



Las imágenes digitales

La geometría de las imágenes

La digitalización de la imagen

Las imágenes en color

El ruido



ugr

Universidad
de Granada



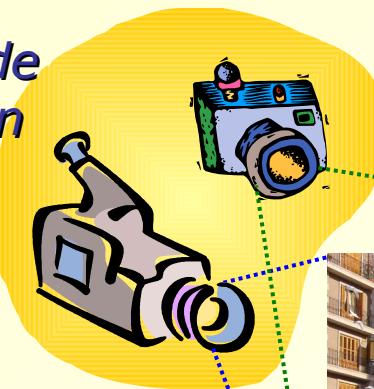


La geometría de las imágenes

Las partes de un Sistema de Visión Artificial



Captura de la imagen

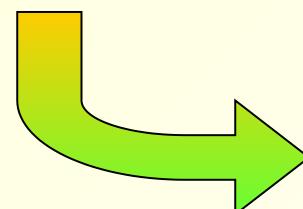


Iluminación

Escena



*Digitalización
(Conversión A/D)*



Procesamiento

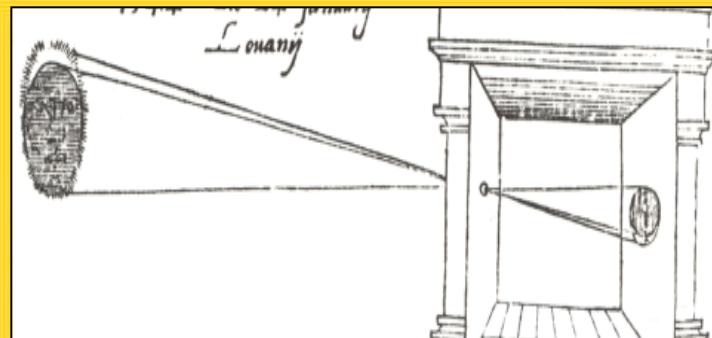


La geometría de las imágenes

La cámara oscura



La cámara oscura se conoce desde el **500 A.C.** por los chinos (**Mo Ti**). **Aristóteles** (330 A.C.), de forma independiente, también la descubre.



Rainer Geinma Frisius (1544).

Primera descripción que se conserva de una cámara oscura.



Nicéphore Niépce

Inventor de la fotografía

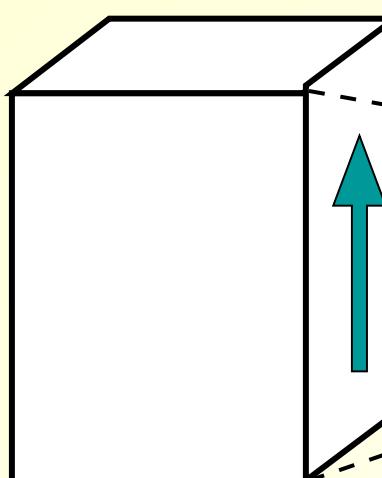
La primera fotografía (1822)



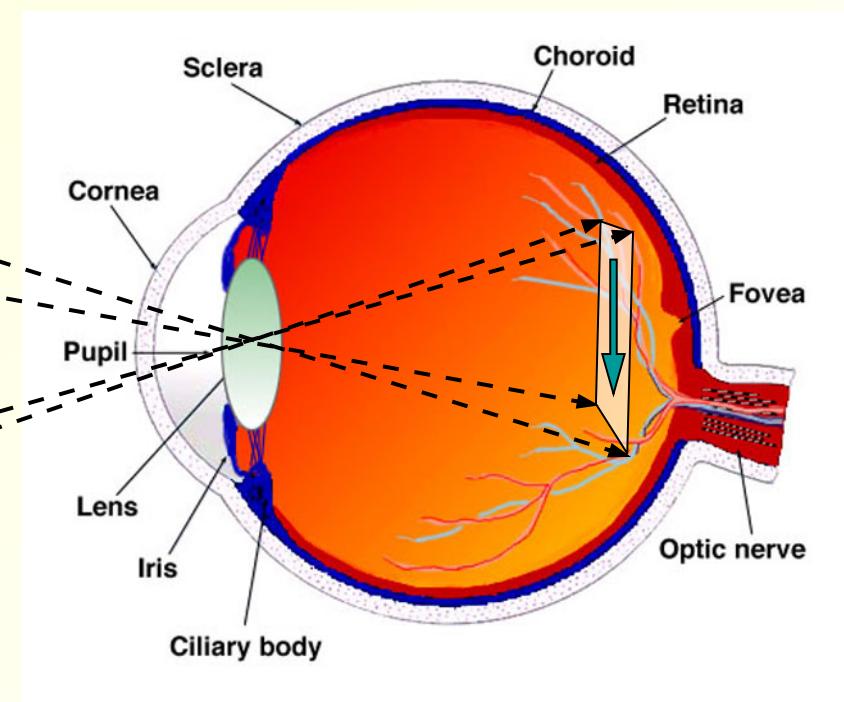
Es el primero que proyecta la imagen sobre una superficie fotosensible.



- La formación de imágenes es un proceso mediante el cual una información 3D (**la escena**) es **proyectada** en un plano 2D (**la imagen**).
- Las **cámaras** imitan el proceso que tiene lugar en el **ojo humano**.

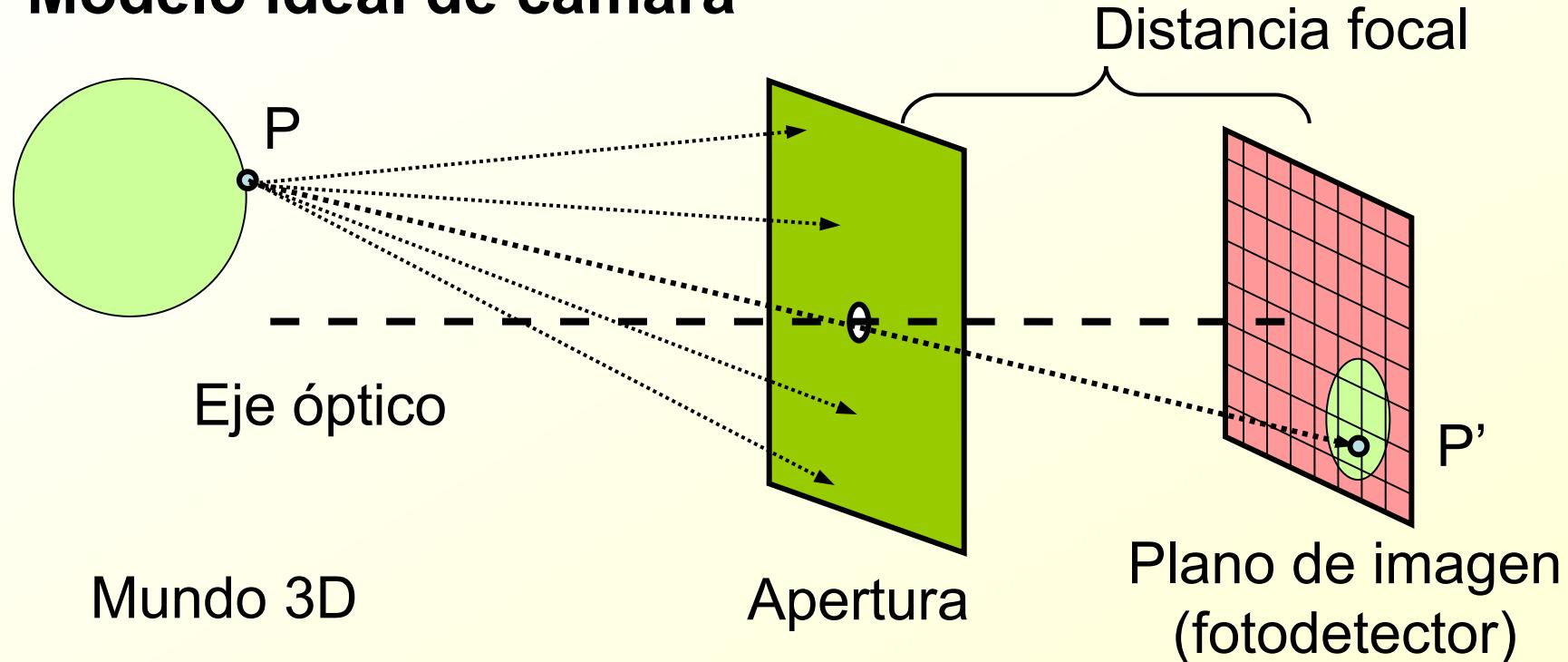


Mundo 3D





•Modelo ideal de cámara



- Una **superficie mate** emite luz en todas las direcciones.
- Cuando la **apertura es muy pequeña**, desde cualquier punto sólo pasa luz con una dirección.
- Todos los puntos están **bien definidos**: imagen enfocada.

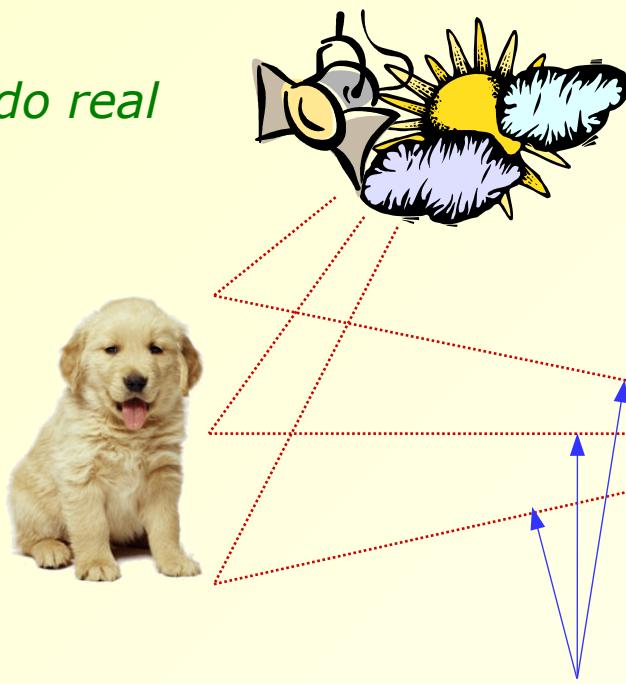


La geometría de las imágenes

Modelo de cámara pinhole

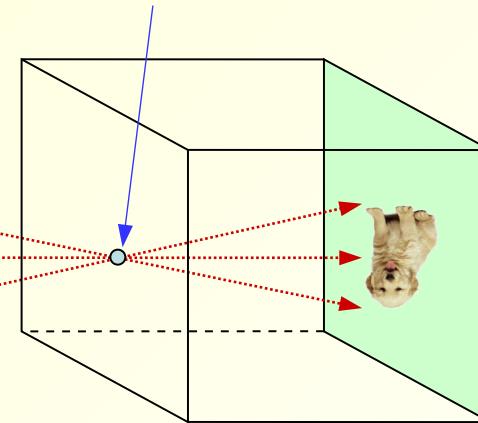


Mundo real



Rayos de luz reflejada

Pinhole = "Agujero de alfiler"



Cámara oscura

Las imágenes que se obtienen tienen poca calidad.

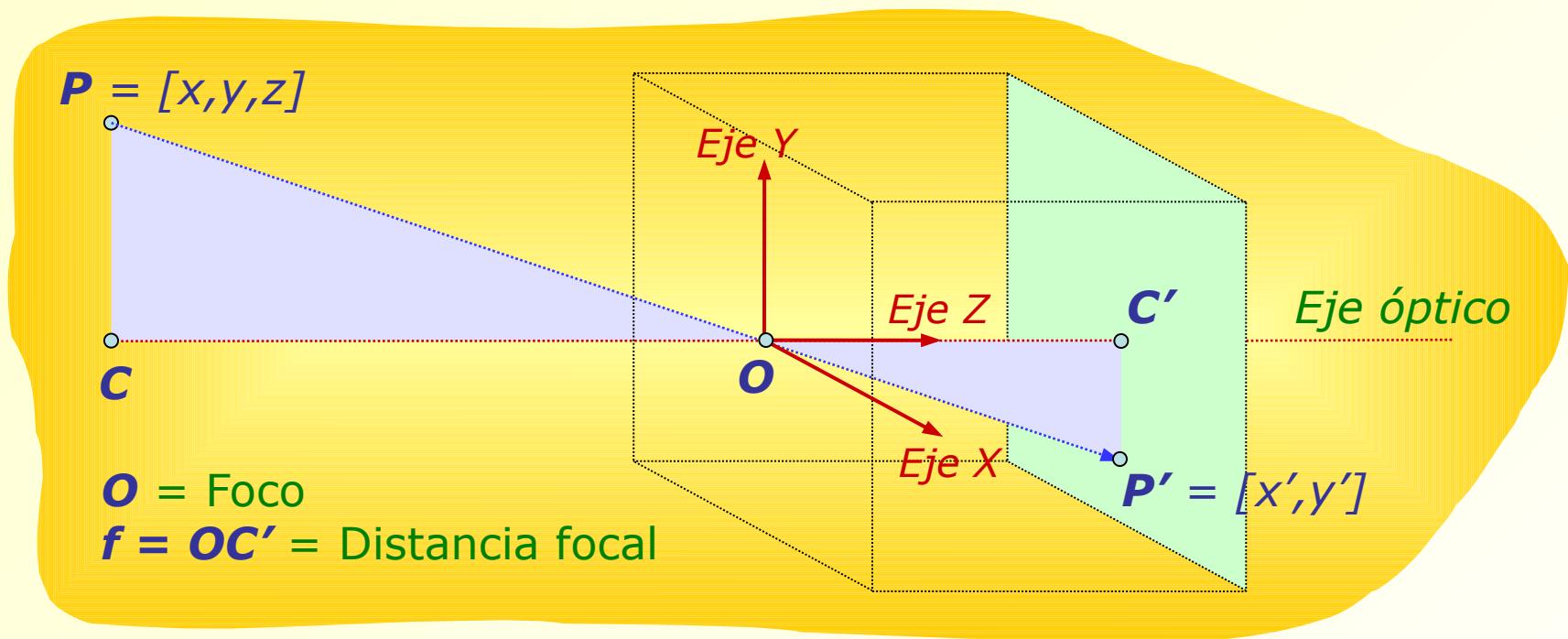
El pinhole debe ser pequeño:

- { Deja pasar poca luz
- Necesita mucha exposición



La geometría de las imágenes

Modelo de cámara pinhole



Por semejanza de triángulos (teorema de Thales):

$$\frac{PC}{C'P'} = \frac{PO}{OP'} = \frac{CO}{OC'} \quad \rightarrow \quad y' = \frac{f}{z} y \quad x' = \frac{f}{z} x$$

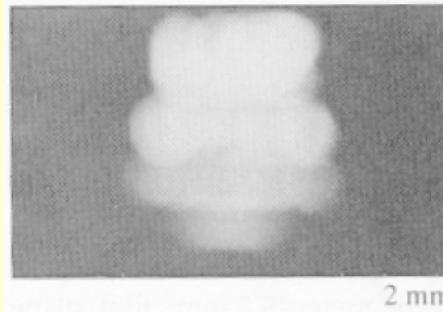
Cualquier punto en la trayectoria P-O se proyecta sobre el mismo P'

Dado P' no podemos calcular P (falta información).



