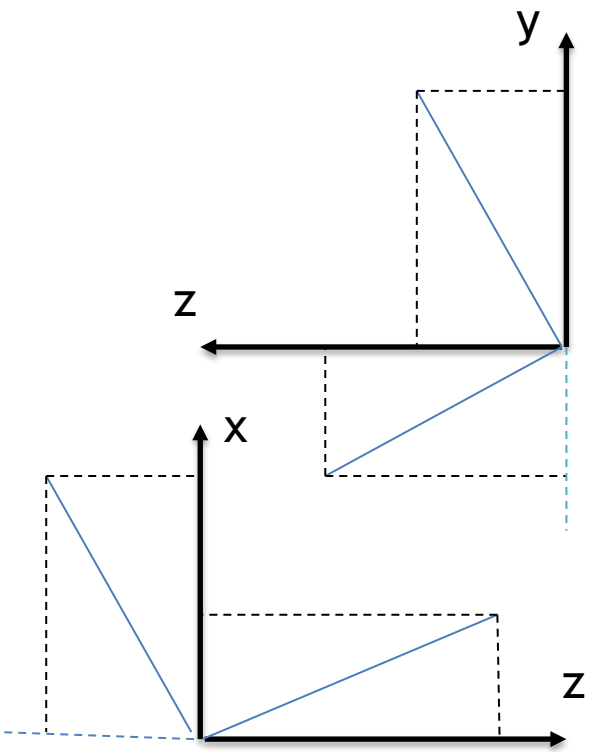
$(0\ 1\ 0) \rightarrow (0\ \ \cos\theta\ \ \mathrm{sen}\,\theta)$

$(0\ 0\ 1) \rightarrow (0\ \ -\mathrm{sen}\,\theta\ \ \cos\theta)$

R_y rotamos (1,0,0) y (0,0,1) sobre y

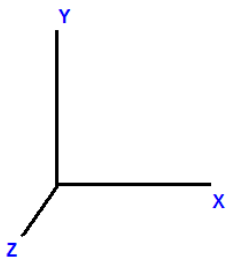
$(1\ 0\ 0) \rightarrow (\cos\theta\ \ 0\ \ -\mathrm{sen}\,\theta)$

$(0\ 0\ 1) \rightarrow (\mathrm{sen}\,\theta\ \ 0\ \ \cos\theta)$



Modelo de cámara

Rotación



R_x rotamos (0,1,0) y (0,0,1) sobre x

$(0\ 1\ 0) \rightarrow (0\ \ \cos\theta\ \ \mathrm{sen}\,\theta)$

$(0\ 0\ 1) \rightarrow (0\ \ -\mathrm{sen}\,\theta\ \ \cos\theta)$

R_y rotamos (1,0,0) y (0,0,1) sobre y

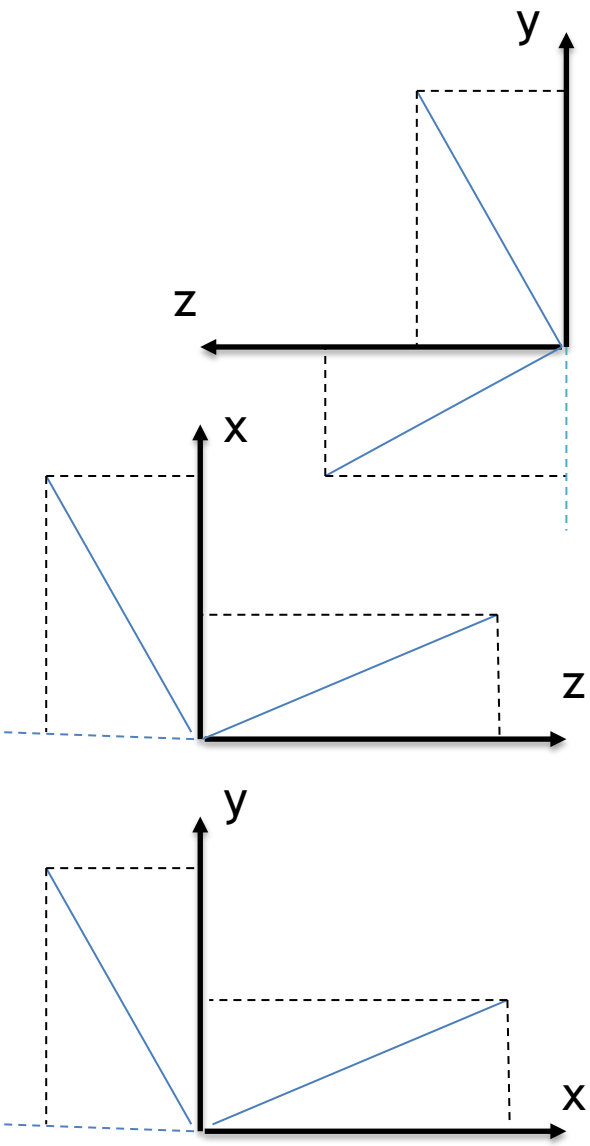
$(1\ 0\ 0) \rightarrow (\cos\theta\ \ 0\ \ -\mathrm{sen}\,\theta)$

