

# Procesamiento de Imágenes y Visión Artificial (con un toque de Aprendizaje Automático)

Departamento de Procesamiento de Señales  
Instituto de Ingeniería Eléctrica



Hemos creado el capítulo Uruguayo de la IEEE Signal Processing Society; están invitados a sumarse y participar!

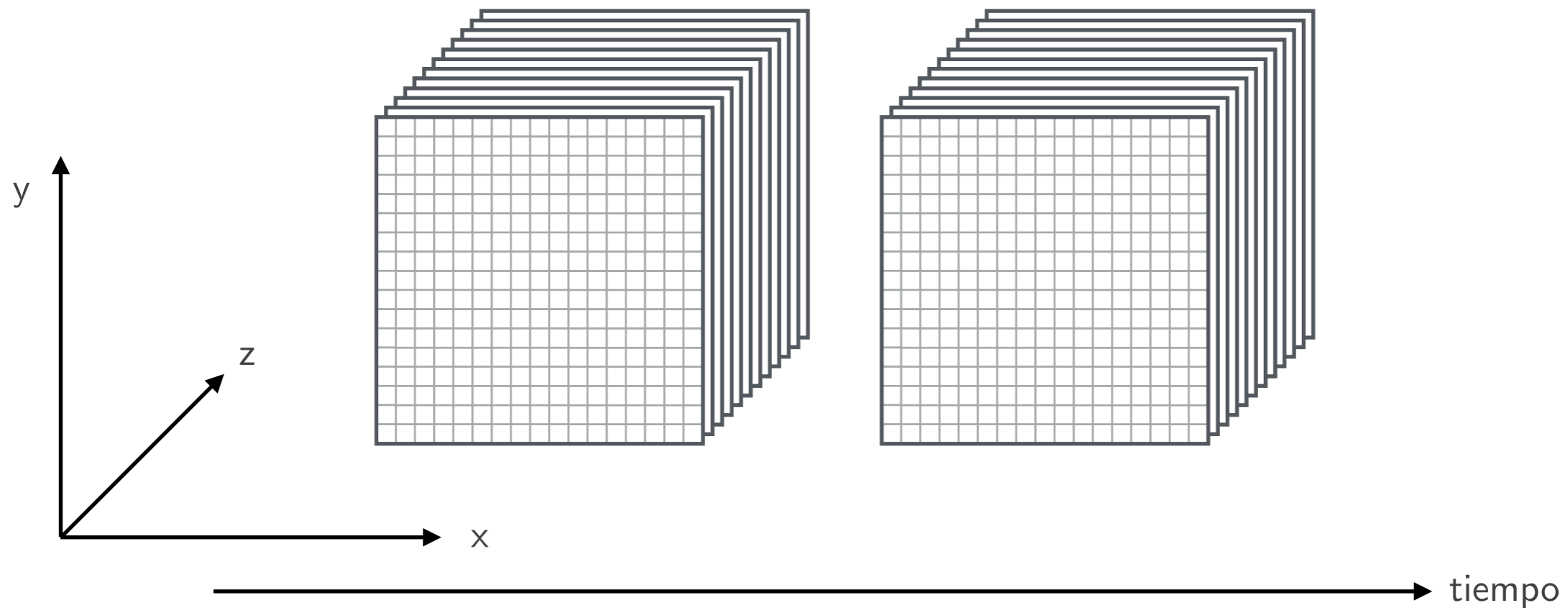


- Temario:
  - Hoy: Imágenes digitales: adquisición, representación y visualización imágenes (ImageJ/Fiji). Histogramas y operaciones de pixel.
  - Miércoles 3/Oct: Filtrado espacial lineal y no lineal. Análisis en frecuencia.
  - Viernes 5/Oct: Restauración de ruido y blur. Análisis de imágenes a color y textura.
  - Lunes 8/Oct: Segmentación.
  - Miércoles 10/Oct: Aprendizaje automático y su aplicación a la visión artificial. Cierre.
- Charlas con notas teóricos y notas de práctico para realizar en PC con Fiji.
- Curso: *Tratamiento de Imágenes por Computadora*
  - Curso semestral de grado, posgrado y actualización (1er. semestre)
- Entorno de Aprendizaje Virtual (EVA)
  - <https://eva.fing.edu.uy/course/view.php?name=timageeee>
  - Diapositivas, prácticos, imágenes, plugins, código, referencias...
  - Foro.

# Introducción

- Gonzalez, R & Woods, R (2002). Digital image processing. Pearson Education (2002). (<http://www.imageprocessingplace.com/>)
- Burger, W & Burge, MJ. Principles of Digital Image Processing (3 libros). Springer
- Burger, W & Burge, MJ (2007). Digital Image Processing, An Algorithm Introduction to Java. Springer, ISBN 978-1-84628-379-6. (<http://www.imagingbook.com/>)
- Bankhead, Peter. (2014). Analyzing fluorescence microscopy images with ImageJ. ([https://www.researchgate.net/publication/260261544\\_Analyzing\\_fluorescence\\_microscopy\\_images\\_with\\_ImageJ](https://www.researchgate.net/publication/260261544_Analyzing_fluorescence_microscopy_images_with_ImageJ))
- Szeliski, R., 2010. Computer Vision: Algorithms and Applications, Springer Science & Business Media. (<http://szeliski.org/Book>)
- FIJI/ImageJ
  - ImageJ: <https://imagej.nih.gov/ij/docs/pdfs/ImageJ.pdf>
  - ImageJ Tutorial: <http://imagej.nih.gov/ij/docs/examples/>
  - Image Analysis with Fiji (<http://imagej.github.io/presentations/fiji-introduction/>)

- Formación de los datos: cámara, tomógrafo, ecógrafo, microscopio, telescopio, ...
- Dimensionalidad de los datos: 2D, 3D, secuencias de imágenes / video (2D, 3D, ...)
- Datos escalares o vectoriales (color, canales, hiperespectral)



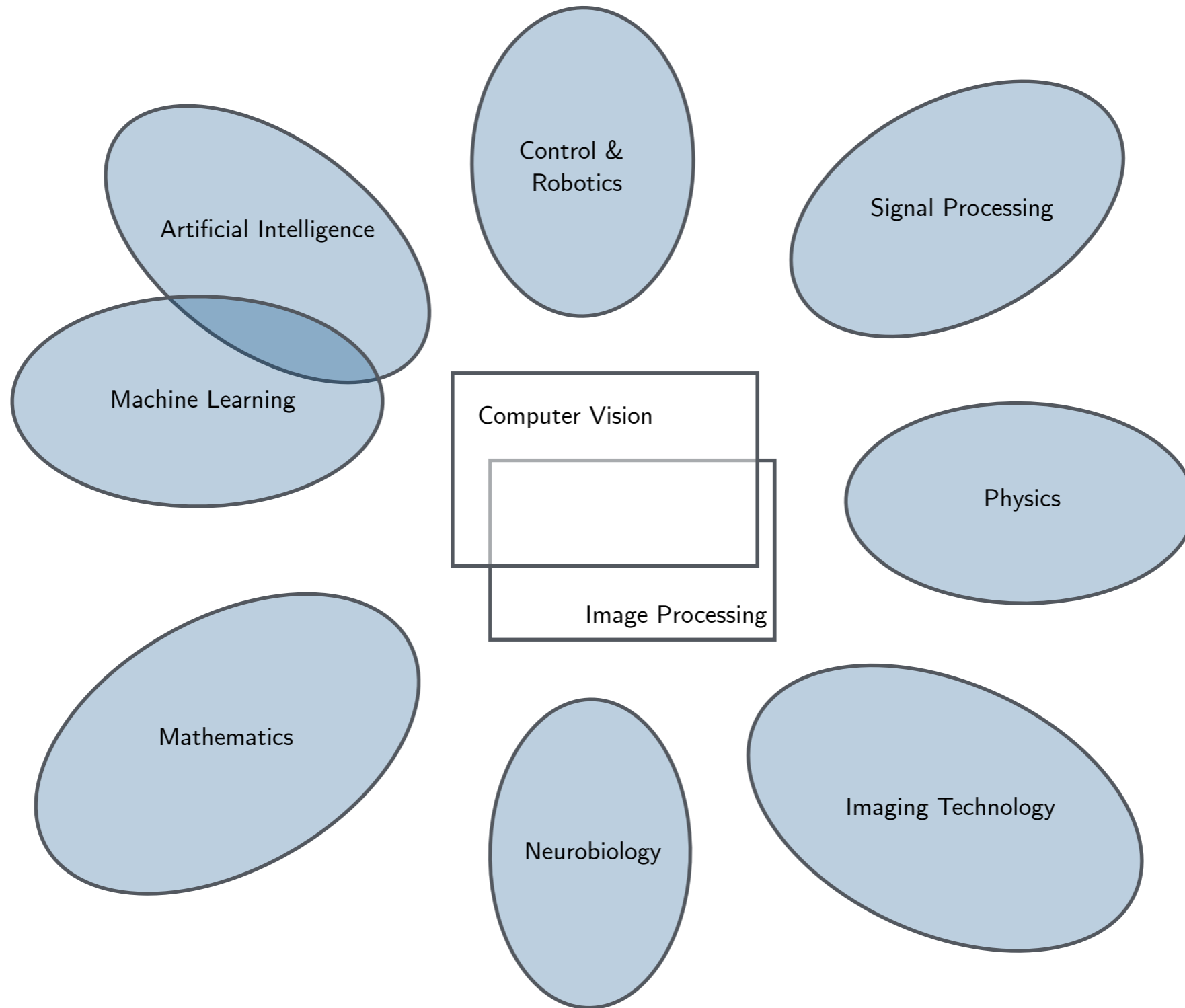
- Conjunto de algoritmos que permiten obtener una representación **visual** del mundo **suficiente** para la realización de una **tarea** dada.
- Definición de la tarea y del **mundo**
  - *correcta discusión y definición inicial del problema, y en una estrecha relación con los usuarios o clientes del sistema.*
- Compromiso
  - cantidad de información adquirir, almacenar y procesar en un tiempo útil y la definición precisa de la tarea.
- Análisis de la escena (*el mundo*)
  - Detección y análisis de los **descriptores** (vector) en función de la tarea.
  - Procesamiento de señales
  - Reconocimiento de Patrones / Aprendizaje Automático