La geometría de las imágenes

Modelo de cámara pinhole



2 mm



1 mm



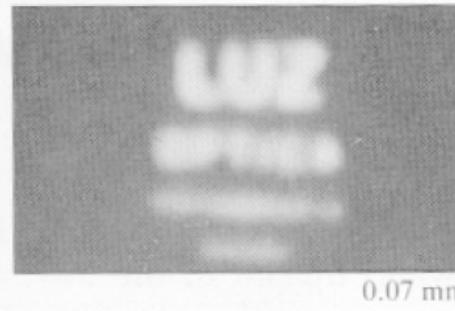
0.6mm



0.35 mm



0.15 mm



0.07 mm

Este modelo de cámara funciona pero ...

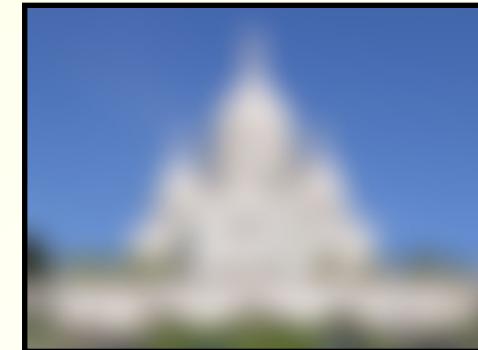
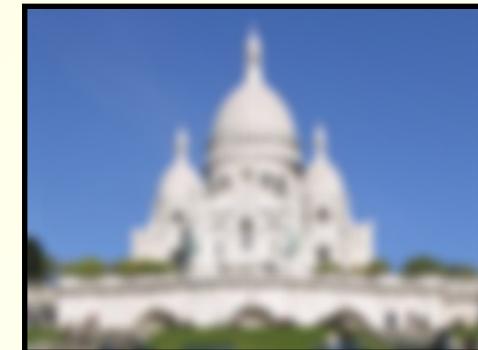
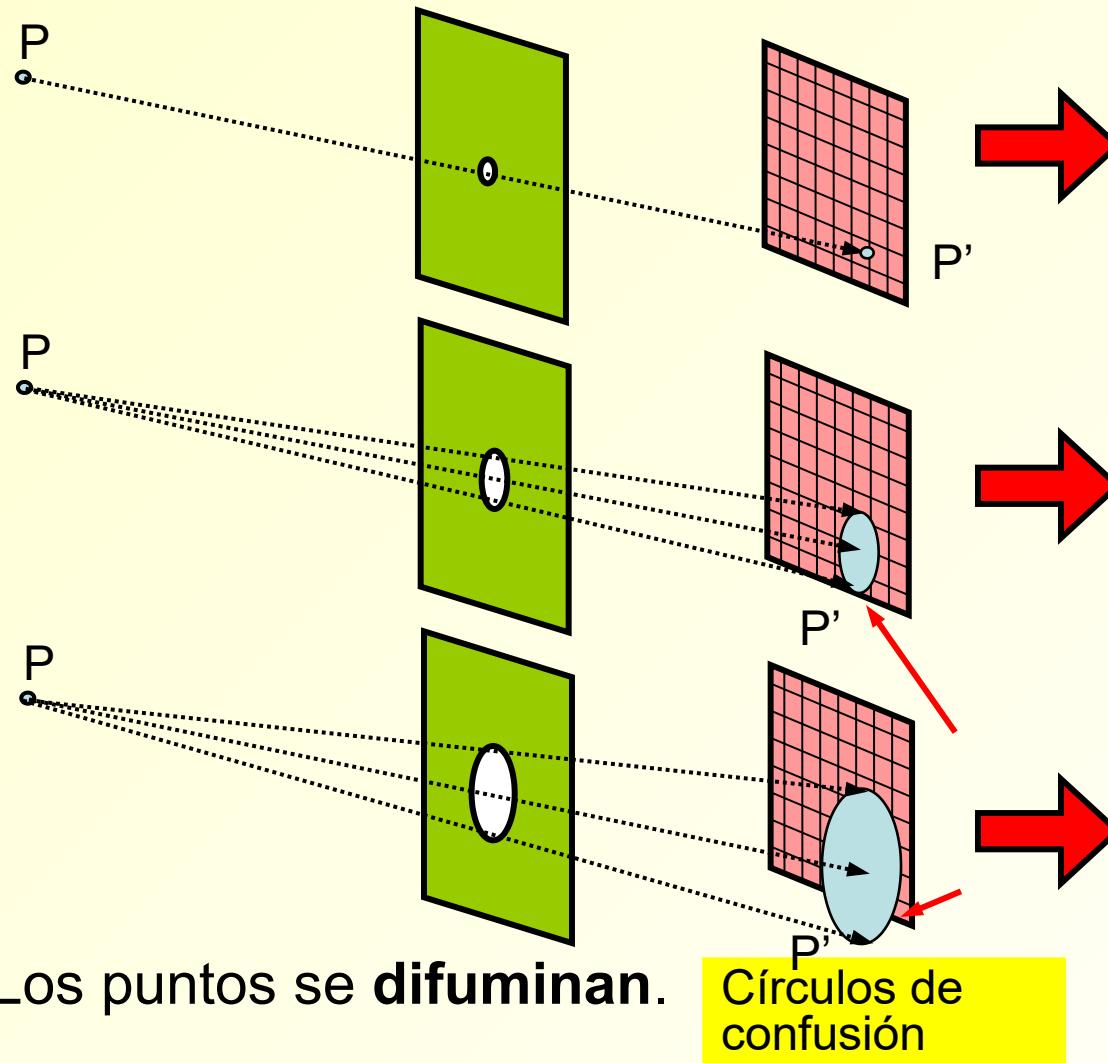
Si el pinhole es muy grande o muy pequeño la imagen que se obtiene está borrosa.

Las imágenes suelen ser oscuras ya que entra poca luz.



Del pinhole a la lente ...

- Comparar con lo que ocurre a medida que aumenta el tamaño de la apertura.



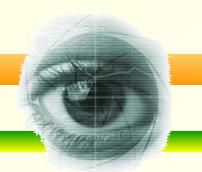
- Los puntos se **difuminan**.

Círculos de
confusión

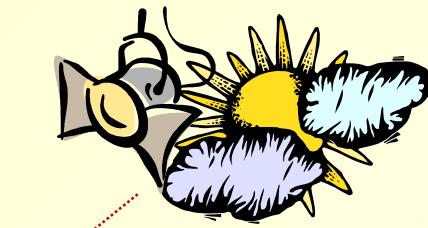


La geometría de las imágenes

Del pinhole a la lente ...

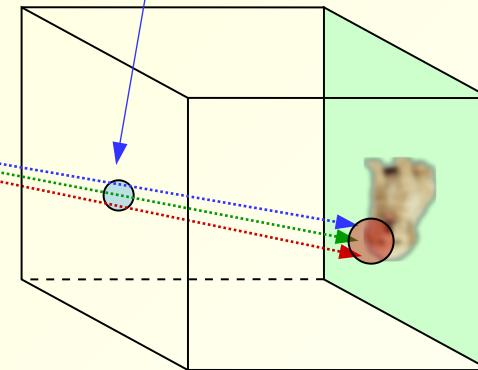


Mundo real



Rayos de luz reflejada

Pinhole



Cámara oscura

Plano de
proyección

Si agrandamos el pinhole:

Entra más luz → necesita menos exposición.

La luz reflejada por un punto incide en varios puntos del P.P.

Las imágenes son más borrosas.

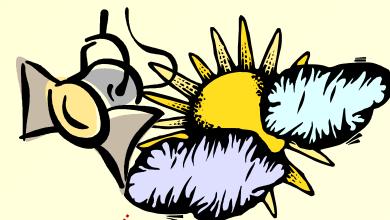


La geometría de las imágenes

Del pinhole a la lente ...

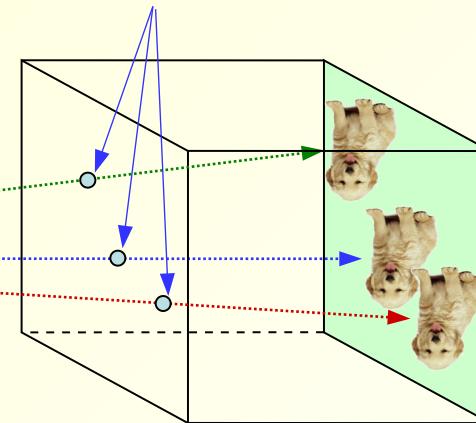


Mundo real



Rayos de luz reflejada

Pinhole



Cámara oscura

Plano de
proyección

Si ponemos varios pinhole:

Se forman varias copias de la imagen.

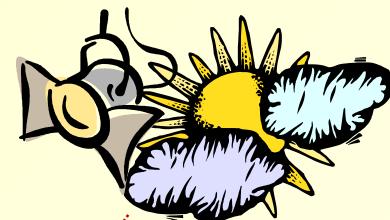


La geometría de las imágenes

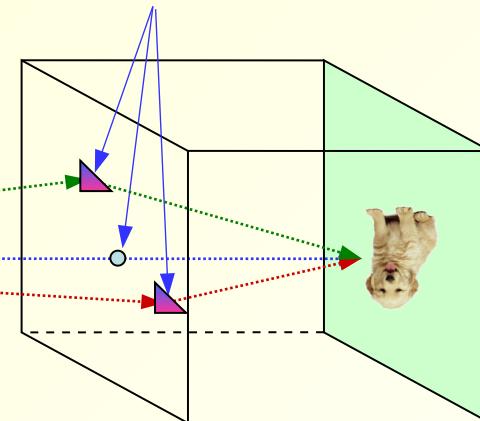
Del pinhole a la lente ...



Mundo real



Pinhole

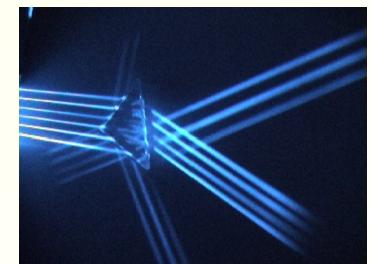


Plano de
proyección

Cámara oscura

Rayos de luz reflejada

Si ponemos un **prisma** en cada pinhole que dirija el rayo de luz podemos conseguir que se superpongan todas las copias de la imagen formando **una única imagen más brillante**.



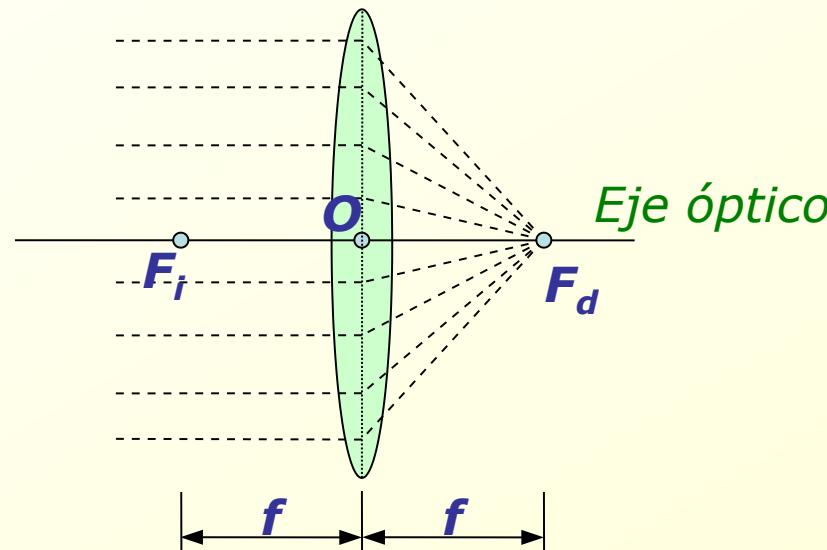


Modelo de cámara de lente fina (*thin lens*)



La lente que hay en la óptica del aparato de captación de imágenes se comporta como un conjunto de prismas que forman la imagen en el plano de proyección.

Cada punto del mundo real se proyecta en un único punto del P.P.



O = Centro de la lente

F_d = Foco derecho

F_i = Foco izquierdo

f = distancia focal

Cualquier rayo que entre paralelo al eje óptico por un lado, pasa por el foco del lado opuesto.

Cualquier rayo que entre desde el foco por un lado, sale paralelo al eje óptico por el lado opuesto.



Las lentes reales son más complejas ...

Aberraciones: distorsiones ópticas que se deben a la lente.