$(0\ 0\ 1) \rightarrow (\mathrm{sen}\,\theta\ \ 0\ \ \cos\theta)$

R_z rotamos (1,0,0) y (0,1,0) sobre z

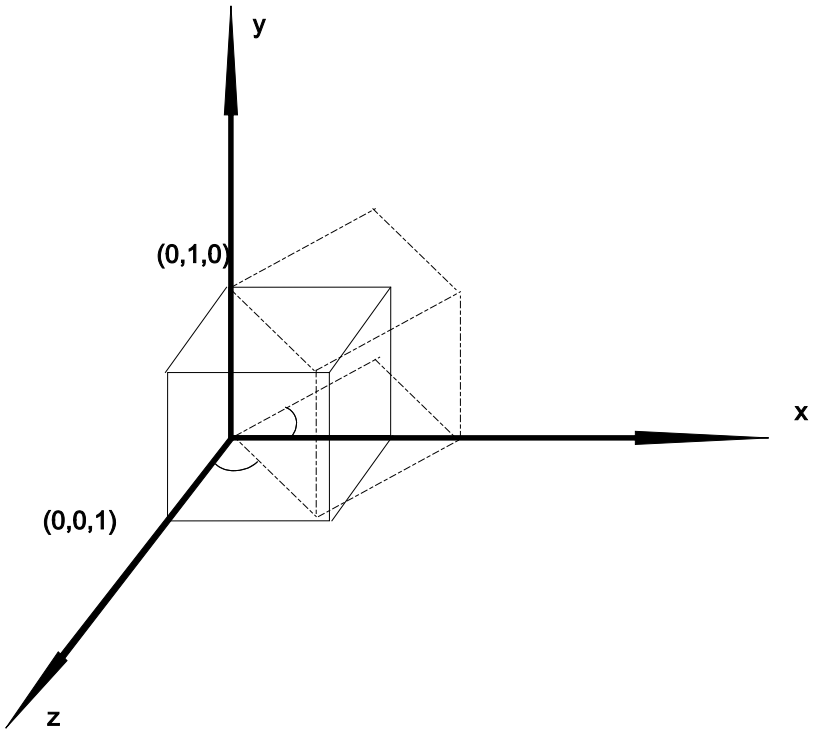
$(1\ 0\ 0) \rightarrow (\cos\theta\ \ \mathrm{sen}\,\theta\ \ 0)$