Farmbot

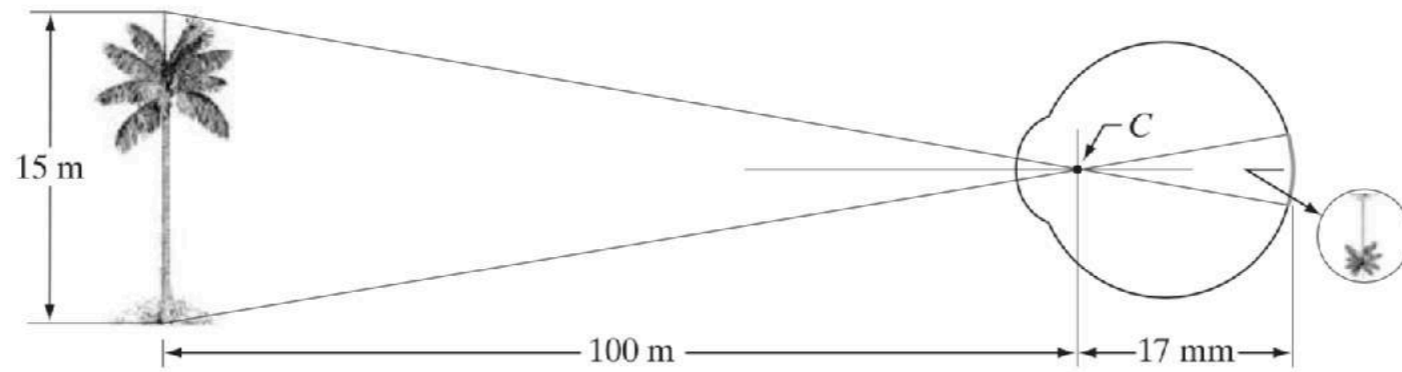


Justin Thomas, Kaushil Sreenath, and Joe Palin

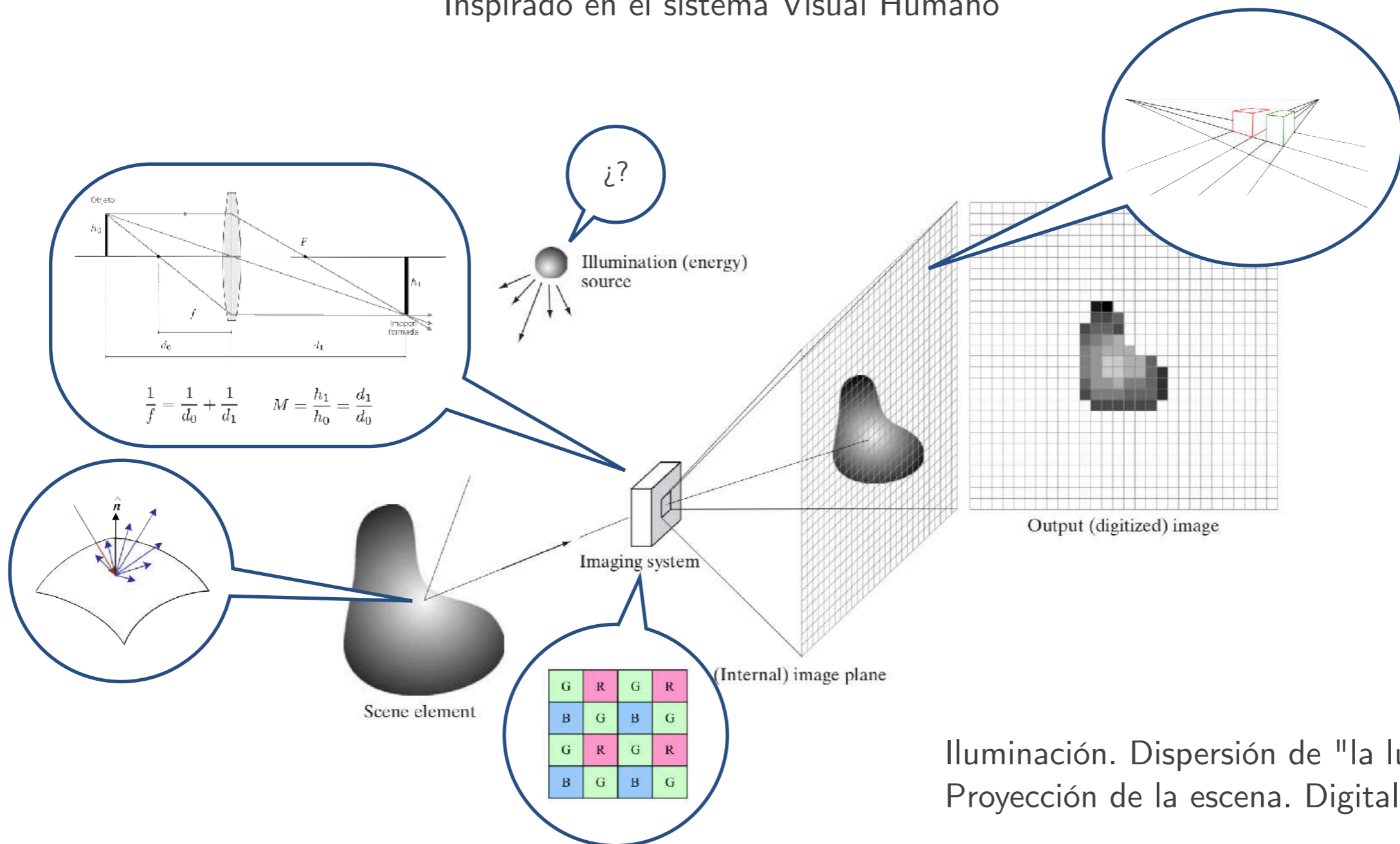




# Adquisición y formación de imágenes

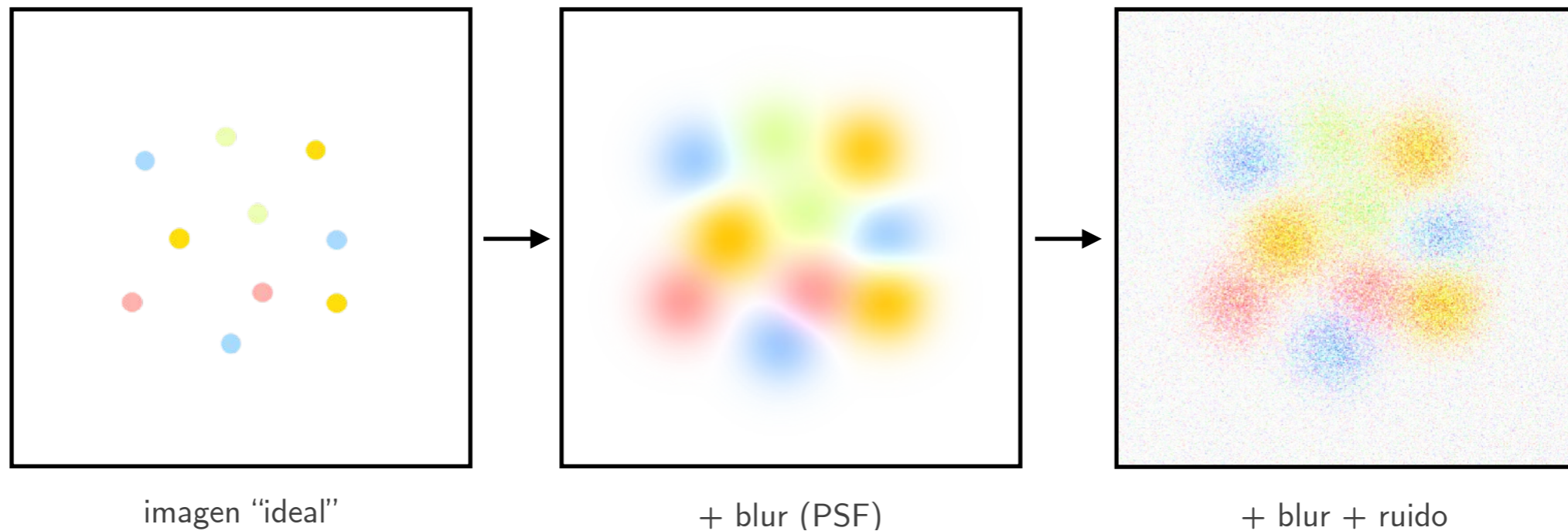


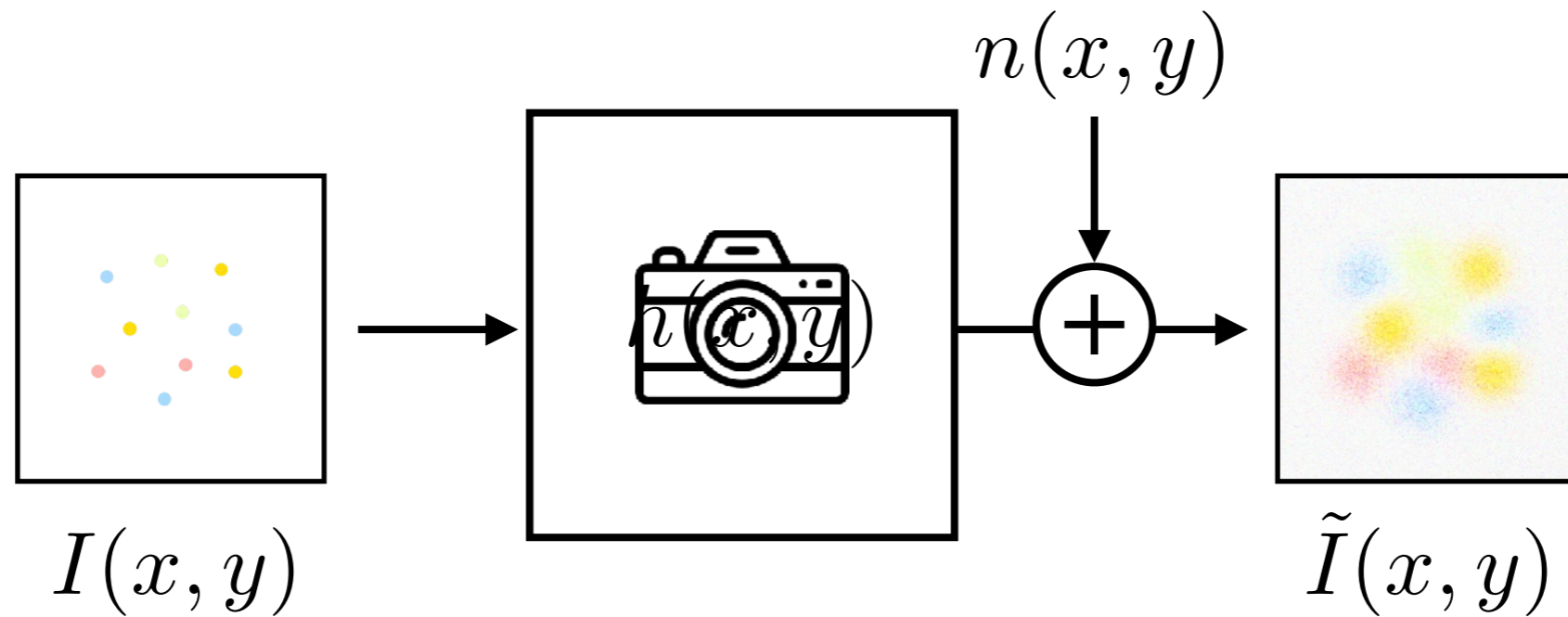
Inspirado en el sistema Visual Humano



Illuminación. Dispersión de "la luz".  
Proyección de la escena. Digitalización.

- Incertidumbre en el espacio (*blur*): *Point Spread Function* (PSF)
- Fotones de un punto no terminan en el mismo “pixel”.
  - Errores en medidas de (co)localización, tamaño, ...
- Incertidumbre en el intensidad (ruido)
  - Emisión aleatoria, y ruido electrónico.
  - Errores en las medidas de intensidad (SNR).