Aberración esférica

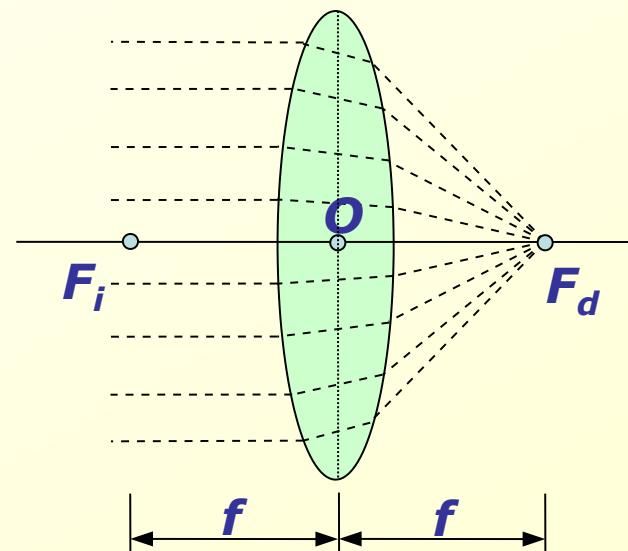
Coma

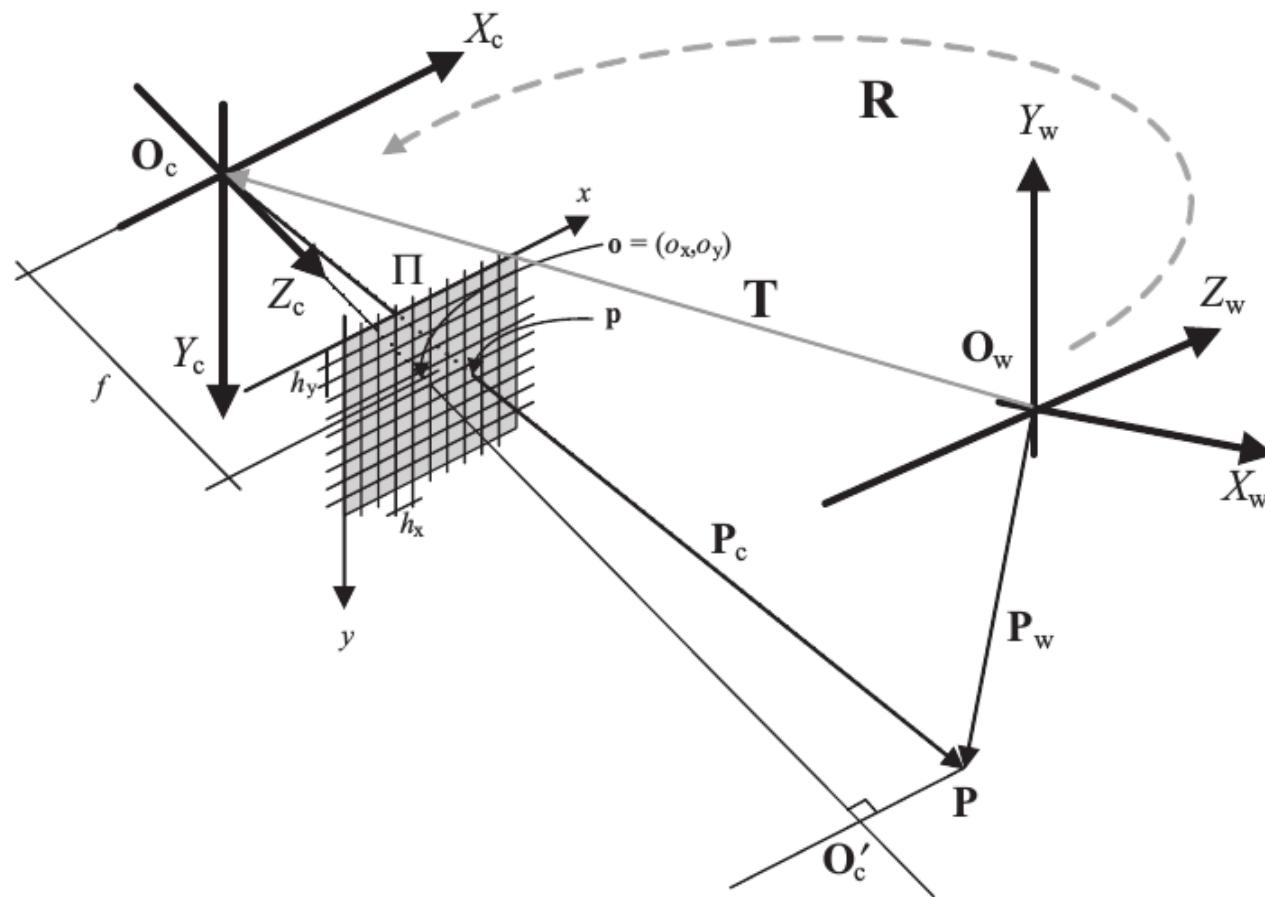
Astigmatismo oblicuo

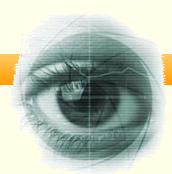
Curvatura

Distorsión

Aberración cromática







Las imágenes digitales

La geometría de las imágenes

La digitalización de la imagen

Las imágenes en color

El ruido



ugr

Universidad
de Granada



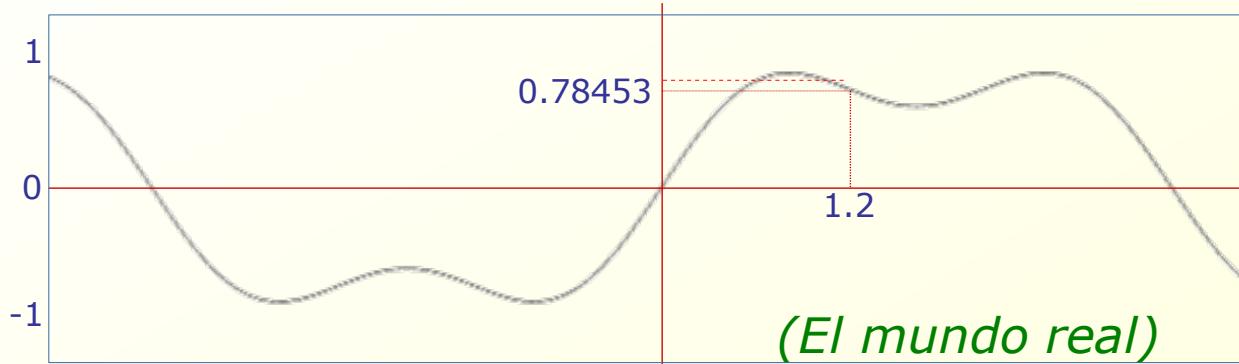


La digitalización de la imagen

¿Qué es la digitalización?



$$y = f(x) = \sin(x) + \sin(3x)/3$$

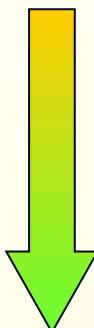


$$x \in \mathbb{R}$$

$$y \in [-0.94, 0.94]$$

Dominio **continuo**

$$f(1.2) = 0.78453$$

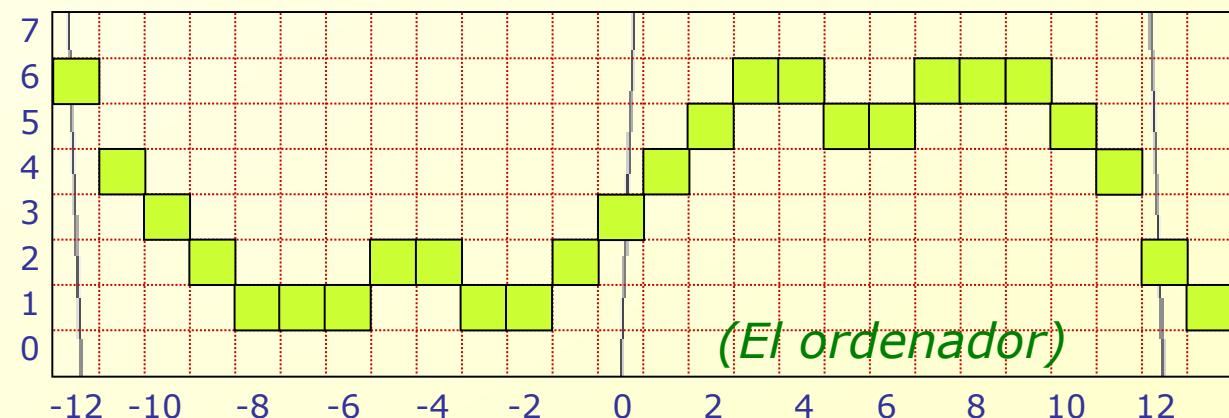


La digitalización de una función consiste en pasar de un **dominio continuo** a un **dominio discreto**, tanto en los **valores devueltos** por la función como en los **puntos donde es evaluada**.

Dominio **discreto**

$$\cancel{f(1.2) = 0.78453}$$

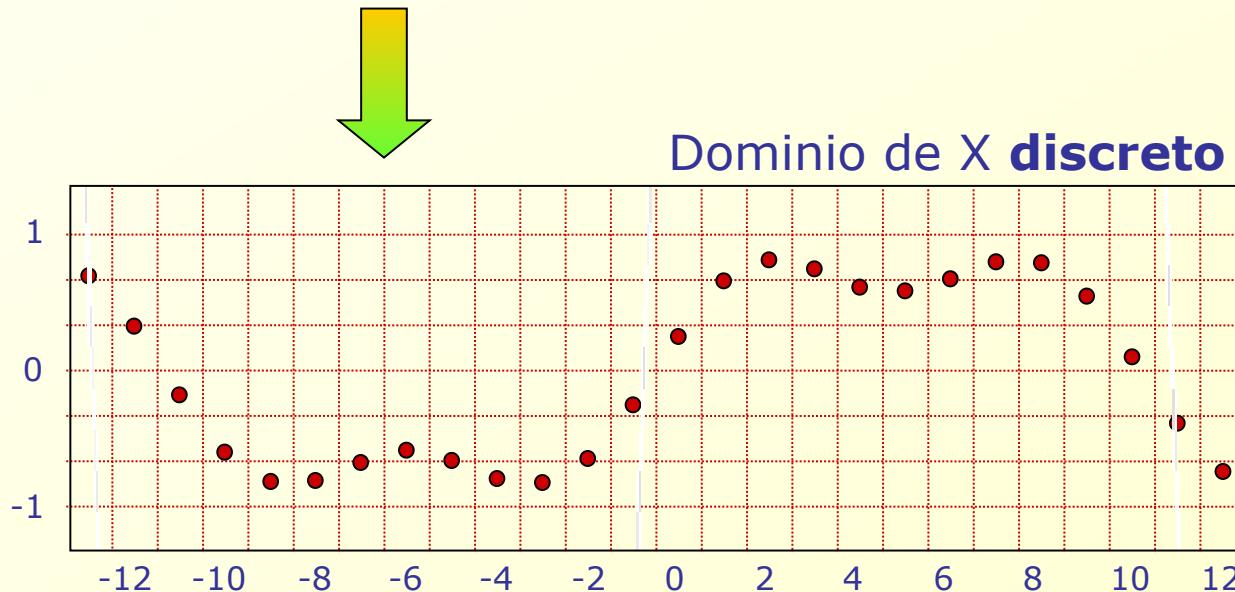
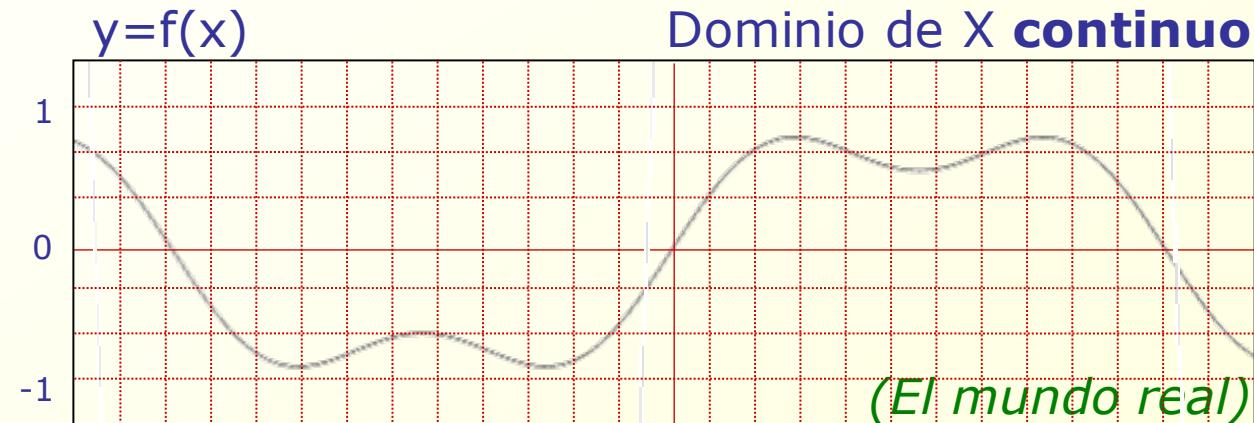
$$\cancel{f(4) = 6}$$





La digitalización de la imagen

¿Cómo se hace el muestreo?



Evaluamos $f(x)$ en algunos valores a lo largo del eje X (**Muestreo**)

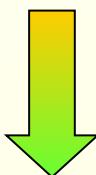
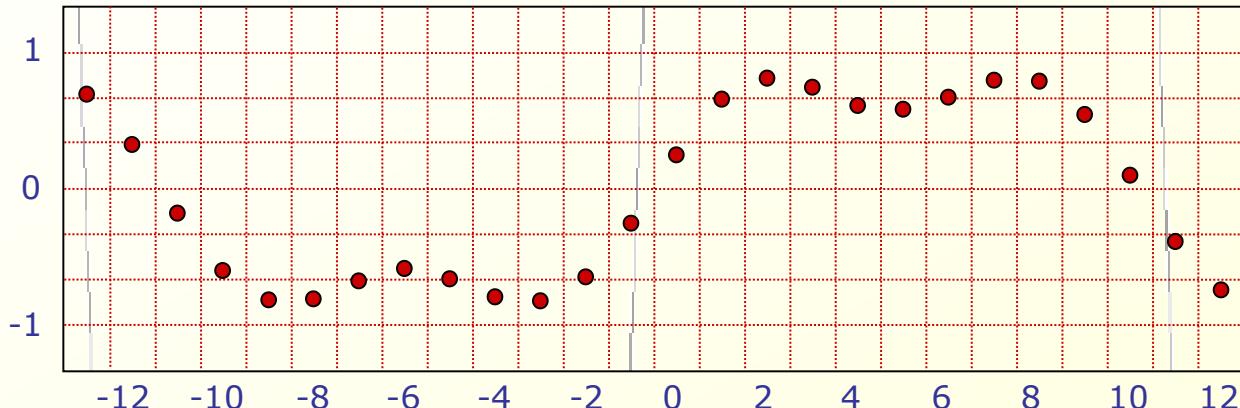


La digitalización de la imagen

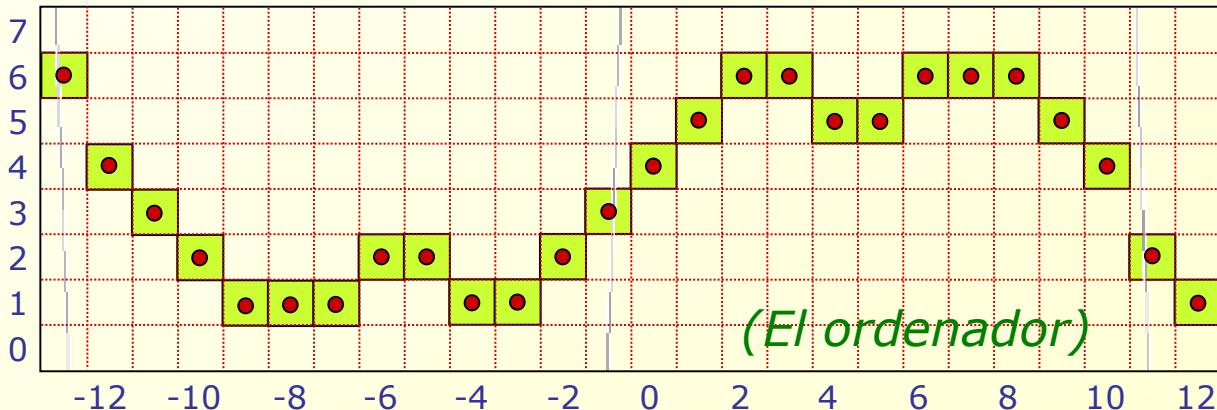
¿Cómo se hace la cuantificación?