$(0\ 1\ 0) \rightarrow (-\mathrm{sen}\,\theta\ \ \cos\theta\ \ 0)$



Modelo de cámara

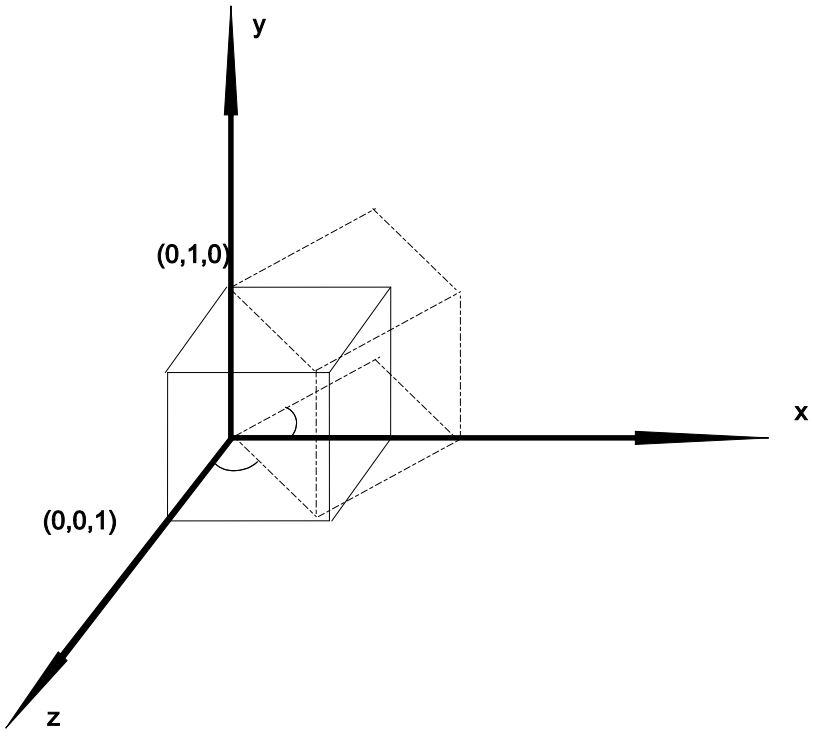
Rotación



$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & sen\theta & 0 \\ 0 & -sen\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R_y = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & -sen\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ sen\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R_z = \begin{pmatrix} \cos\theta & sen\theta & 0 & 0 \\ -sen\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Modelo de cámara

Rotación
¿Matriz 4x4?



$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & sen\theta & 0 \\ 0 & -sen\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R_y = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & -sen\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ sen\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R_z = \begin{pmatrix} \cos\theta & sen\theta & 0 & 0 \\ -sen\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Modelo de cámara

¿Matriz 4x4?
Coordenada homogénea
Marco común transformaciones
Matriz cuadrada de transformaciones
Composición
Pre o post

$$P' = P \cdot M_T \qquad P' = M_T \cdot P$$

$$\boldsymbol{M_T} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{a} & \boldsymbol{b} & \boldsymbol{c} & \boldsymbol{p} \\ \boldsymbol{d} & \boldsymbol{e} & \boldsymbol{f} & \boldsymbol{q} \\ \boldsymbol{h} & \boldsymbol{i} & \boldsymbol{j} & \boldsymbol{r} \\ \boldsymbol{l} & \boldsymbol{m} & \boldsymbol{n} & \boldsymbol{s} \end{pmatrix}$$

Si premultiplicamos el punto

Rotaciones y deformaciones

Traslaciones

$$\boldsymbol{M_T} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{3 * 3} & \begin{matrix} \boldsymbol{3} \\ * \\ \boldsymbol{1} \end{matrix} \\ \boldsymbol{1 * 3} & \boldsymbol{1 * 1} \end{pmatrix}$$

Proy. perspectiva

Sobreescalado

Modelo de cámara

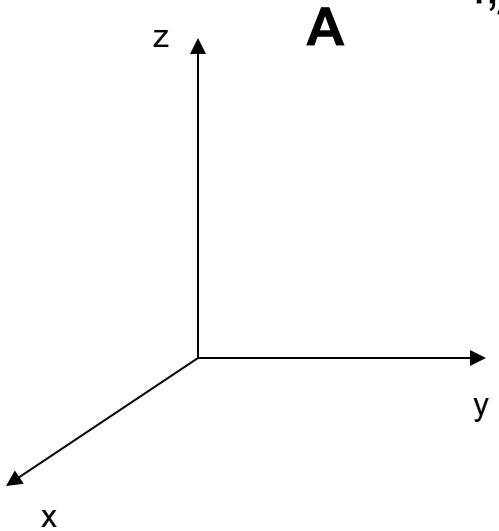
Transformación sistemas de coordenadas mundo/cámara

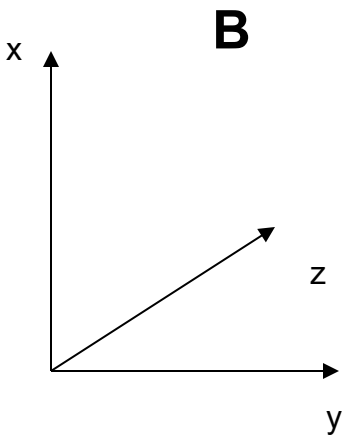
i,j,k en A:

(1 0 0)
(0 1 0)
(0 0 1)

i,j,k de A en B:

(0 0 -1)
(0 1 0)
(1 0 0)





$$P_A \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = P_B$$

Primera fila, *x* de A en función del sistema B, …

Punto referido al sistema A transformado al sistema B

$$P_A \, T_{AB} = P_B$$

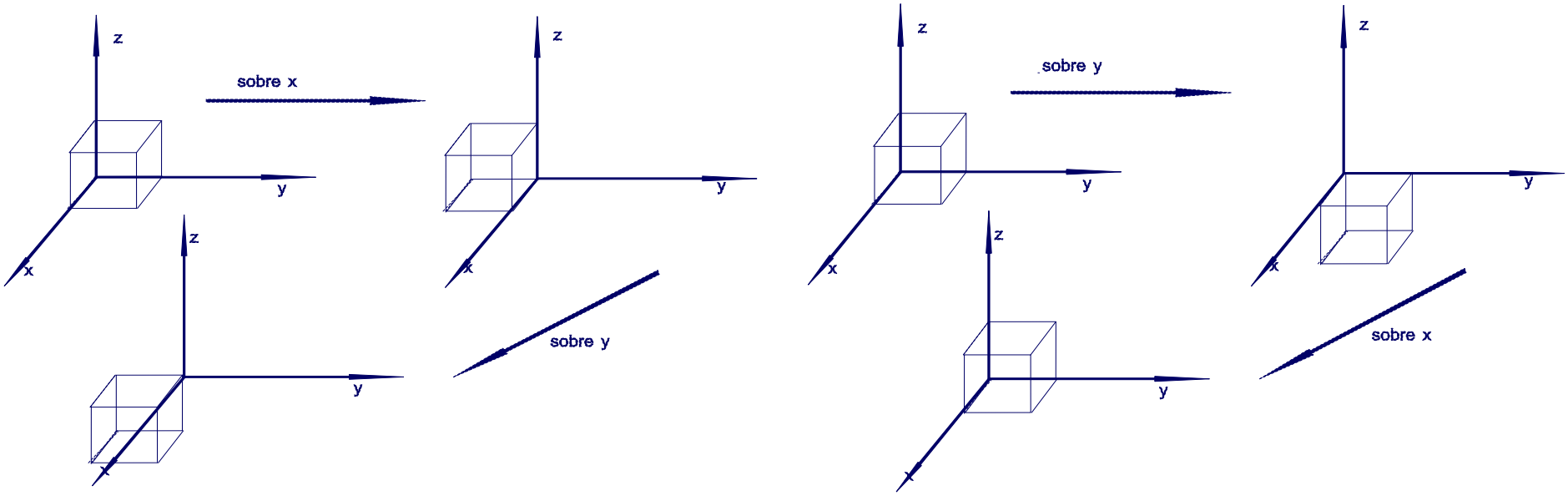
$$P_B \, T_{AB}^{-1} = P_B \, T_{BA} = P_A$$

Punto referido al sistema B transformado al sistema A

Modelo de cámara

Composición de transformaciones

No conmutativo



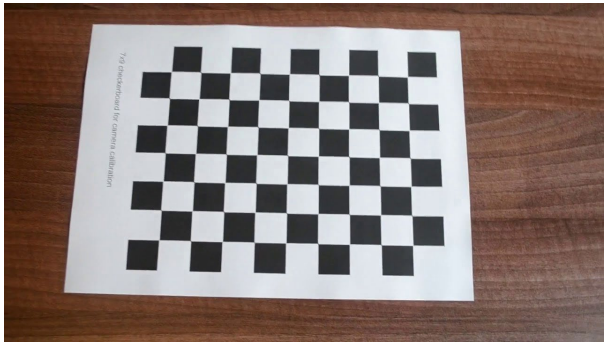
Modelo de cámara

Parámetros de cámara:

- Extrínsecos
  - Traslación
  - Rotación

- Intrínsecos
  - Óptica
  - Geometría
  - Digital

Calibración (T9), obtiene parámetros de cámara desde imágenes



Modelo de cámara

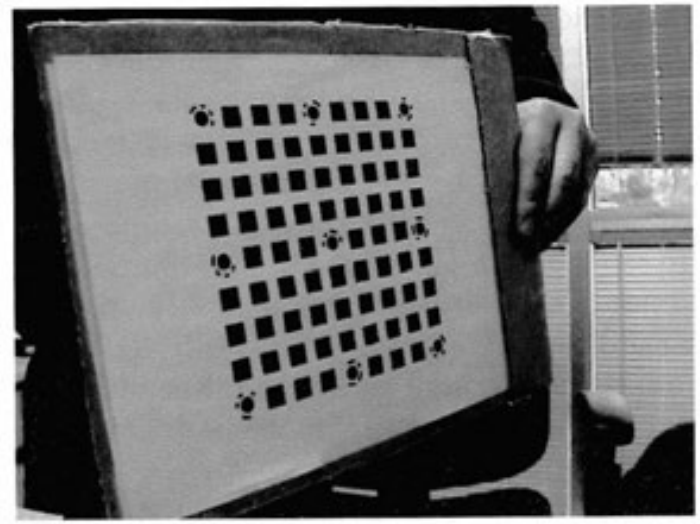
Procedimiento con patrón 3D:

- Determinar con precisión conjunto de puntos 3D
- Determinar correspondientes proyecciones en imagen
- Obtener parámetros que mejor resuelven correspondencia

Modelo de cámara

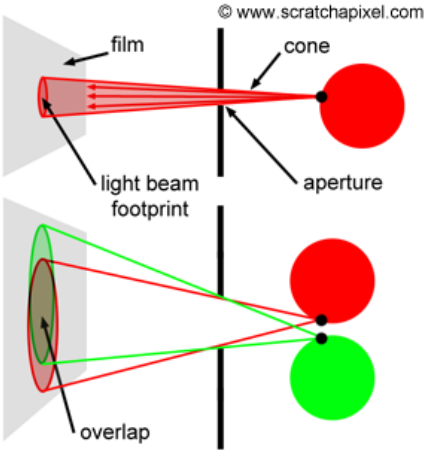
Procedimiento con patrón 2D (plano):

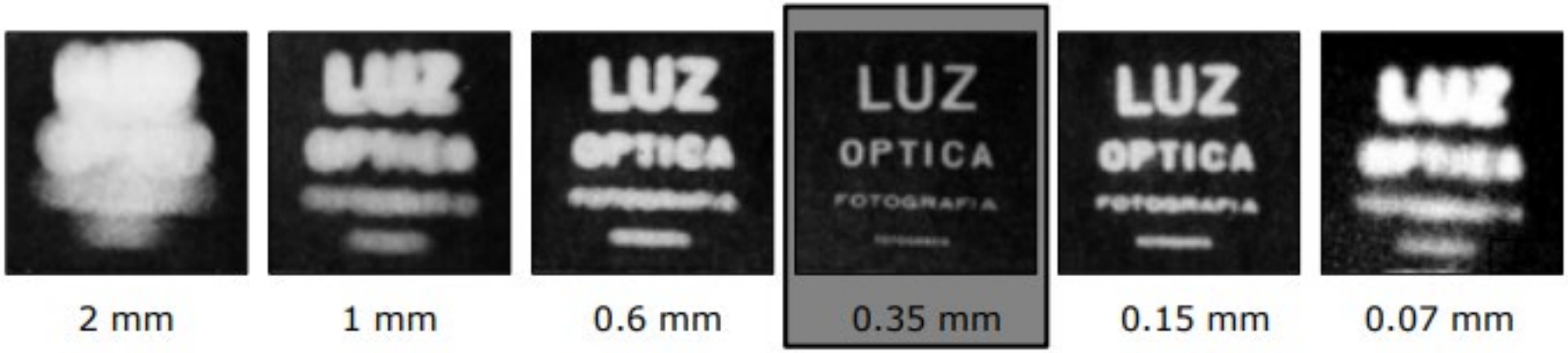
- Varias imágenes con diferentes orientaciones
- No necesario conocer orientación ni movimiento
- Técnica más utilizada por facilidad