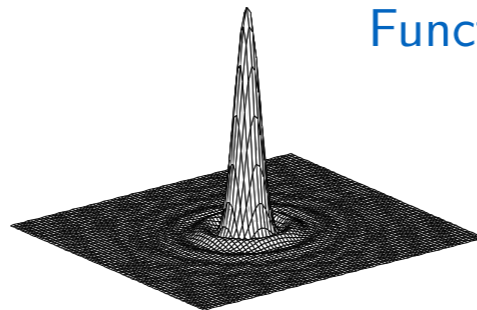




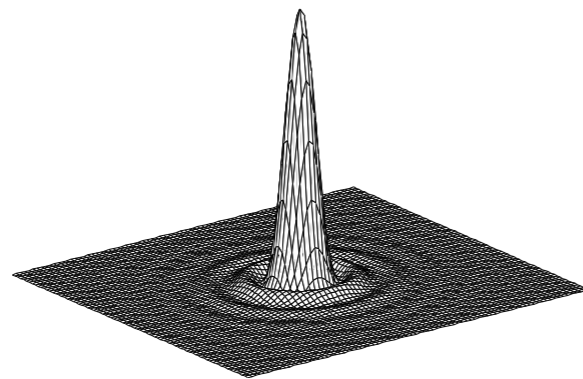
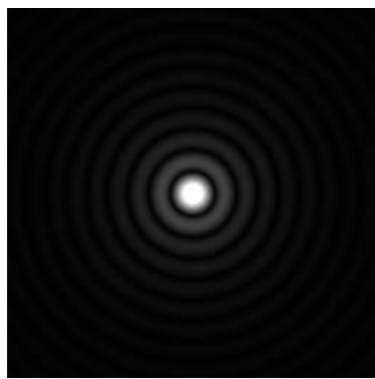
$$\tilde{I}(x, y) = I(x, y) * h(x, y) + n(x, y)$$

Point Spread Function

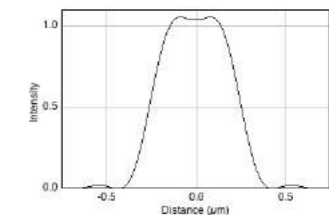
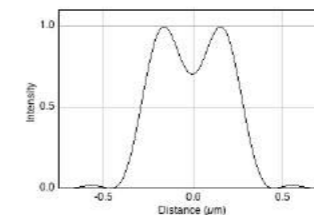
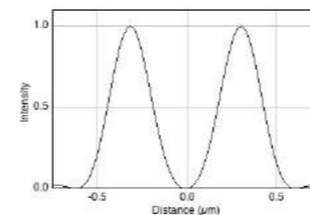
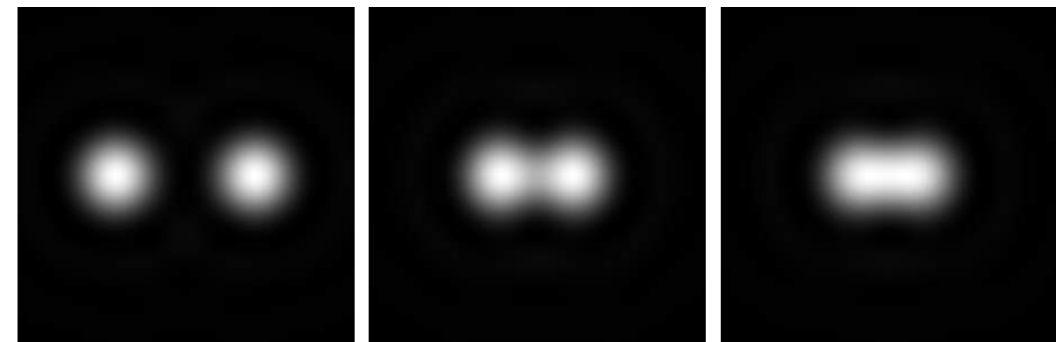
Ruido



- La intensidad detectada está afectada por la PSF (convolución).
  - Es una **redistribución** de la intensidad en la imagen (3D)
- La PSF depende del tipo de equipo (cámara), longitud de onda detectada y la apertura numérica (NA) del objetivo.
  - Tamaño de cientos de nm: mayor efecto en objetos “pequeños” (microscopía, astronomía)
- Fenómeno físico (difracción de la luz), además de defectos constructivos de lentes.
- Determina la resolución: capacidad de determinar dos objetos cercanos diferentes.
- Efectos en tamaño, intensidad y número de estructuras detectadas.

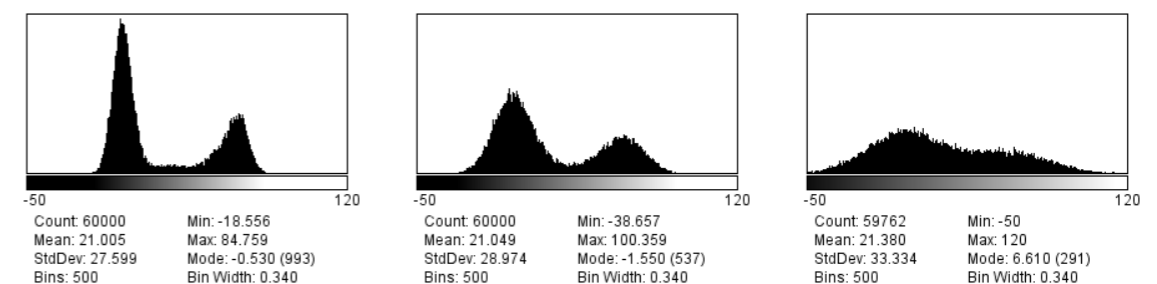
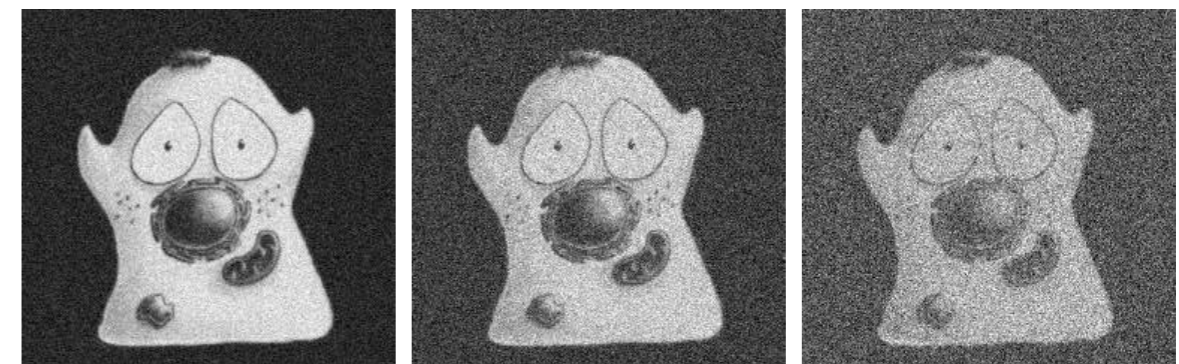
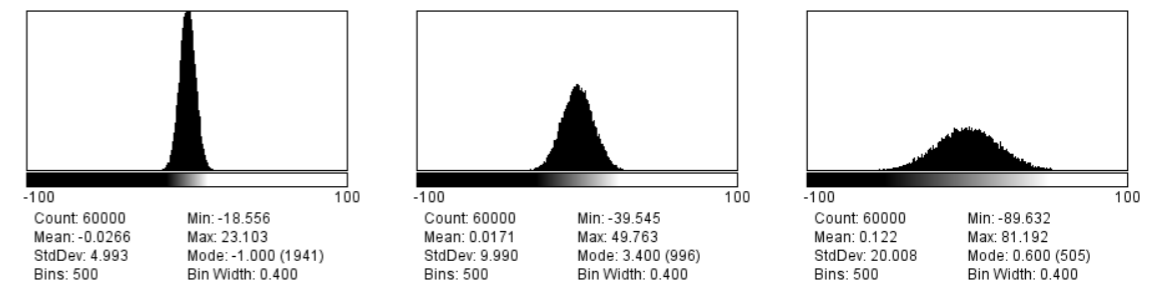
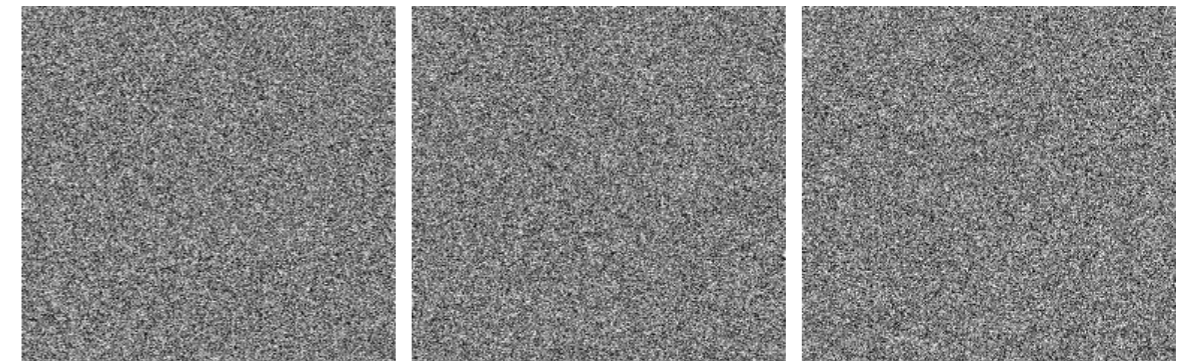


PSF en 3D



Resolución

- Fuentes de ruido
  - Ruido de fotones: depende de la señal
  - Ruido de adquisición: independiente de la señal, depende del detector
- En general para reducir el ruido hay que aumentar la señal (SNR).
  - Exposición, iluminación, procesamiento, ...
- Características
  - Aditivo
  - Aleatorio (proceso estocástico)
    - Gaussiana (ruido de adquisición)
    - Poisson (ruido de fotones)
    - Desviación estándar (potencia)
  - Independiente en cada pixel