Dominio de Y **continuo**



Dominio de Y **discreto**



(El ordenador)

Rango de valores de Y: infinito

Cuantificación

Rango de valores de Y: 1, 2, 3, 4, 5, 6



Digitización



- Digitalización: conversión de la señal eléctrica continua (en espacio y valor) en una señal digital (imagen digital)
- Deben tomarse tres decisiones:
 - Resolución espacial (cuantas muestras tomar)
 - Resolución de la señal (rango dinámico de valores-cuantificación)
 - Patrón de tesselación (Como 'cubrir' la imagen con puntos muestrales)

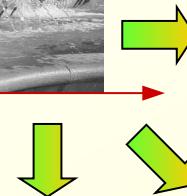


La digitalización de la imagen

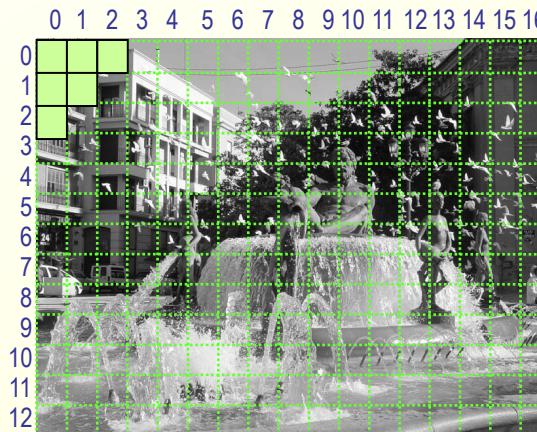
El muestreo en imágenes en B/N



$$z=f(x,y)$$



Rejilla triangular



Rejilla cuadrada



Rejilla cuadrada



Rejilla hexagonal

Muestreo: proceso de selección de algunos puntos representativos de la imagen original.

¿Cuál es mejor?

Pixel: cada uno de los puntos muestreados

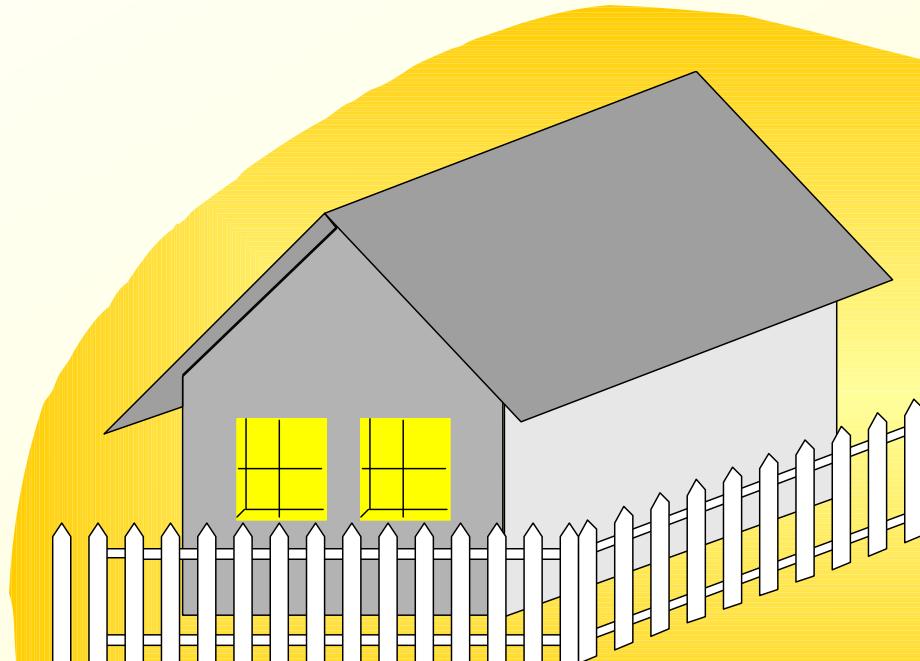


Lo más frecuente es usar un patrón de teselación cuadrado.

¿Cómo de grandes/pequeños elegimos los cuadrados?

¿Cuántos cuadrados?

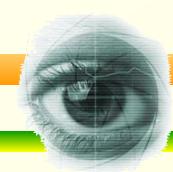
Resolución de la imagen digital: número de cuadrados que contiene la rejilla.



Supongamos que esto es una escena del mundo real y queremos muestrearla de cara a obtener una imagen digital a partir de ella.

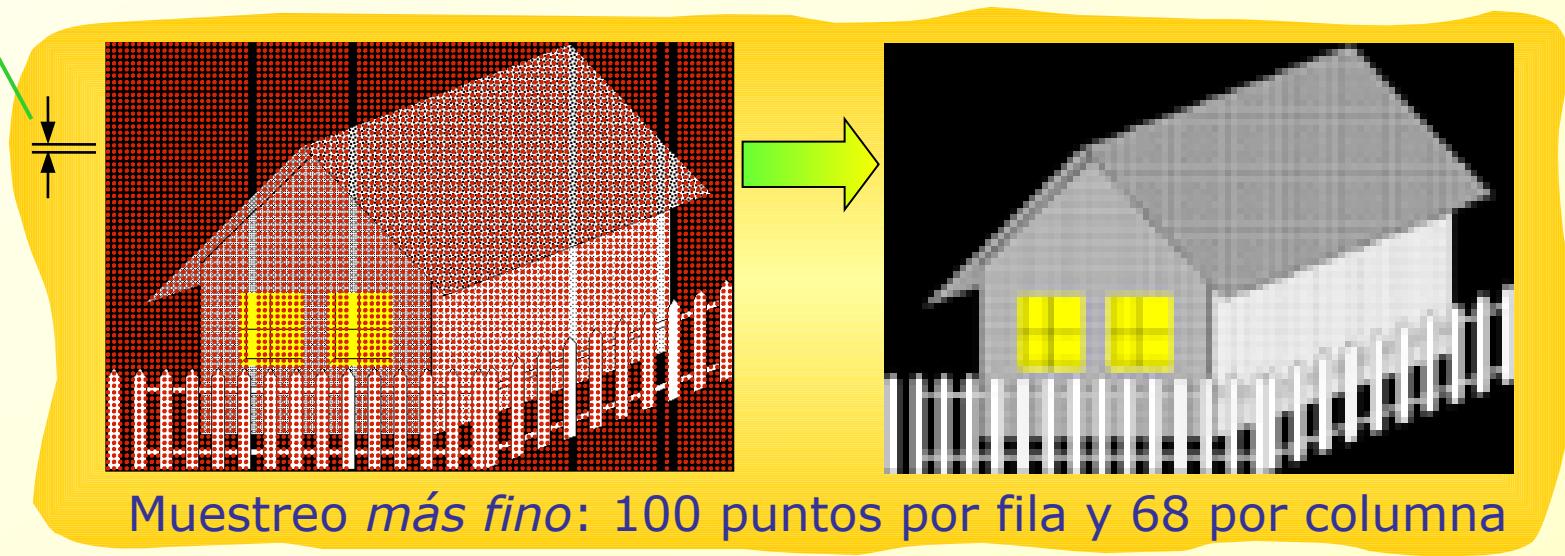
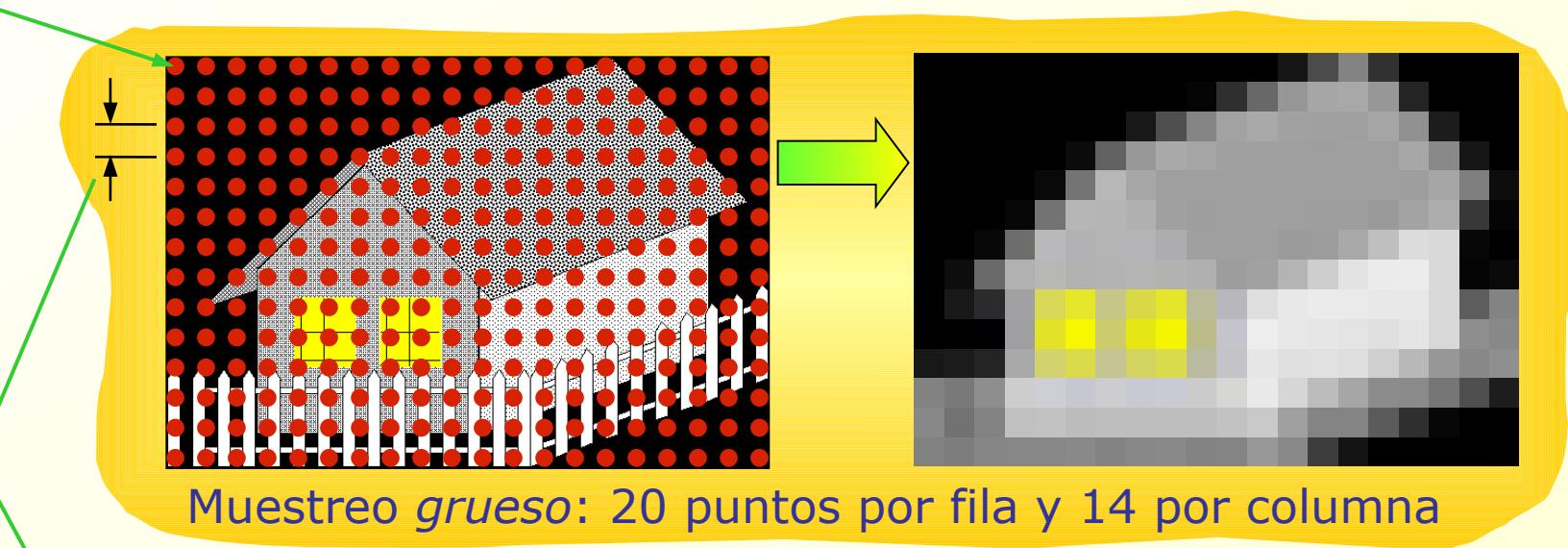


El muestreo en imágenes en B/N



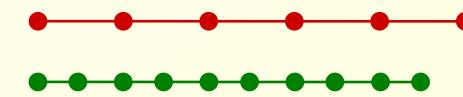
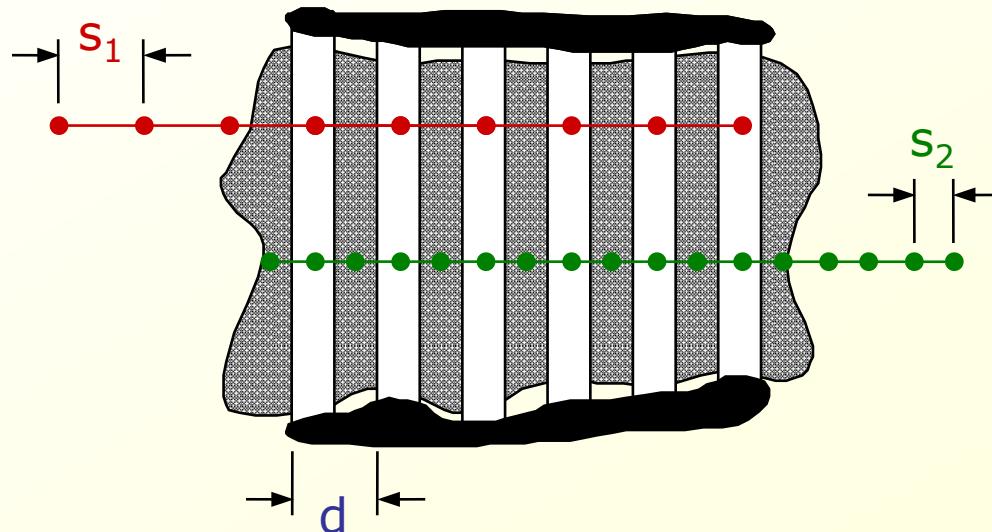
Tomamos una muestra en cada punto rojo

Intervalos de muestreo





¿Cómo elegimos el mejor tamaño de intervalo?



$$S_2 = S_1 / 2$$

S_1 : Tamaño del primer intervalo de muestreo.

S_2 : Tamaño del segundo intervalo de muestreo.

d : Tamaño de la estructura más pequeña que deseamos preservar.

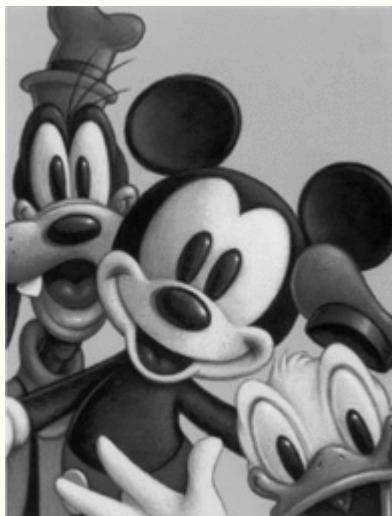
$$d = S_1 = 2 * S_2$$

Para preservar estructuras de tamaño d , el intervalo de muestreo ha de ser menor o igual que $d/2$.