Pin hole

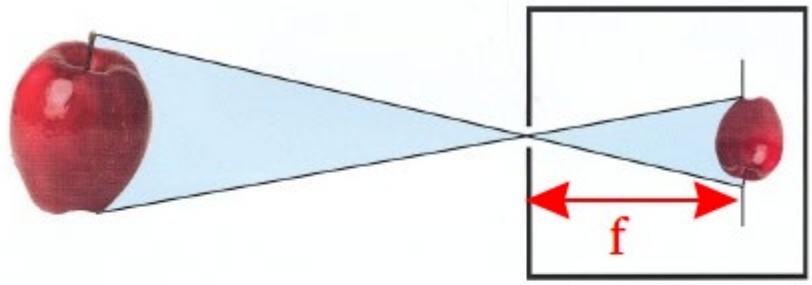
Pin hole, tamaño adecuado
No puede ser infinitamente pequeño
Solapes



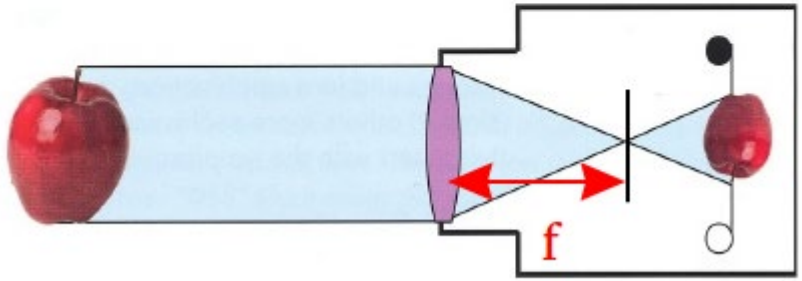


Lentes

Pin hole requiere largos tiempos de exposición
Mejor con lente



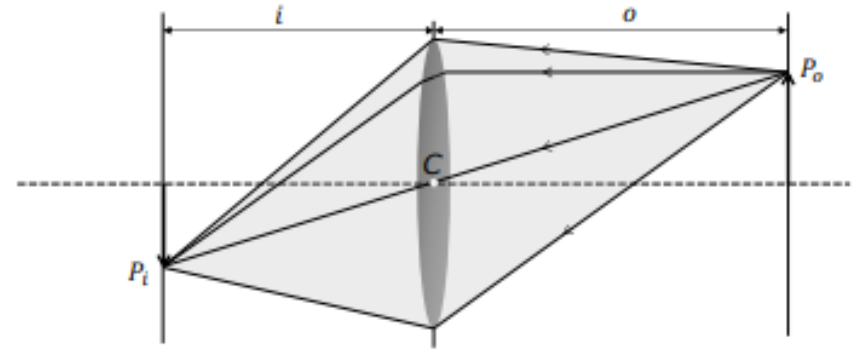
Pinhole Camera



Camera with lens to focus image.

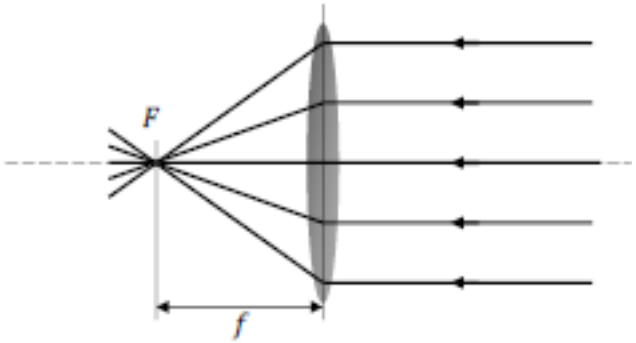
Lentes

Proyección similar, con más luz
Lente delgada
Abertura mayor, más desenfoque (*blur*)



f: focal length
i: image distance
o: object distance

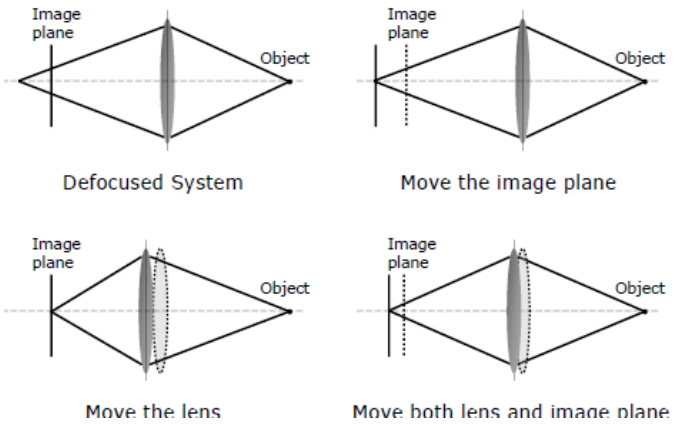
$$\frac{1}{i} + \frac{1}{o} = \frac{1}{f}$$