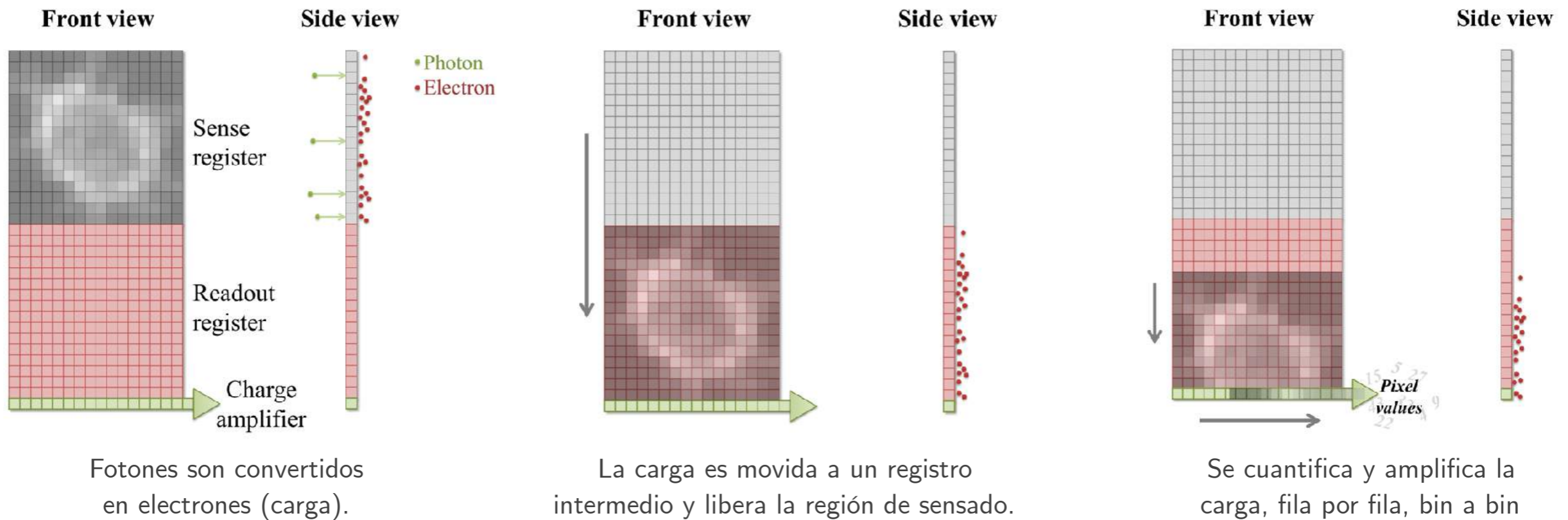


(a) Std. dev. 5

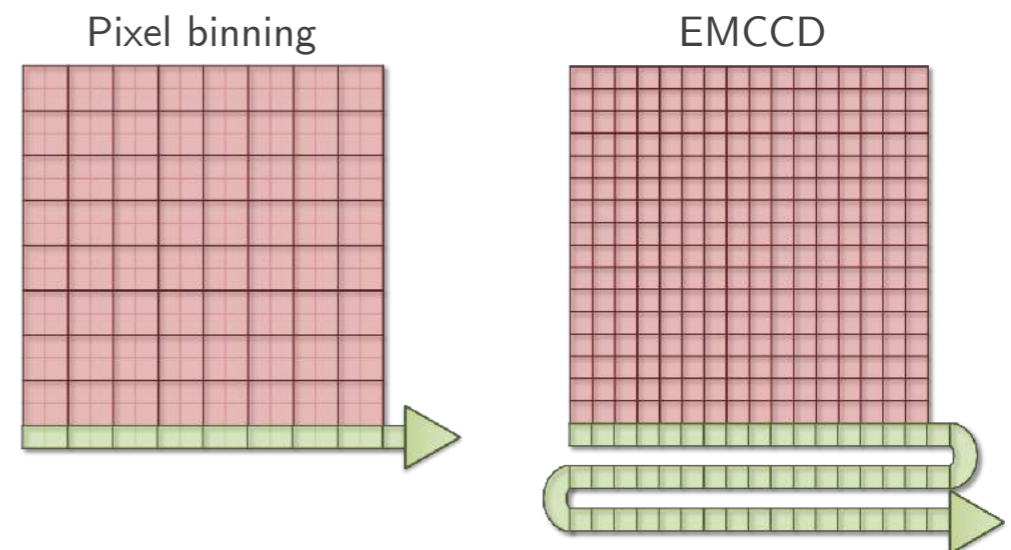
(b) Std. dev. 10

(c) Std. dev. 20

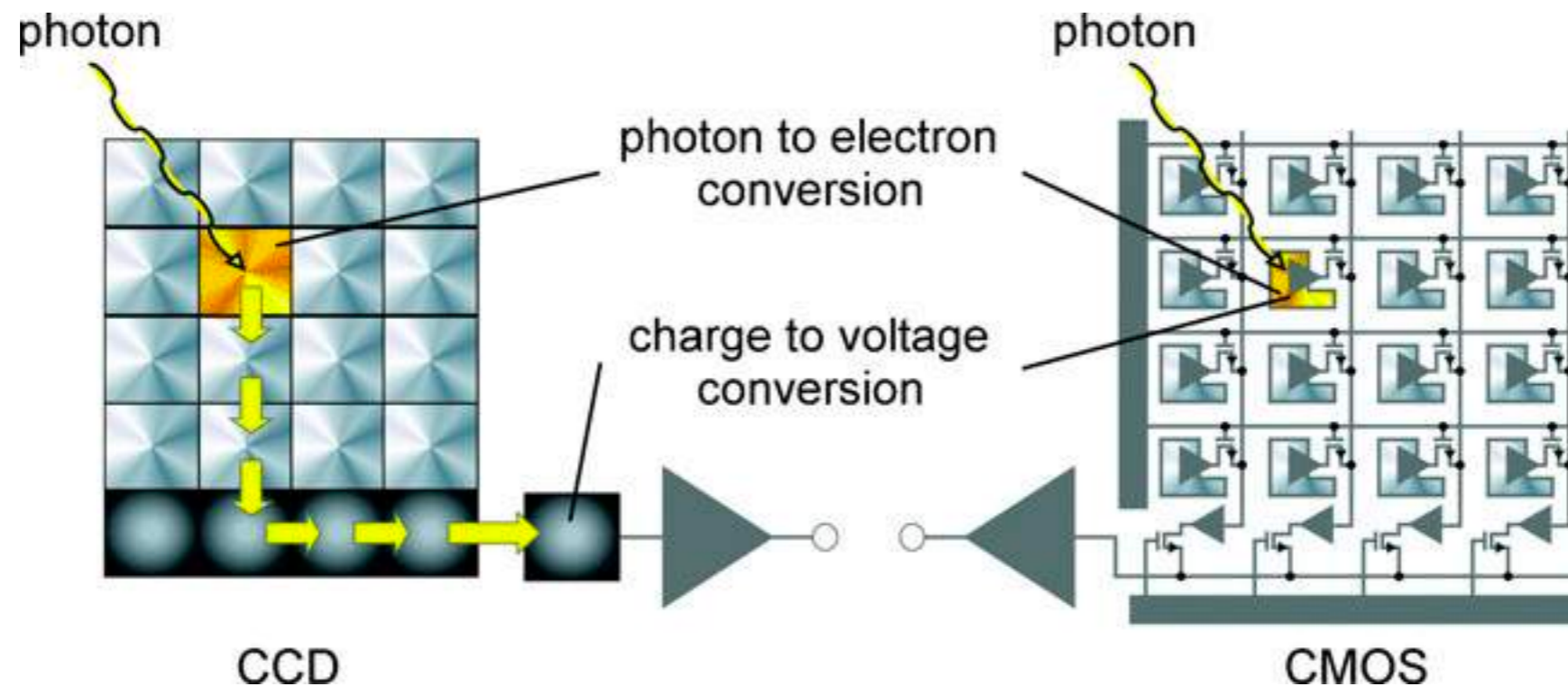
- Región dedicada a sensor fotones, con múltiples “bins”, en simultáneo.



- QE muy alta ( $\sim 90\%$ ): más tiempo de exposición
- Ruido de adquisición es lo más problemático debido a la etapa de amplificación.
- Pixel binning
- Electron Multiplying CCD (EMCCD)



- Conversión fotón-electrón-voltaje en el “pixel”
- Acceso a cada “pixel” independientemente (window of interest).
- Más rápido que CCD
- Regiones de “pixel” más pequeños (menor luz): más ruido.
- QE menor que CCD.





# Representación de imágenes digitales

- ¿Cómo se forma una imagen digital?
- ¿Cómo es el proceso por el cual una escena se convierte en una imagen digital?
- ¿Qué cosas que estaban en la escena puedo luego ver en la imagen y cuáles no?
- ¿Cómo adquirir la imagen para *apreciar* los detalles que me interesan?
- ¿Cómo almacenar (formato) una imagen digital?
- ¿Cómo visualizar la información de una imagen?



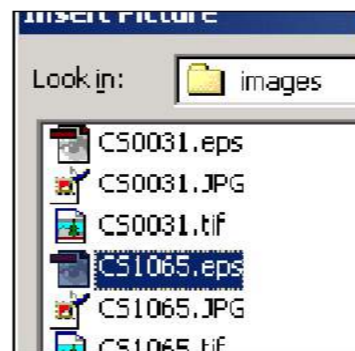
(a)



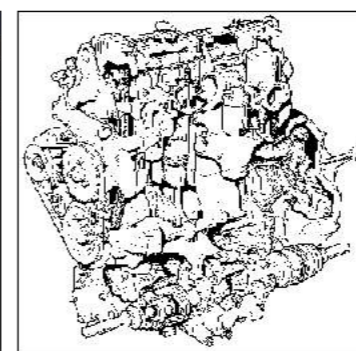
(b)



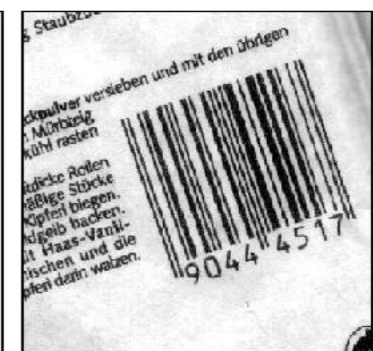
(c)



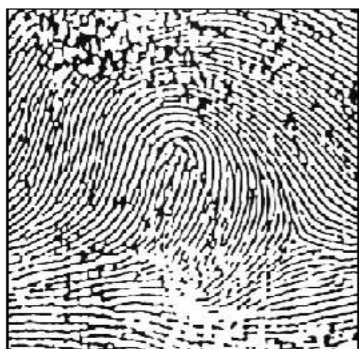
(d)



(e)



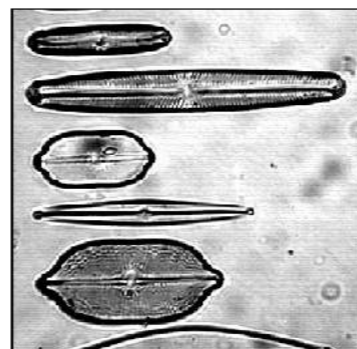
(f)



(g)



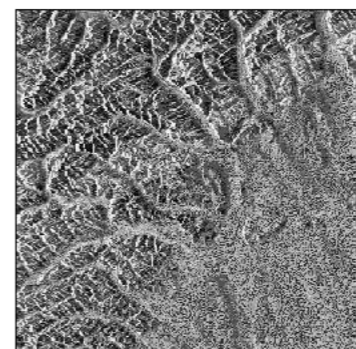
(h)



(i)



(j)