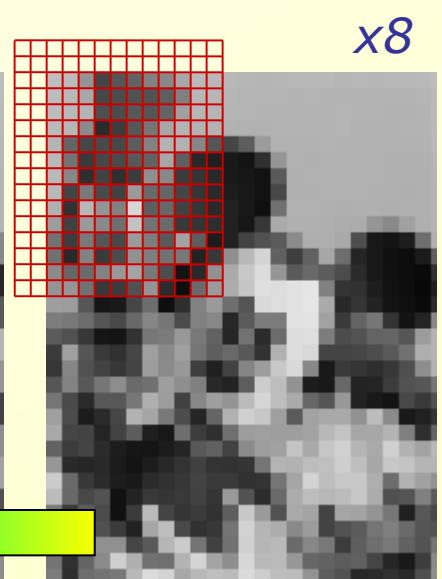
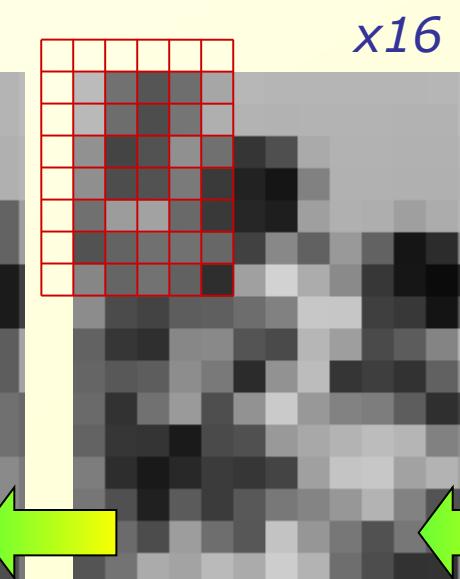
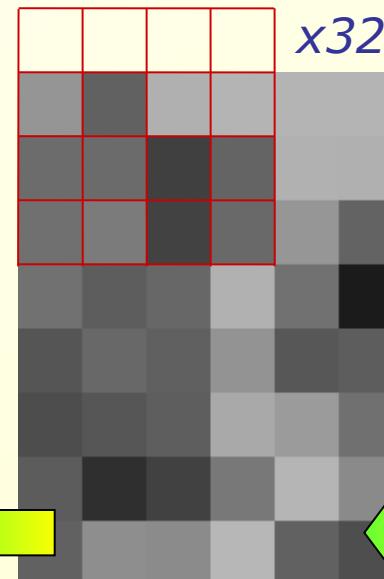
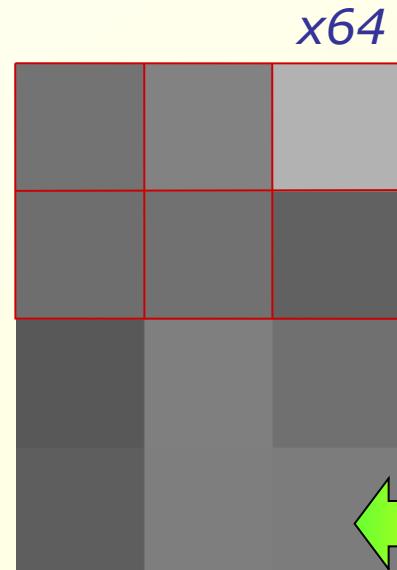
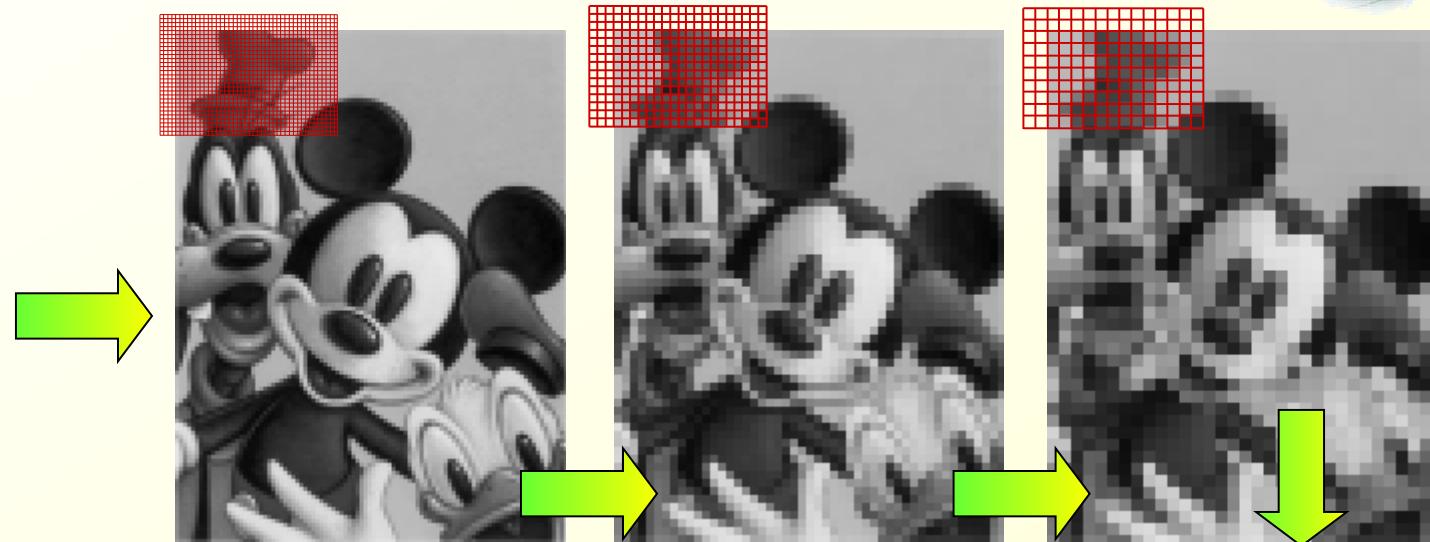


La digitalización de la imagen

Cambiando el tamaño de la rejilla



Original





La digitalización de la imagen

La cuantificación en imágenes en B/N



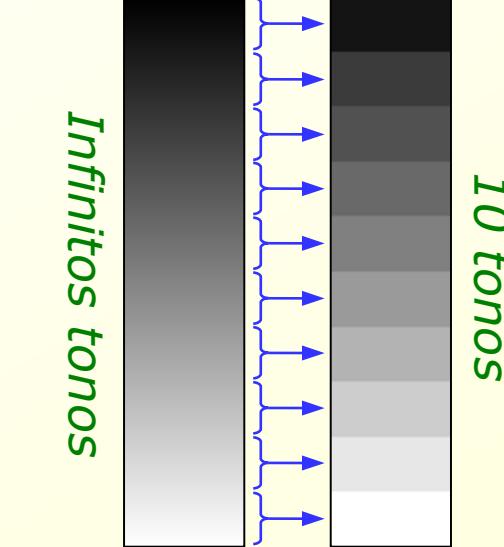
¿Qué hay en cada cuadrado de la retícula?



Muestreo



Cuantificación



2 niveles de gris

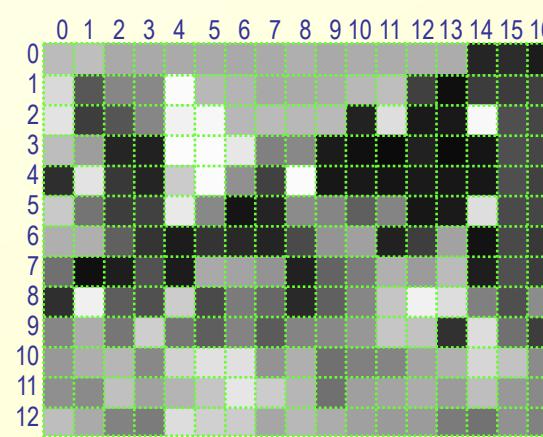


Imagen cuantificada



3 niveles de gris

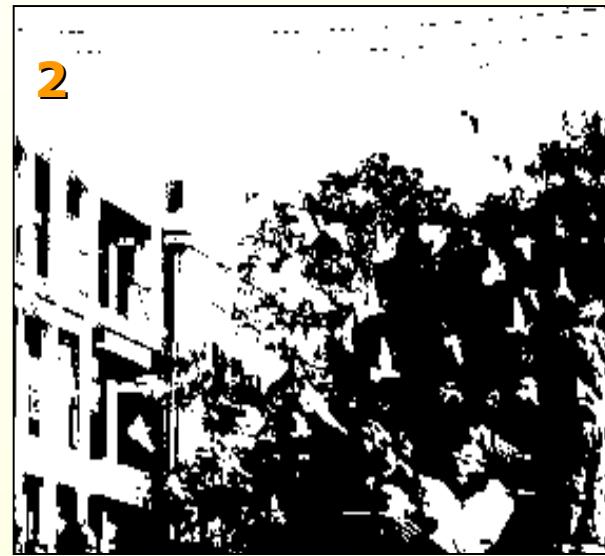


La digitalización de la imagen

La cuantificación en imágenes en B/N



Original



2



3



4



5



La digitalización de la imagen

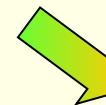
La profundidad de color



Cada píxel almacena un valor entero que codifica un nivel de gris

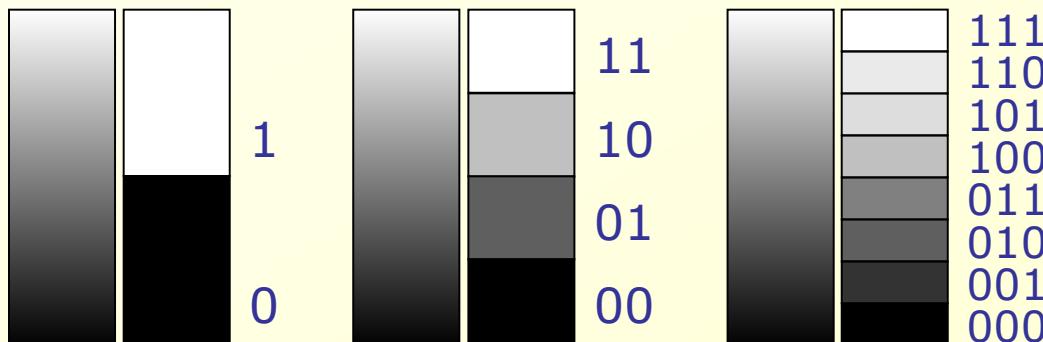
Nº niveles cuantificador	Nº de bits necesarios
2	1
4	2
8	3
...	...
256	8

Para N niveles de cuantificación



Se necesitan $\log_2 N$ bits

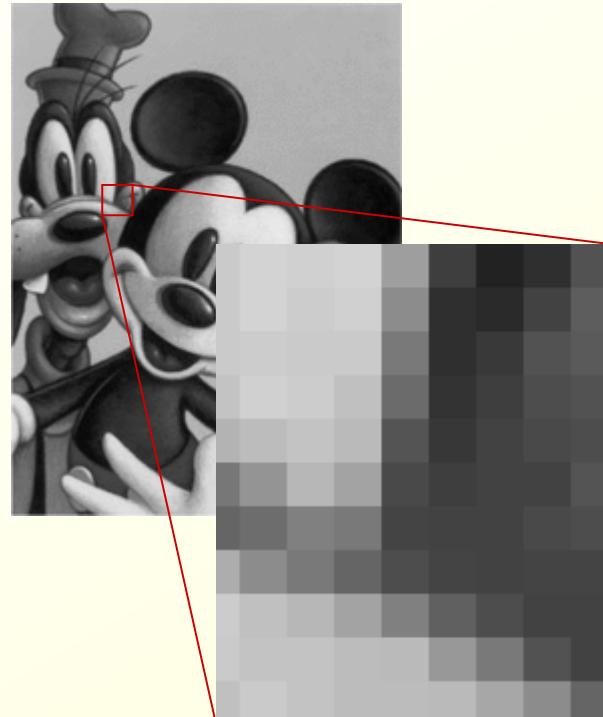
Lo más habitual



Profundidad de color:
Número de bits necesarios para almacenar un píxel



Veamos la imagen más de cerca ...

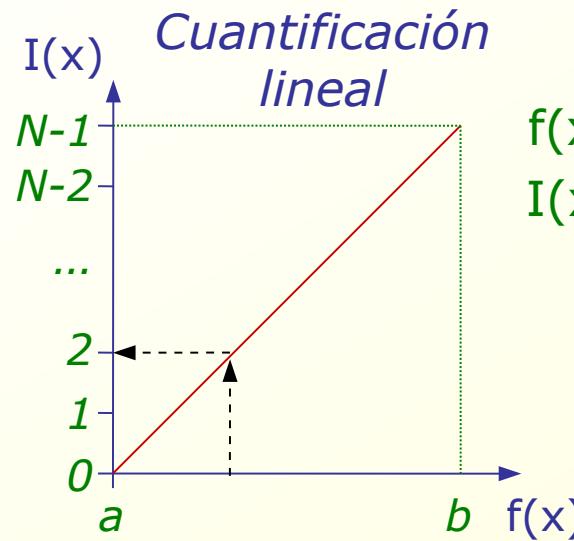


202	211	208	211	158	62	34	47	82	112
202	211	204	208	140	47	42	66	93	109
202	204	202	202	121	47	57	82	90	101
195	208	204	192	107	51	62	77	82	90
179	188	195	186	84	55	66	73	77	84
119	148	183	163	73	62	66	66	84	101
101	109	128	121	68	66	66	73	77	93
173	140	121	101	77	68	66	68	68	90
204	192	183	163	128	96	77	66	66	68
202	195	195	188	186	152	121	82	66	57
192	202	195	188	188	186	167	140	101	73
167	186	188	183	179	173	163	148	146	123