S. Nayar

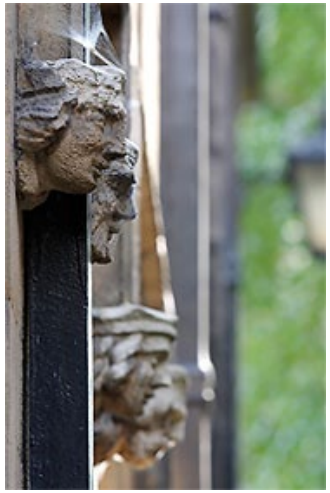
Lentes

Problema lentes: desenfoque
Sólo un plano estará enfocado
Enfocar moviendo plano, lente o ambos
Profundidad de campo (*Depth of field*)

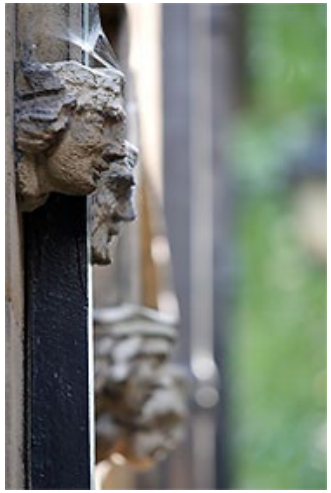


S. Nayar

f/8.0



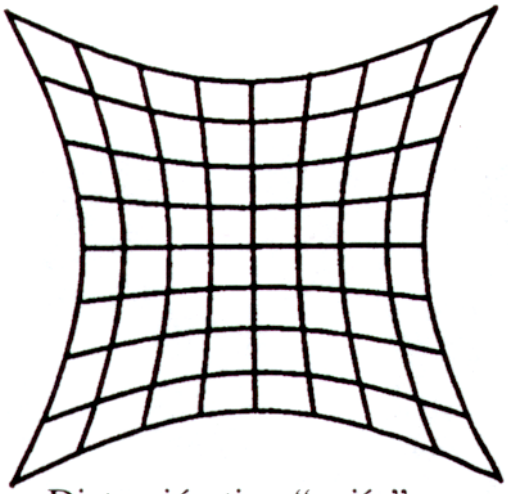
f/5.6



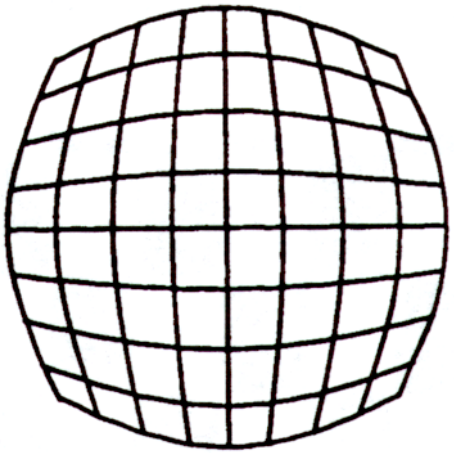
f/2.8

Lentes

Problema lentes: distorsiones Radial



Distorsión tipo “cojín”



Distorsión tipo “barril”