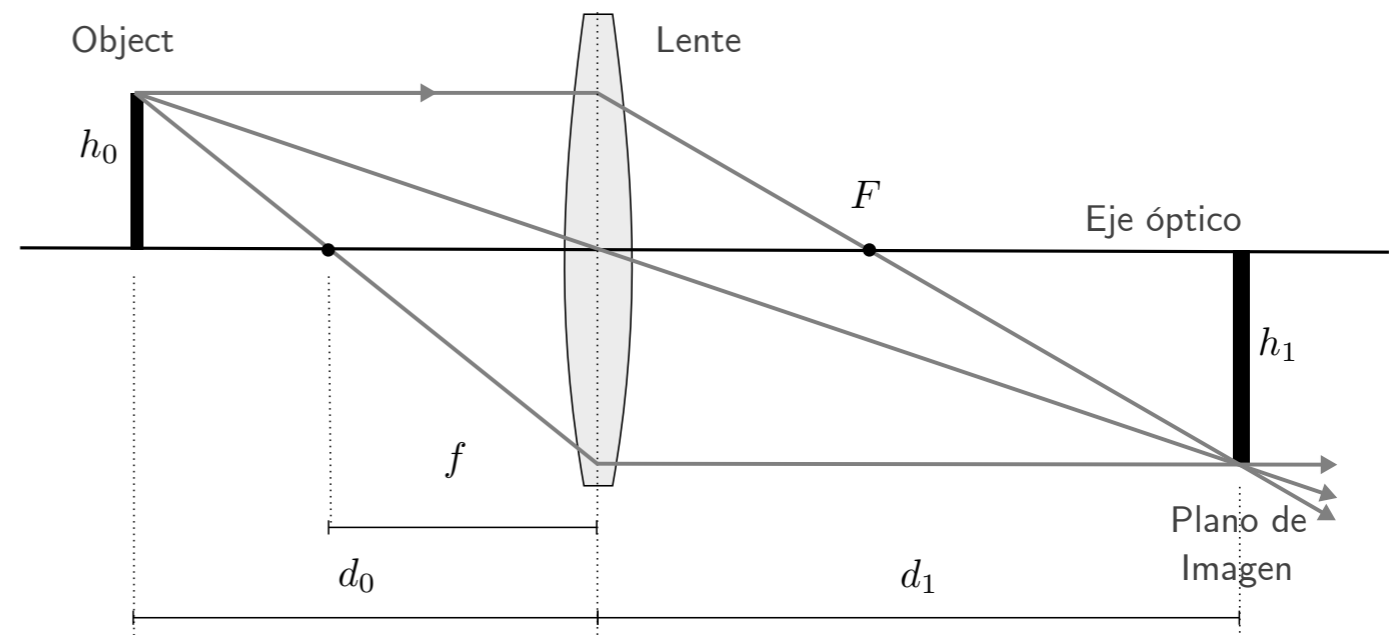
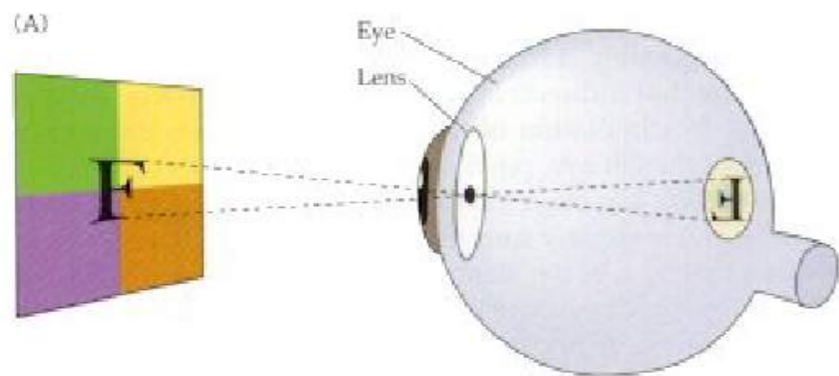


(k)



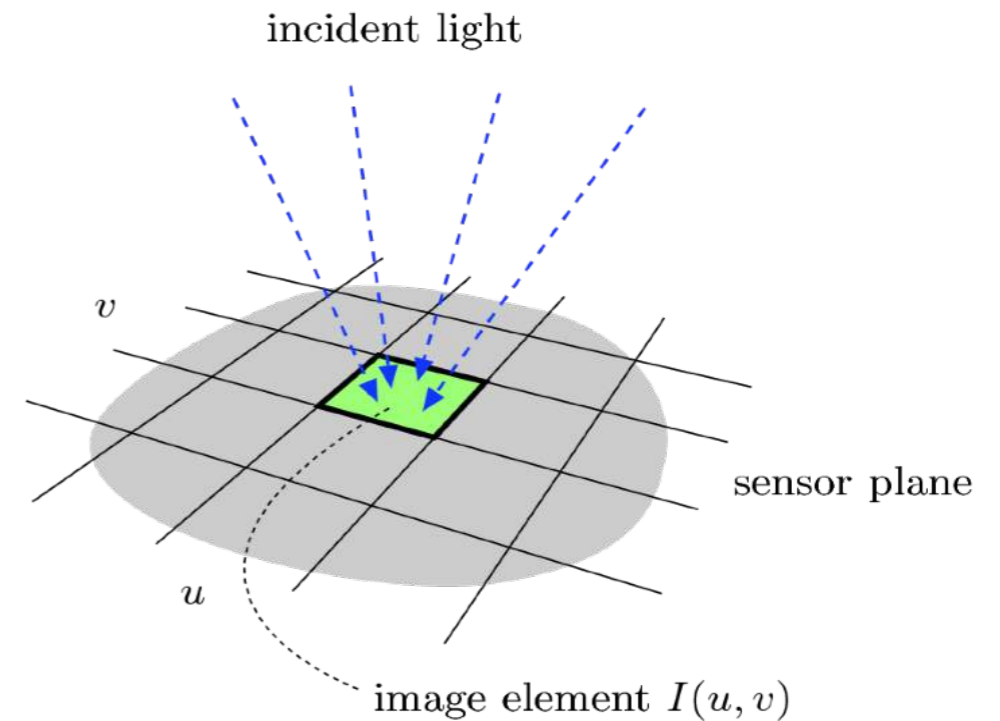
(l)

- La escena se proyecta en un plano por un sistema óptico (pinhole, lente fina, etc.).
- En el plano se dispone un sensor (retina, CCD/CMOS, fotomultiplicador, ...) al cual llega la luz
- Magnificación:  $M = \frac{f}{Z}$



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_0} + \frac{1}{d_1} \quad M = \frac{h_1}{h_0} = \frac{d_1}{d_0}$$

- La luz incidente se integra por un cierto período de tiempo (muestreo espacial) en una grilla.
- Cada elemento adquiere un valor proporcional a la luz recibida.
- Los valores continuos en los elementos se cuantifican a un rango limitado de niveles posibles (número de bits).



Cuantificación en 16 valores (4 bits)

Picture element (pixel)

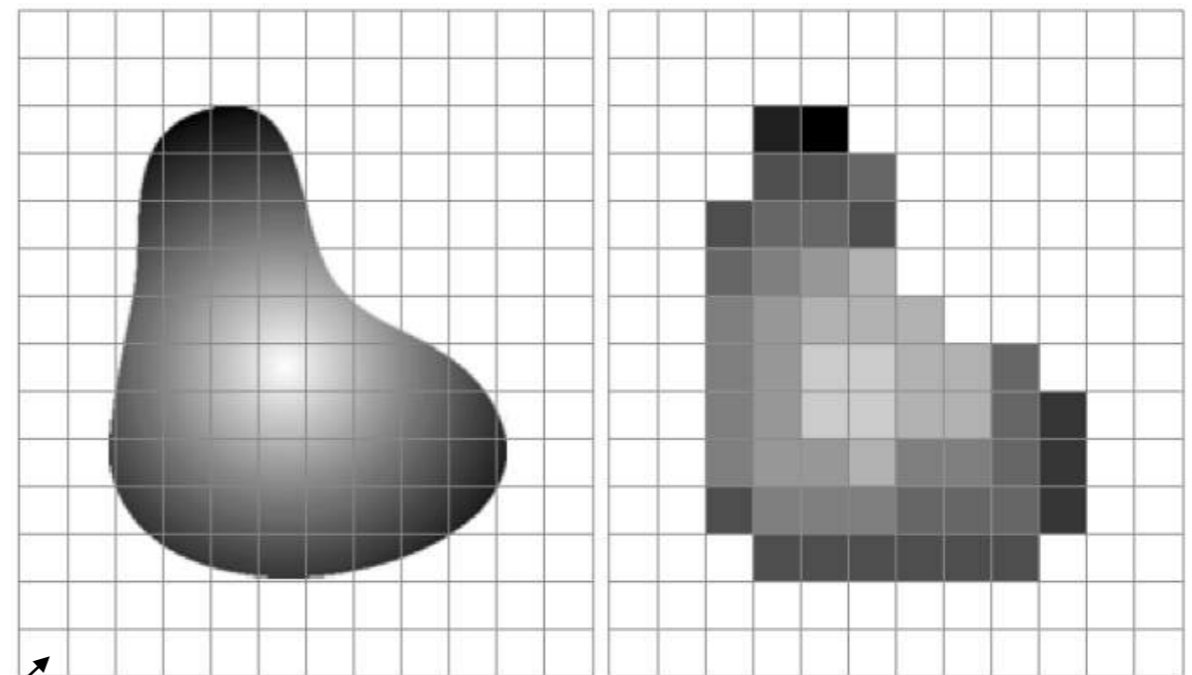
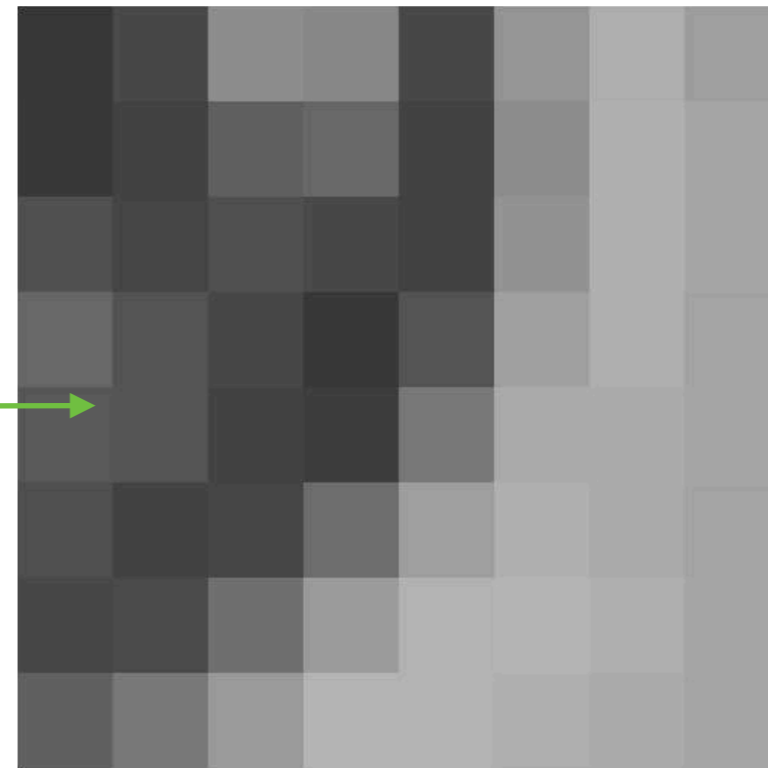
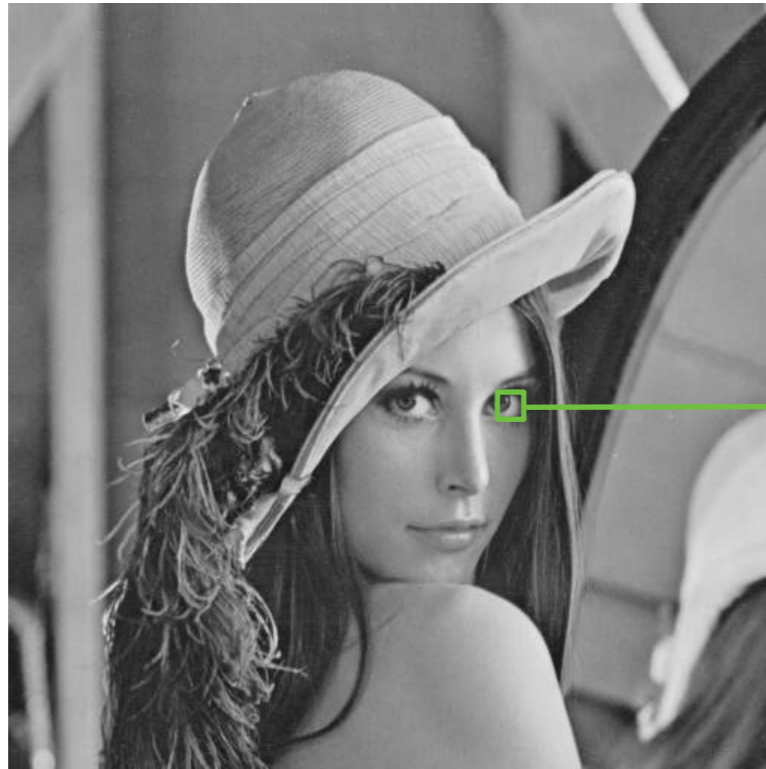