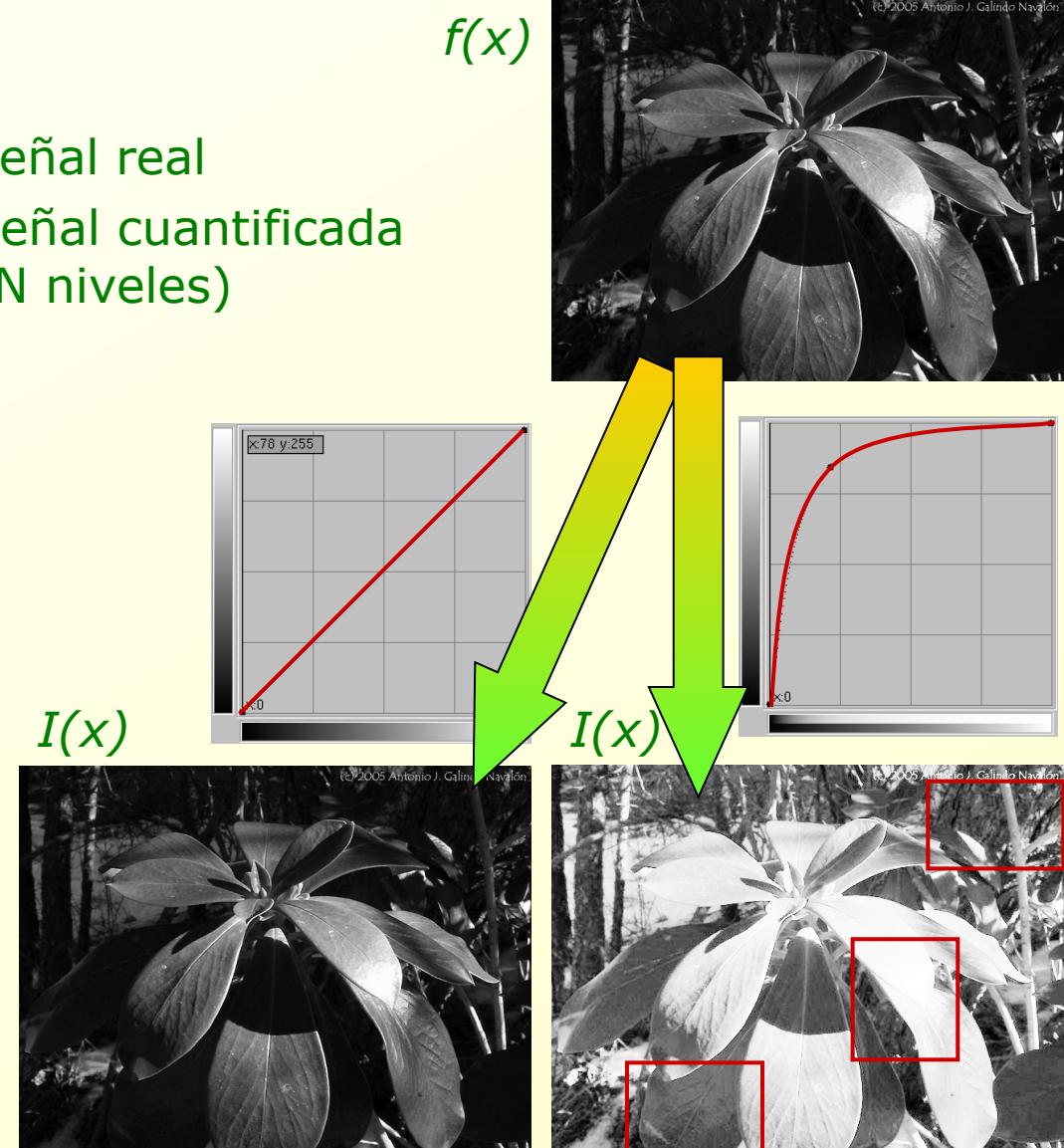
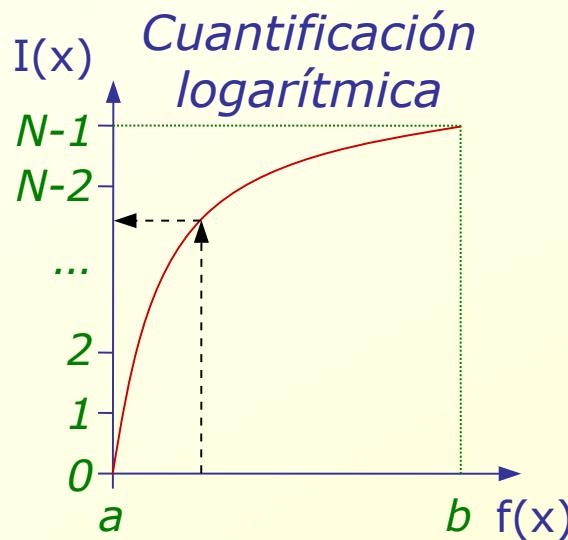
Esta es una imagen de 256 niveles de gris



Otras posibilidades para la cuantificación



$f(x)$ = Señal real
 $I(x)$ = Señal cuantificada
(N niveles)





Las imágenes digitales

La geometría de las imágenes

La digitalización de la imagen

Las imágenes en color

El ruido



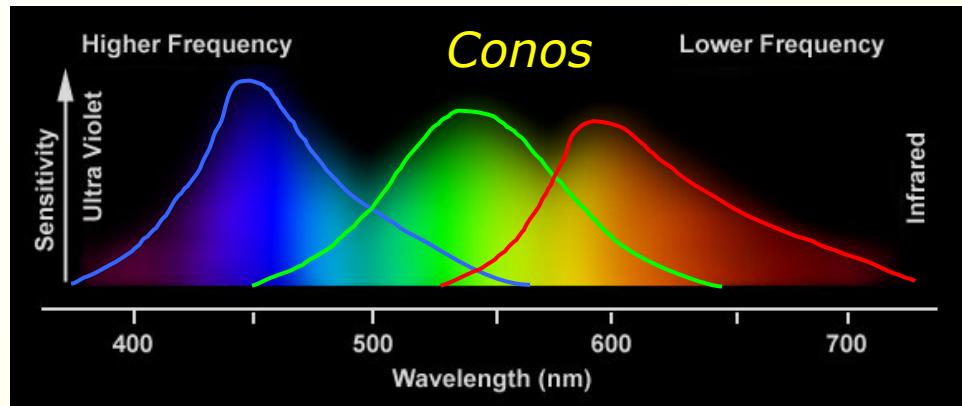
ugr

Universidad
de Granada



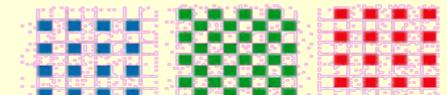
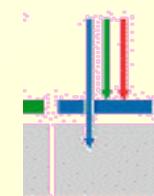
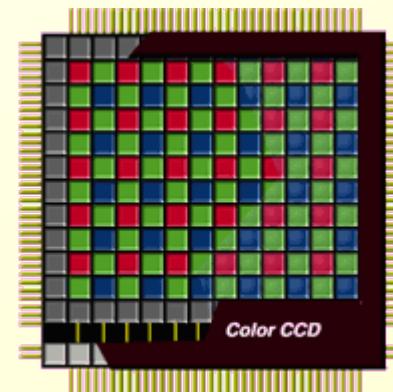
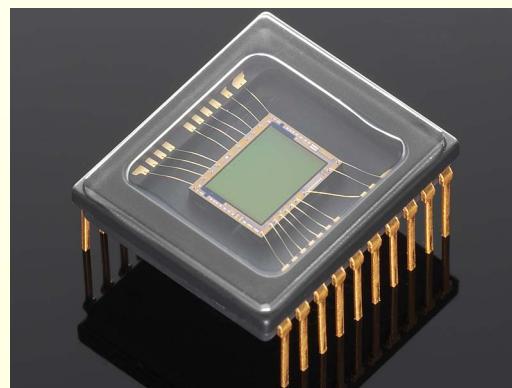


Las imágenes en color El CCD simula al SVH



En el SVH las imágenes en color se forman a partir de la información proporcionada por los conos, que se especializan en distintos colores básicos (rojo, verde, azul).

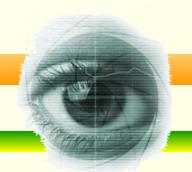
Para obtener imágenes en color con una cámara, el CCD tiene sensores especializados en cada color (R,G,B) formando una retícula.





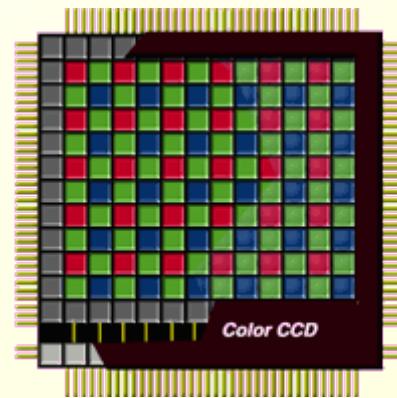
Las imágenes en color

Separación de componentes en el CCD



Escena real

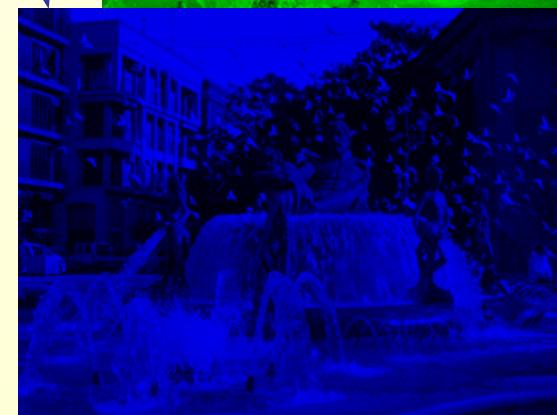
Captación por
la cámara



R



G

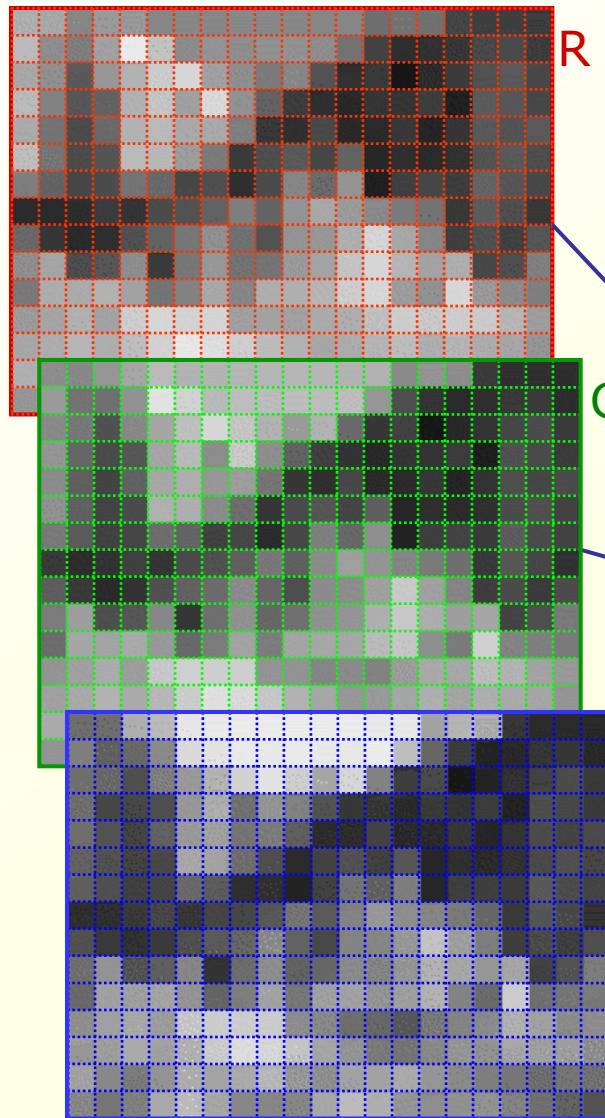


B

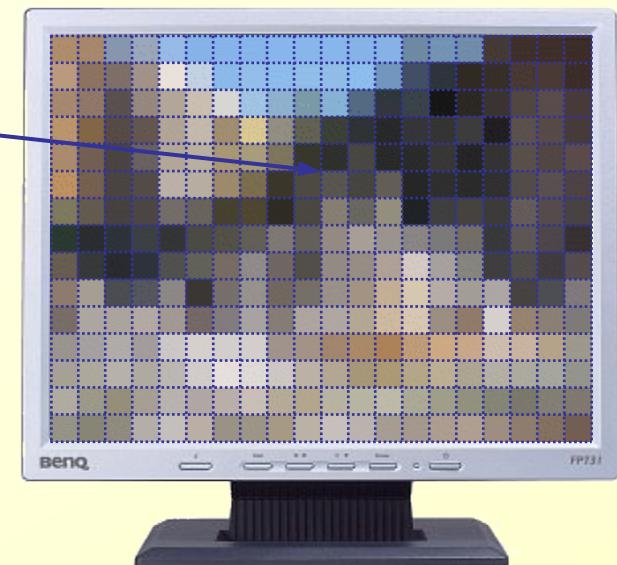
Existen los mismos problemas de muestreo y cuantificación que en las imágenes de niveles de gris (para cada una de las componentes RGB).



La suma de componentes crea la imagen

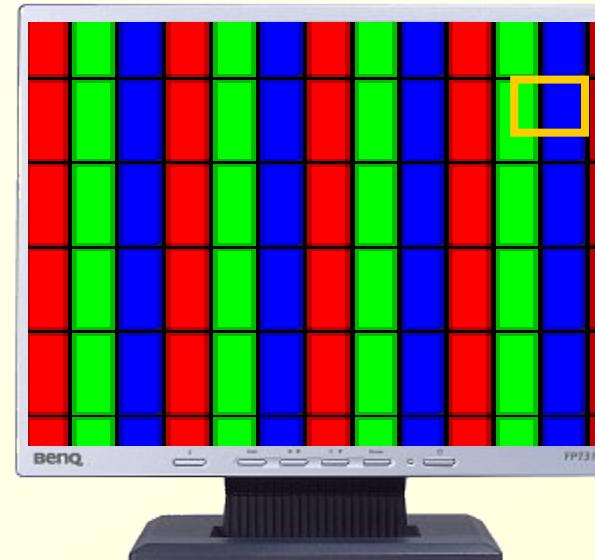
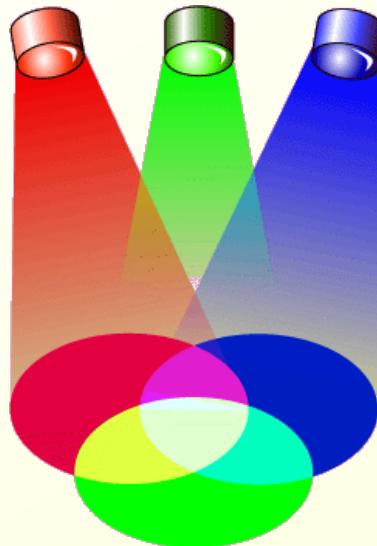


La representación en el ordenador de la imagen en color consta de tres imágenes de intensidades (niveles de gris), una para cada componente registrado.



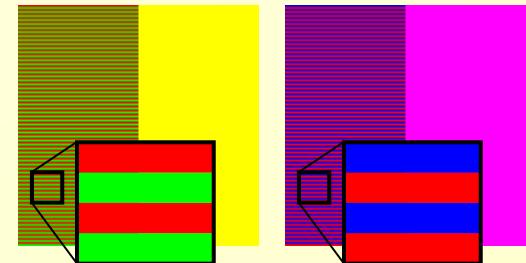
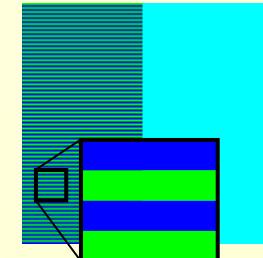


Este modelo de representación del color se conoce como **RGB** y es muy usado por distintos tipos de hardware.