(x_u, y_u) pixel sin distorsionar

(x_d, y_d) pixel distorsionado

$$x_u=(1+k_1r^2+k_2r^4)\ x_d$$

$$y_u=(1+k_1r^2+k_2r^4)\ y_d$$

$$r=(x_d^2+y_d^2)^{1/2}$$

Lentes

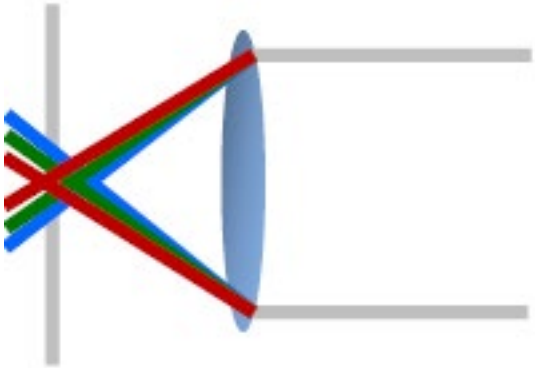
Gran angular
Ojo de pez

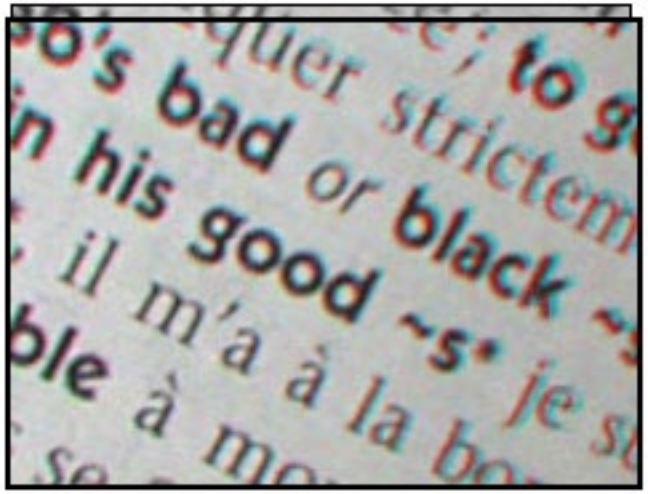
Lentes

360, combina dos ojos de pez

Muestreo

Problema, aberración cromática
Refracción dependiente de la longitud de onda

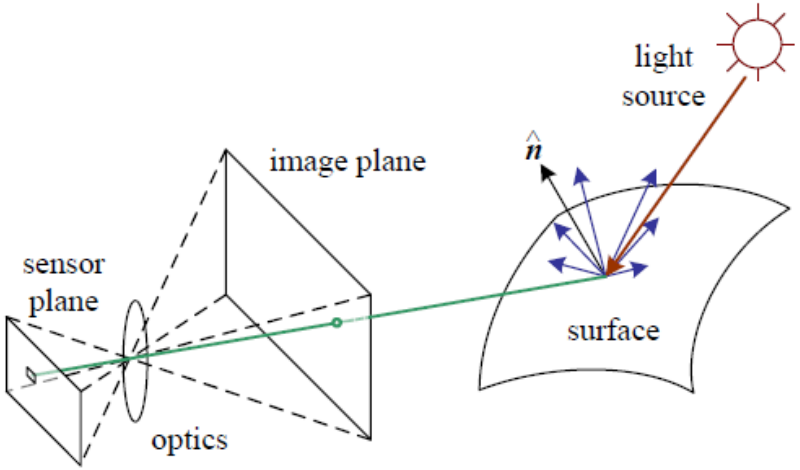


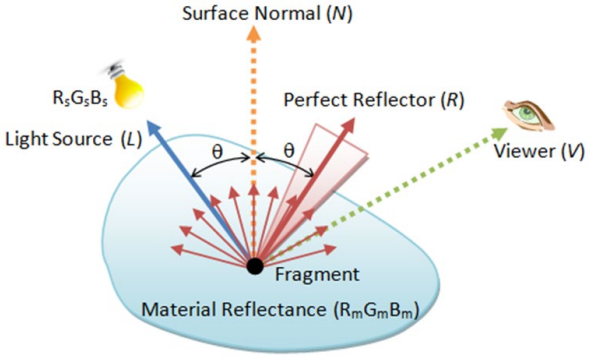


S. Nayar

Fotometría

Imagen no únicamente geometría
Luz reflejada alcanza el sensor
Fuentes de luz: espectro, geometría
Función de distribución de reflectancia bidireccional (BRDF)
Modelos aplicados en CG





Szeliski

Bibliografía

- M. S. Brown, *Understanding Color and the In-Camera Image Processing Pipeline for Computer Vision*, Tutorial ICCV 2019
- F. Durand, *The Art and Science of Depiction*, MIT LCS Graphics Group Gombrich, Art and Illusion.
- E.H. Gombrich, *Art & Illusion, A study in the psychology of pictorical representation*, PHAIDON, 1960
- D. Hockney y M. Gayford. *Una historia de las imágenes*, Siruela, 2018
- R. Klette, *Concise Computer Vision*, Springer, 2014 (online ULPGC)
- S. Nayar, *Image Formation*, Columbia University, 2022
- R. Szeliski. *Computer Vision: Algorithms and Applications*, 2nd ed. 2022