Imagen continua en el espacio y valores. Resultado del muestreo y cuantificación.

- Una imagen digital es una matriz (multidimensional) de valores en un cierto rango.



- La forma en que se muestra la imagen es solo una representación de esos números: visualización.

57	75	143	137	75	150	175	159
59	68	98	105	69	142	179	167
83	70	82	75	68	149	178	168
104	85	74	58	86	162	176	165
89	86	69	64	122	173	173	167
81	68	71	110	160	178	172	165
74	76	114	157	180	182	177	167
99	122	156	182	181	177	172	166

Valores de los pixeles.

[231,166,126]

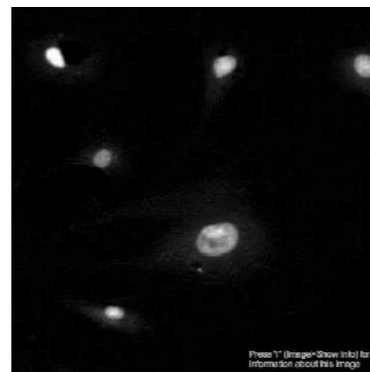
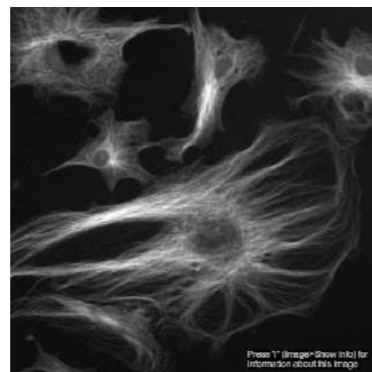
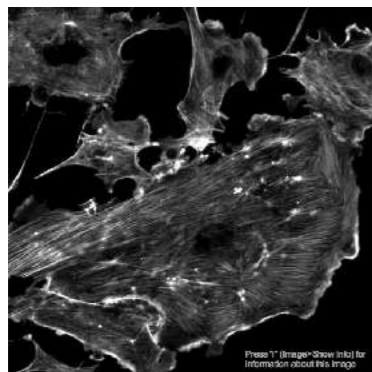
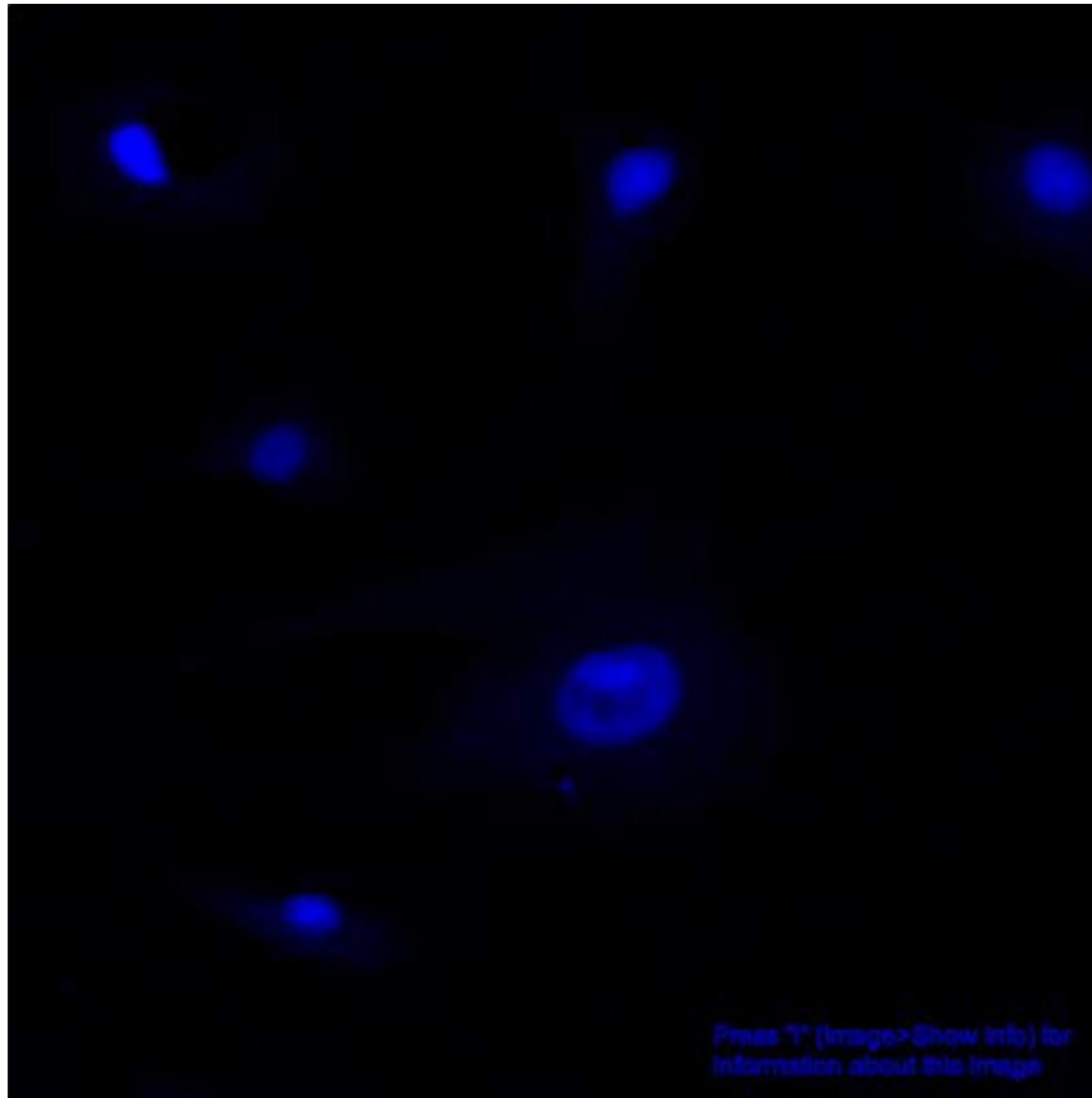
[150,22,11]



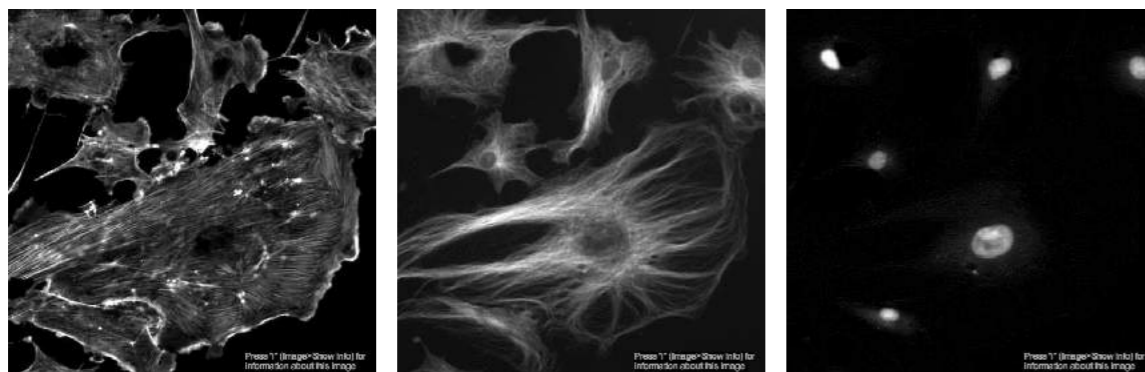
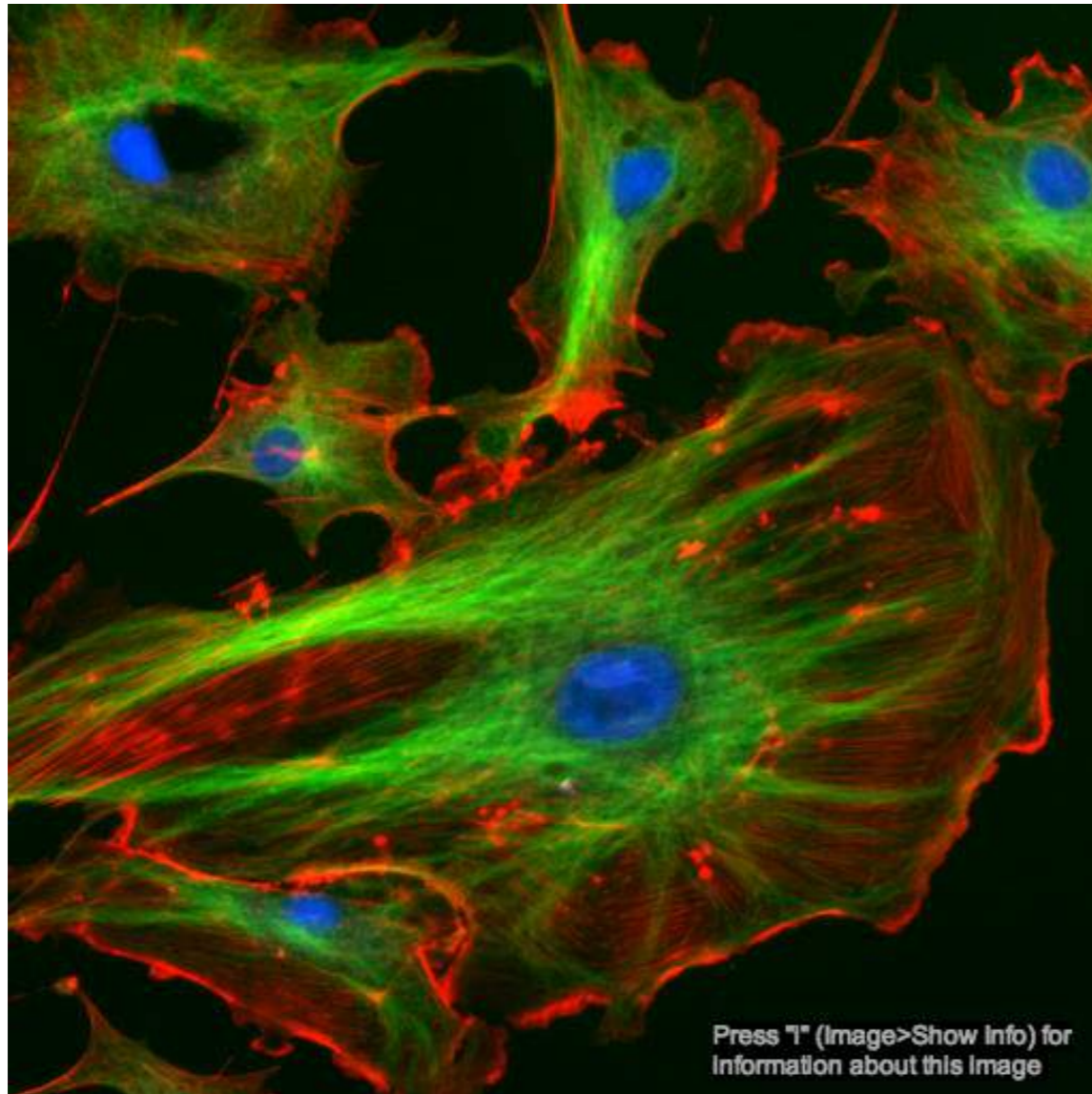
Tres matrices