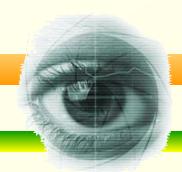
Ejemplo: monitor

Píxel RGB

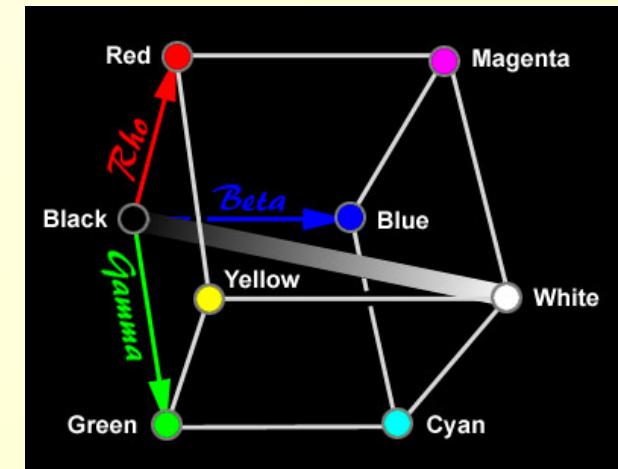
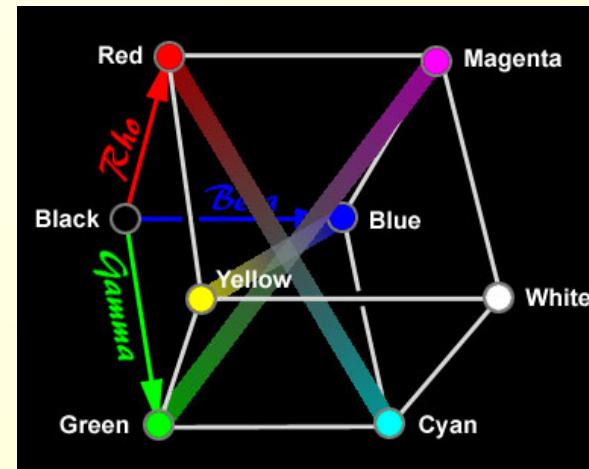
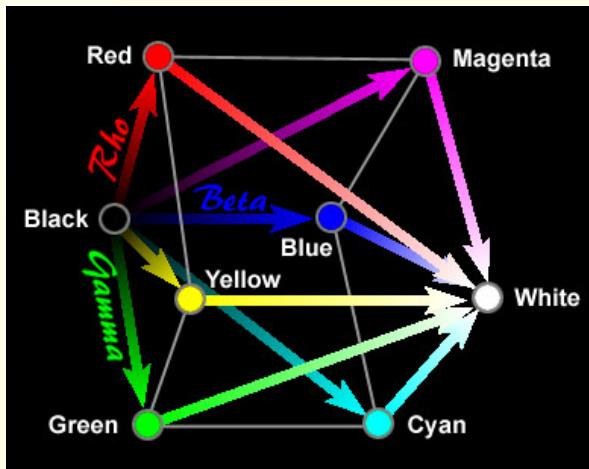
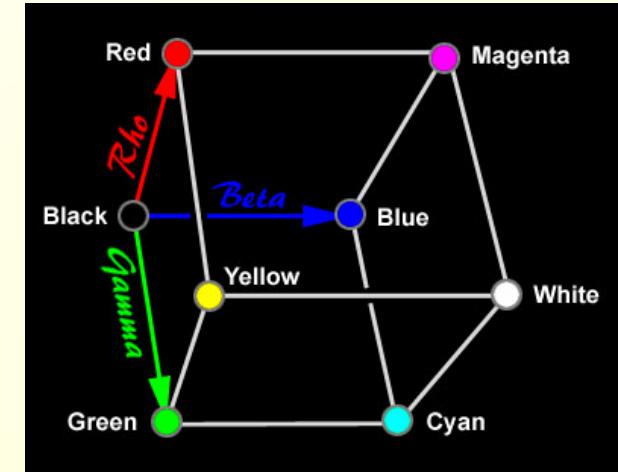
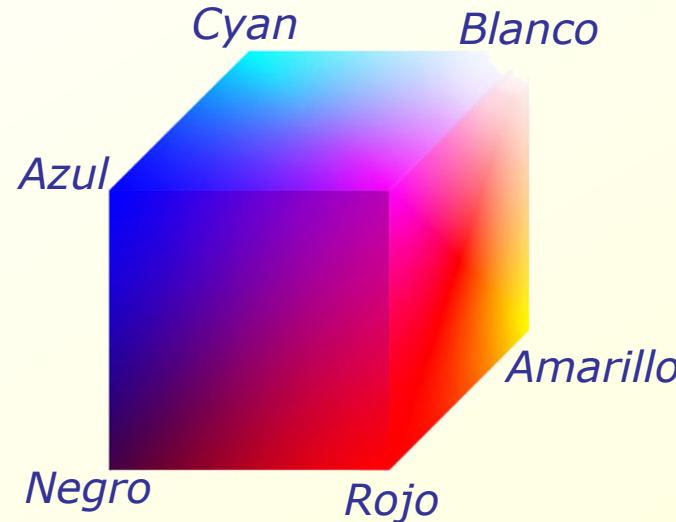


Es un modelo de color de tipo **aditivo**.

Un color se obtiene **sumando** los colores básicos en distintas proporciones.



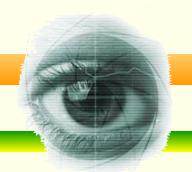
El modelo RGB





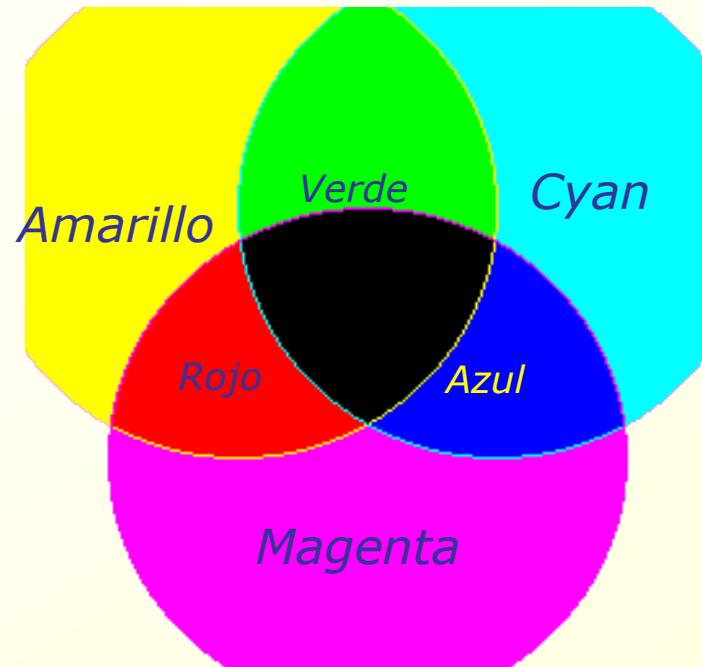
Las imágenes en color

El modelo de color RGB





Es un modelo *subtractivo*: La adición de un componente a la mezcla hace que **no** se reflejen ciertas longitudes de onda.



Cyan { Absorbe **rojo**
Refleja azul y verde

Magenta { Absorbe **verde**
Refleja **rojo y azul**

Amarillo { Absorbe **azul**
Refleja **rojo y verde**

CMY ⇔ RGB

$$R = 1 - C \quad G = 1 - M \quad B = 1 - Y$$

Se suele usar en dispositivos de impresión en papel (impresoras, ...)



Las imágenes en color

El modelo de color CMY



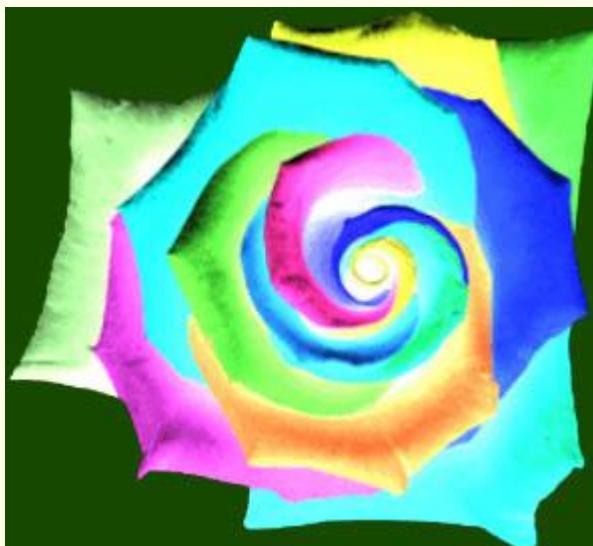
Original



Cyan



Amarillo



Espacio
CMY



Magenta



Las imágenes en color

El modelo de color HSI

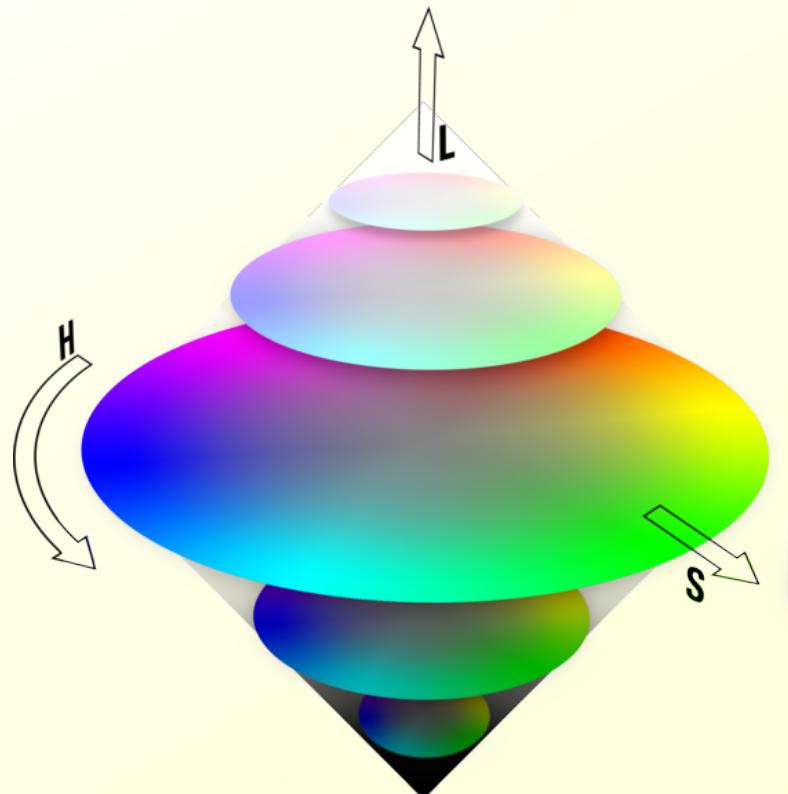


Modelo de color **HSI** o **HSL**:

Hue (Tono)

Saturation (Saturación)

Intensity/Luminosity (Brillo)



RGB → HSI

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

$$\phi = \cos^{-1} \left(\frac{\frac{1}{2}((R-G)+(R-B))}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right)$$

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

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

HSI → RGB

$$R = I \left(1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right)$$

$$B = I(1 - S)$$

$$G = 3I - (R + B)$$

R, G, B, H, S, I todos normalizados a [0,1]

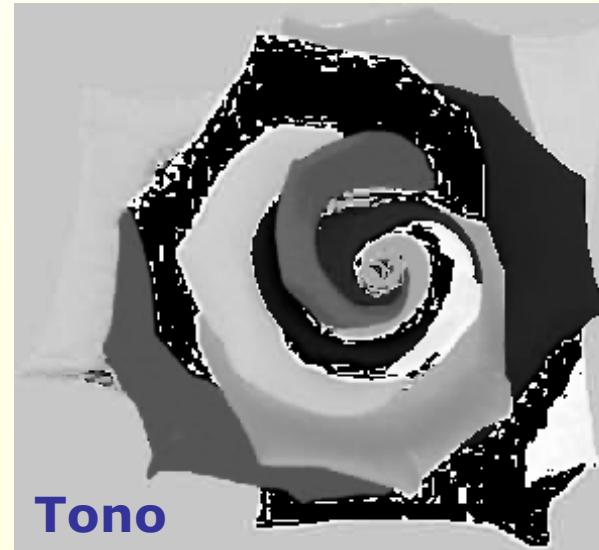


Las imágenes en color

El modelo de color HSI



Original



Tono



Saturación



Brillo

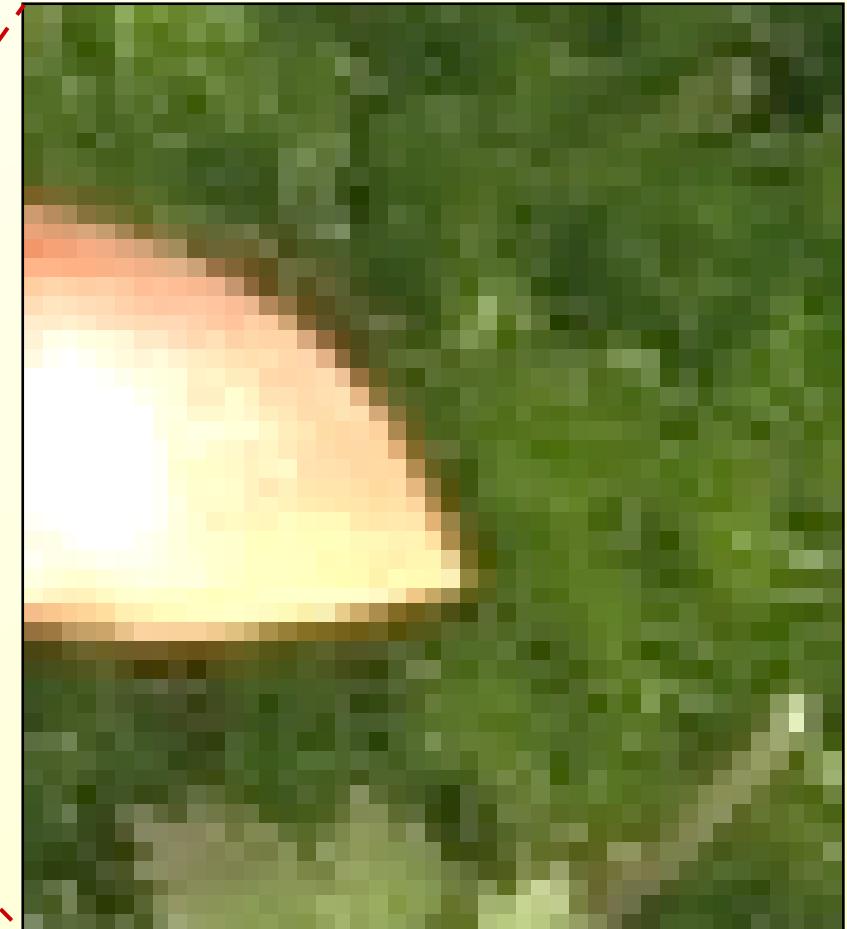


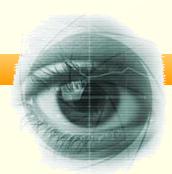
Las imágenes en color

El muestreo y la cuantificación



En las imágenes en color tenemos los mismos problemas que en las de blanco y negro: cada banda de color es una imagen de niveles de gris.