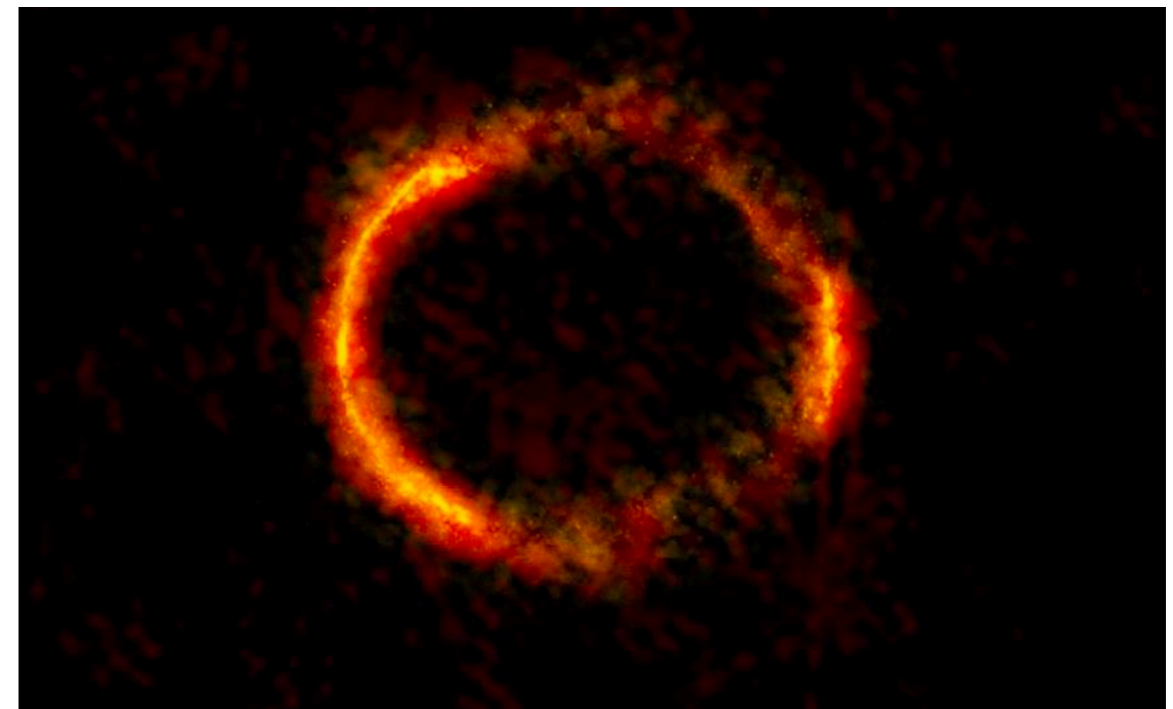
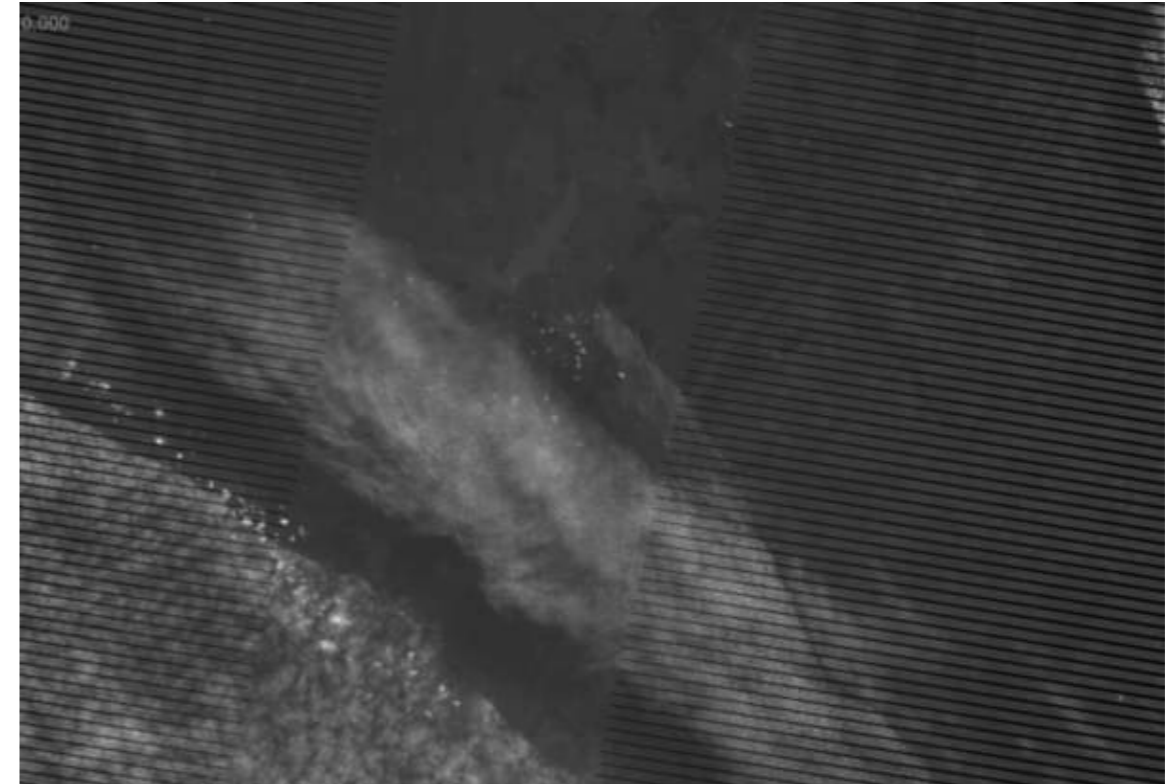
## Microscopía de fluorescencia



## Microscopía de fluorescencia



## Imágenes satelitales multispectrales



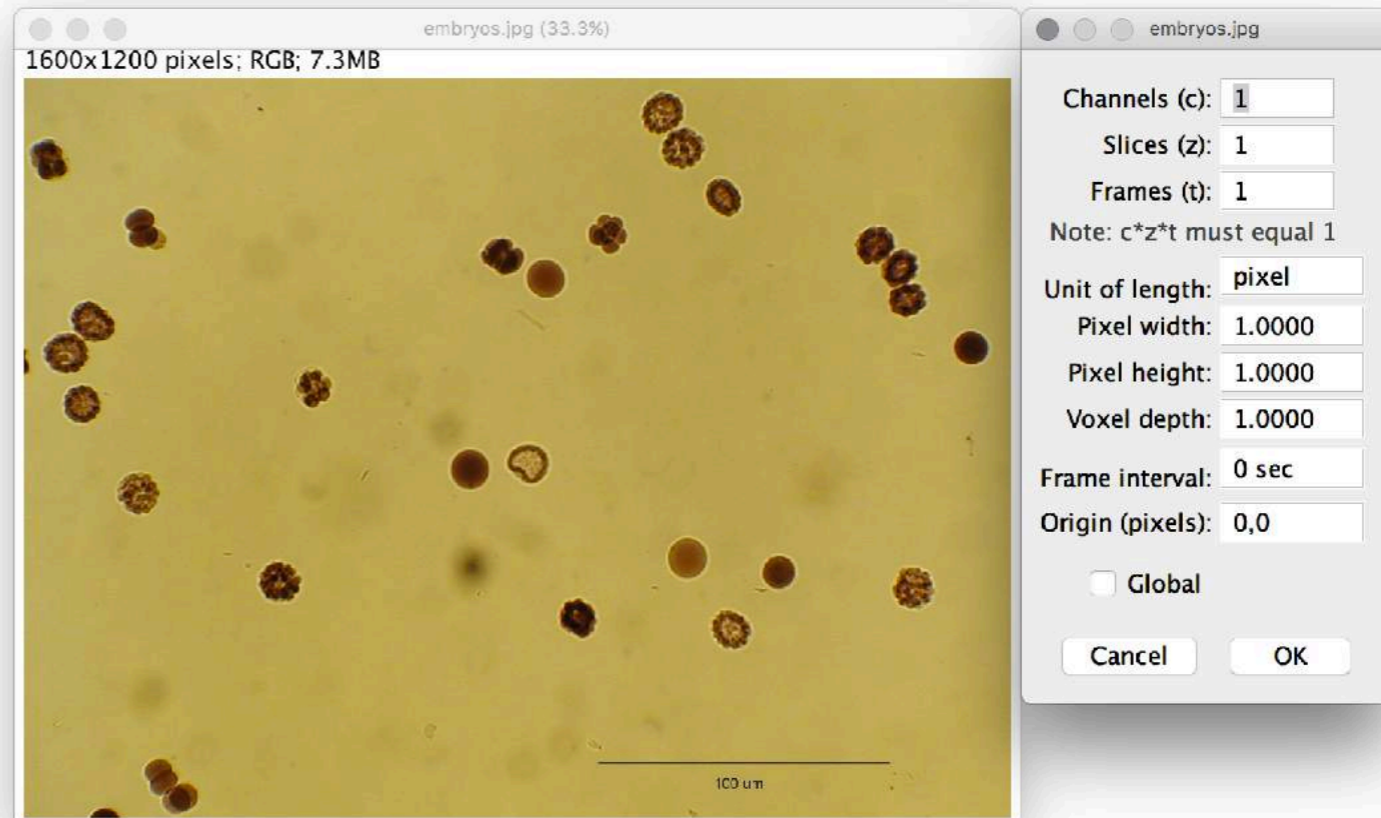
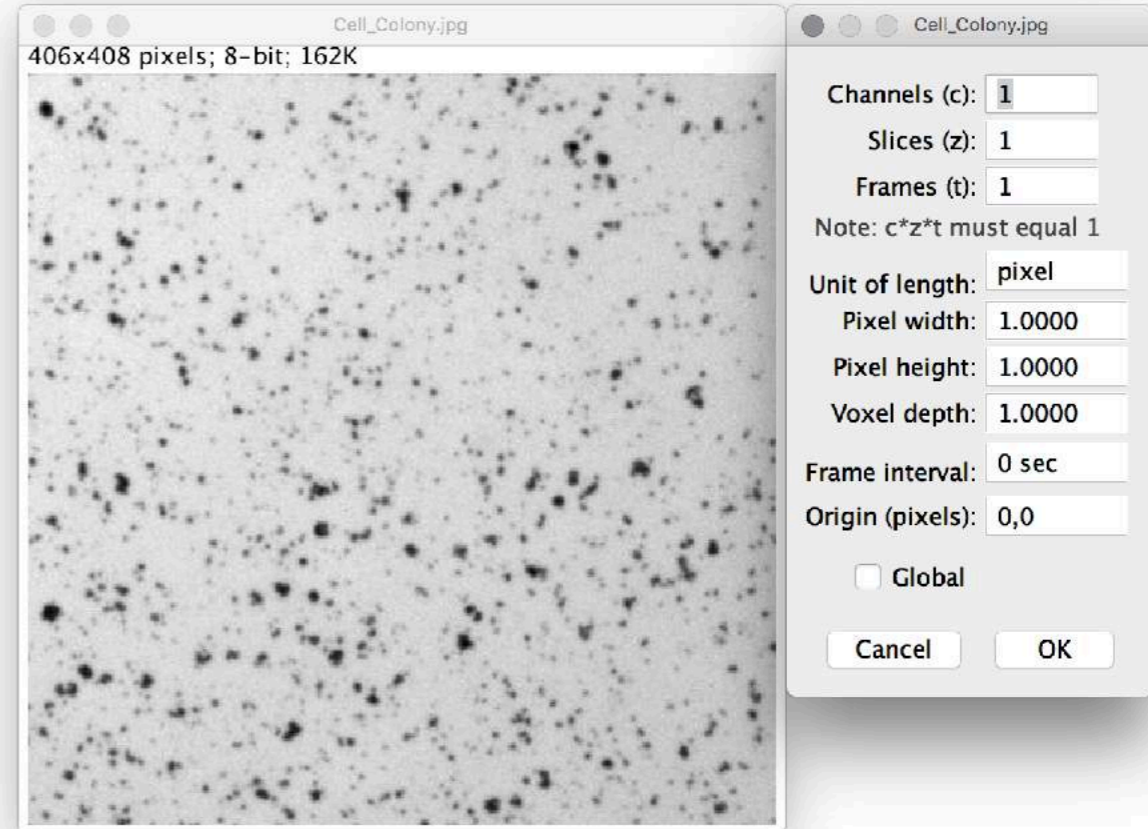
Einstein Ring of Lensed Galaxy  
<https://public.nrao.edu/news/alma-ring-lens/>