Las imágenes digitales

La geometría de las imágenes

La digitalización de la imagen

Las imágenes en color

El ruido



ugr

Universidad
de Granada





El ruido

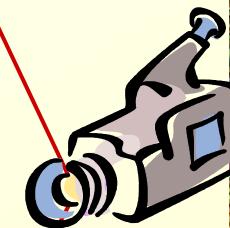
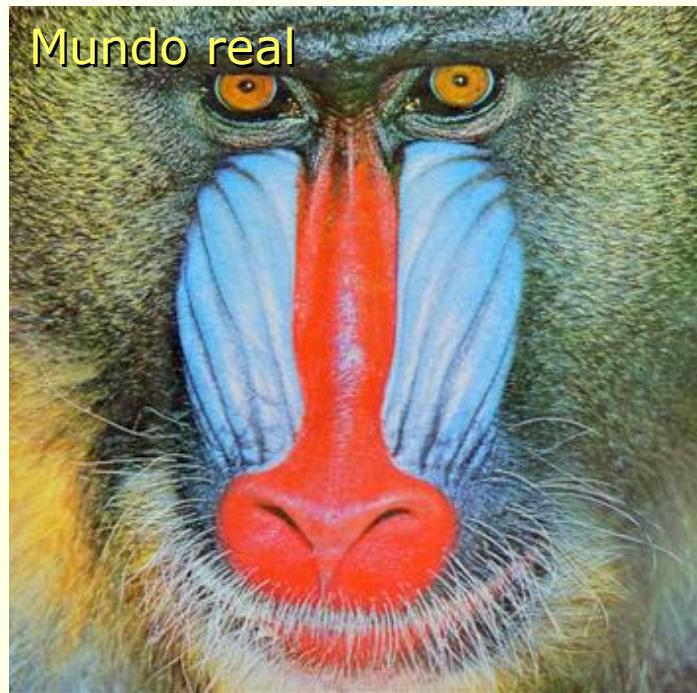
¿Qué es el ruido?



Durante el proceso de captación de la imagen se cometan errores:

- Debidos al CCD.
- Debidos al medio de transporte de la luz.
- Debidos a un mal enfoque.
- etc.

El valor de un pixel no coincide exactamente con el valor real.





Mundo real (valores teóricos)

202	211	208	211	158
202	211	204	208	140
202	204	202	202	121
195	208	204	192	107
179	188	195	186	84
119	148	183	163	73
101	109	128	121	68

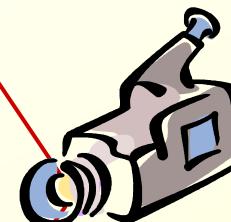


Imagen digitalizada

209	213	208	210	152
197	217	201	209	143
202	201	201	203	129
191	212	205	191	109
182	189	192	185	81
111	141	186	161	77
103	102	129	120	60

Los valores de los píxeles sufren variaciones aleatorias respecto del valor que deberían tener.



Tipos de ruido: ruido aditivo



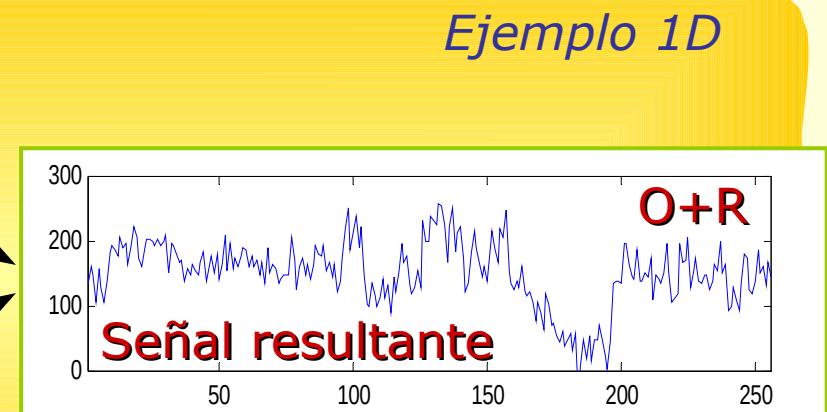
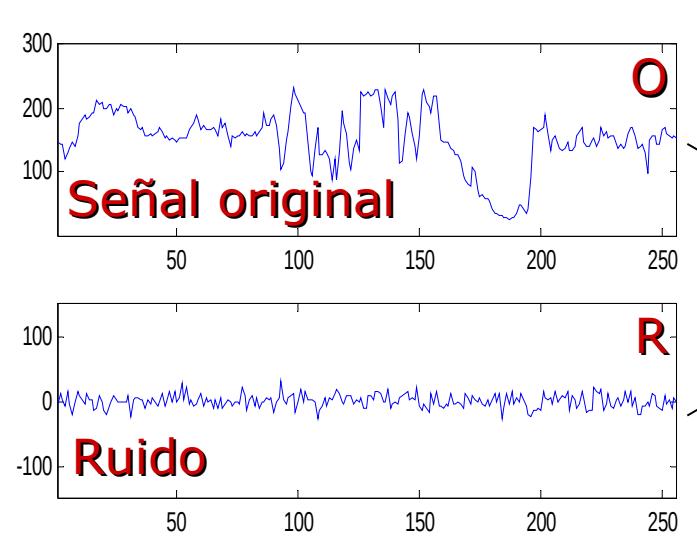
Generalmente, se considera que el ruido es una señal independiente de la imagen original:

$$I(x, y) = O(x, y) + R(x, y)$$

Imagen original

Ruido

Ruido de tipo aditivo





Tipos de ruido: ruido aditivo



Imagen original

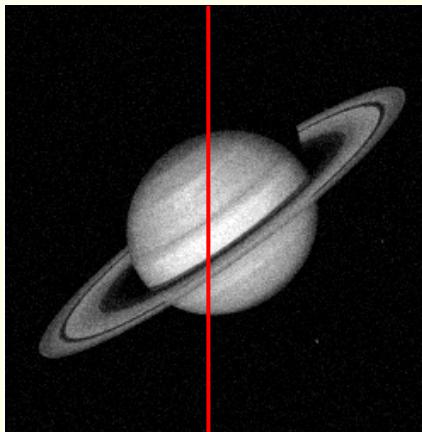
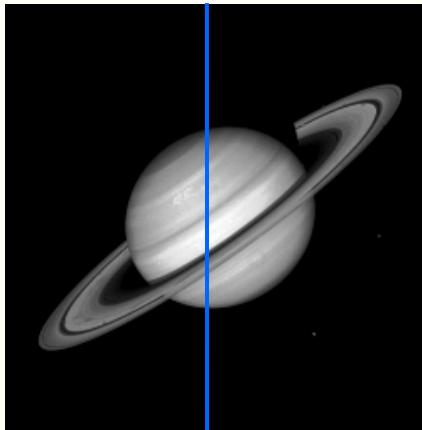
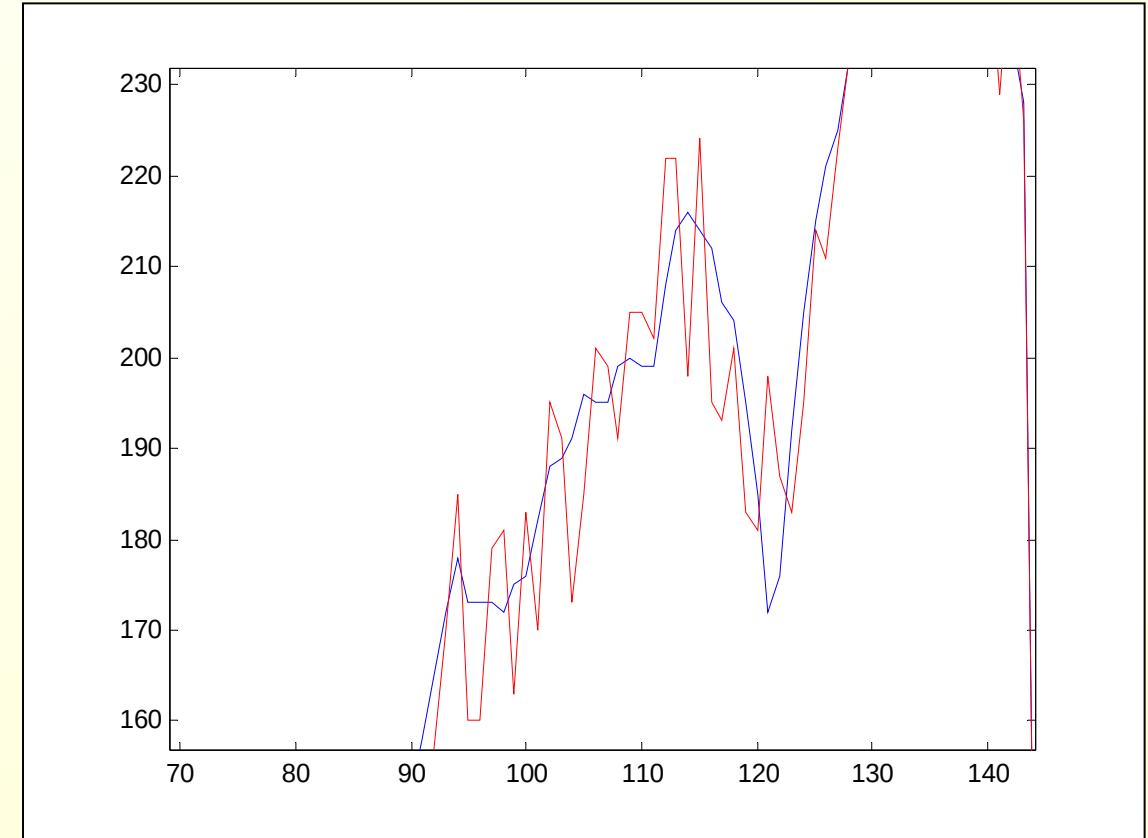


Imagen con ruido





Ruido **multiplicativo**:

En ocasiones la magnitud del ruido depende de la magnitud de la señal:

$$I(x, y) = O(x, y) + R(x, y) \quad O(x, y) = O(x, y)[R(x, y) + 1]$$

Si la magnitud del ruido es muy alta en comparación con la señal original, este modelo se puede aproximar por:

$$I(x, y) = R(x, y)O(x, y)$$

Ruido **impulsivo**:

Se caracteriza porque los píxeles ruidosos destacan mucho respecto de los niveles de gris del entorno.

Sal y pimienta: los píxeles ruidosos están saturados (al blanco o al negro).





Modelos de ruido: el modelo gaussiano

¿Qué tipo de función es $R(x,y)$? Es una función con valores aleatorios.

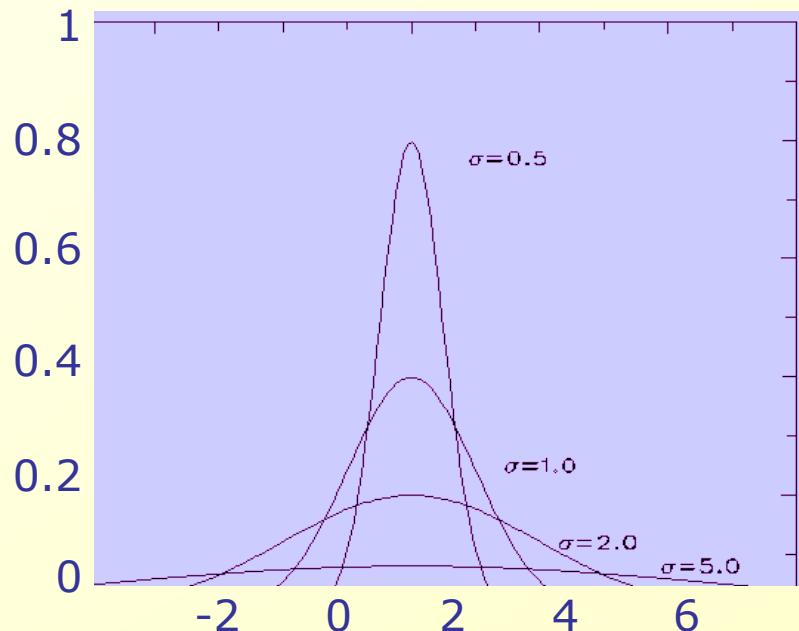
Dependiendo del caso concreto, existen diversos modelos para aproximar los valores de $R(x,y)$. El más usado: **ruido gaussiano**.

Cada pixel es un valor aleatorio que sigue una distribución gaussiana cuya función de densidad es:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

μ *Media*

σ *Desviación estándar*

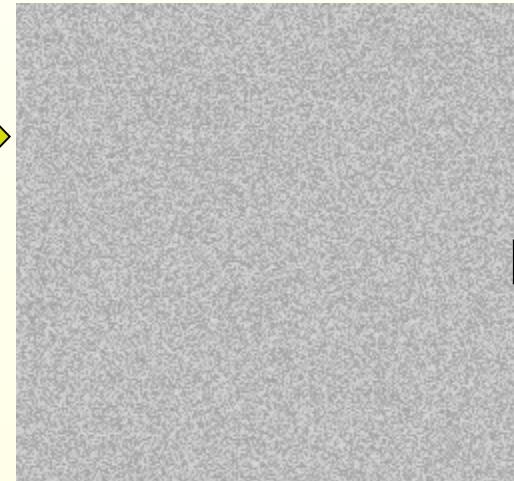
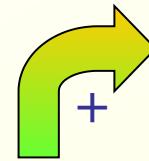




Modelos de ruido: el modelo gaussiano

$$\sigma = 10 \quad \mu = 0$$

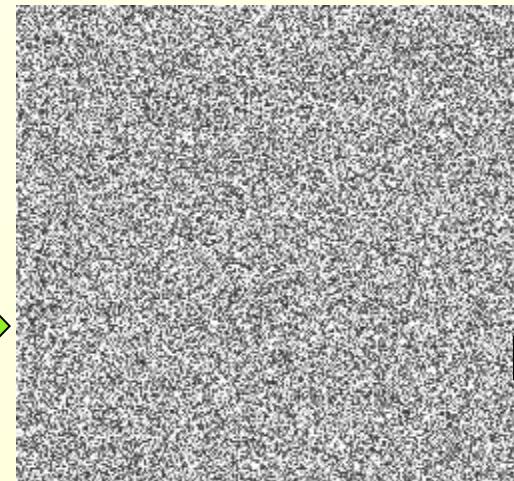
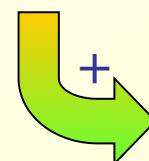
Original



Resultante



=



$$\sigma = 25 \quad \mu = 0$$

Resultante



=