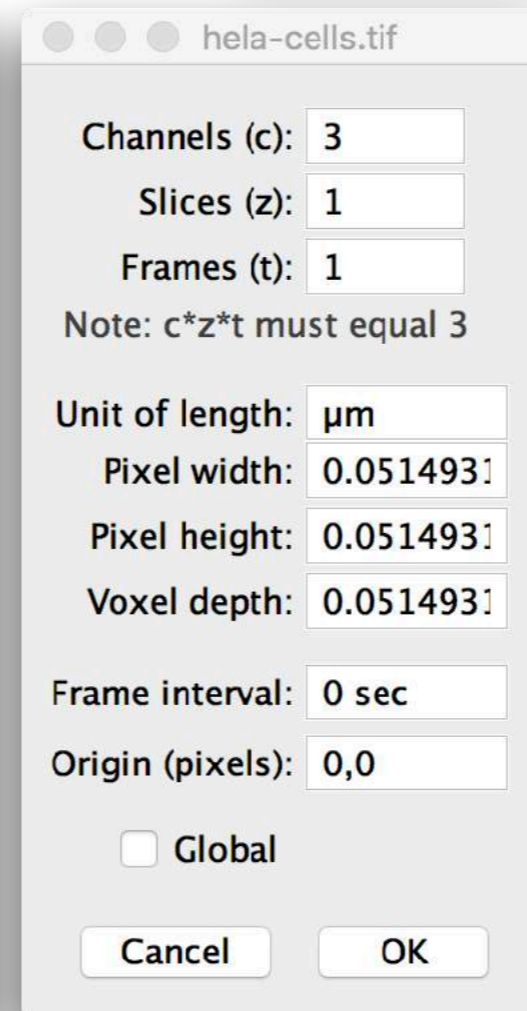
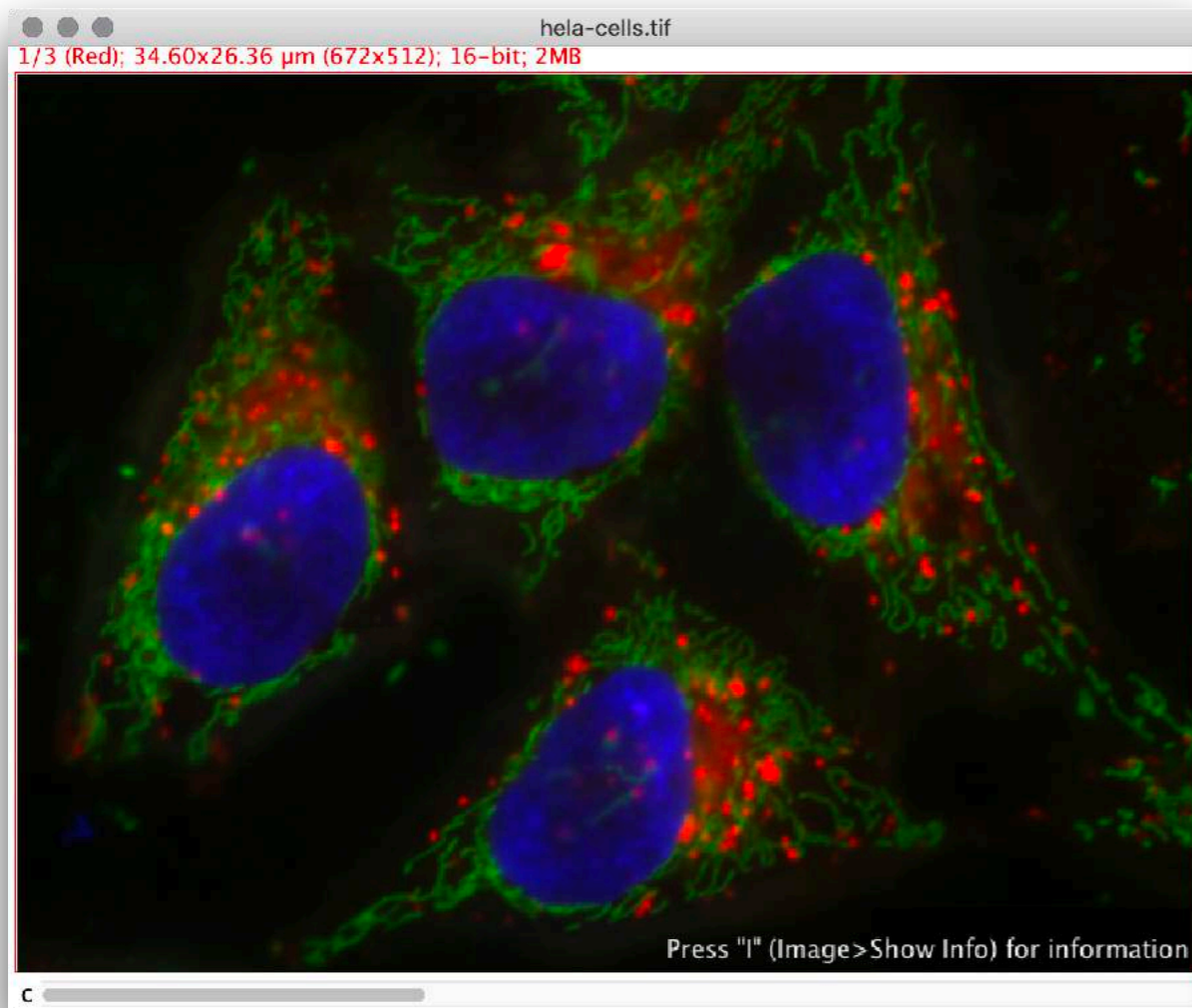
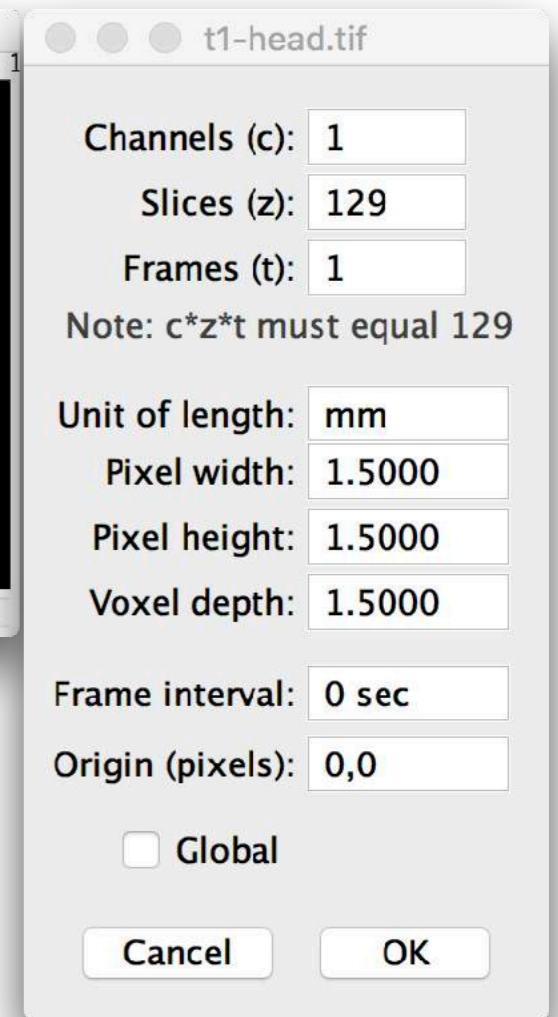
- Dimensionalidad: ancho, alto, profundidad, canales/bandas, tiempo,
- Escala: *pixel size* (nm, um, m, km, ua, ...)
- Resolución
- Profundidad de píxel: número de bits (8, 24, 32, 16, ...)

- 2D grises: píxel escalar
- 2D color: píxel vectorial (RGB)

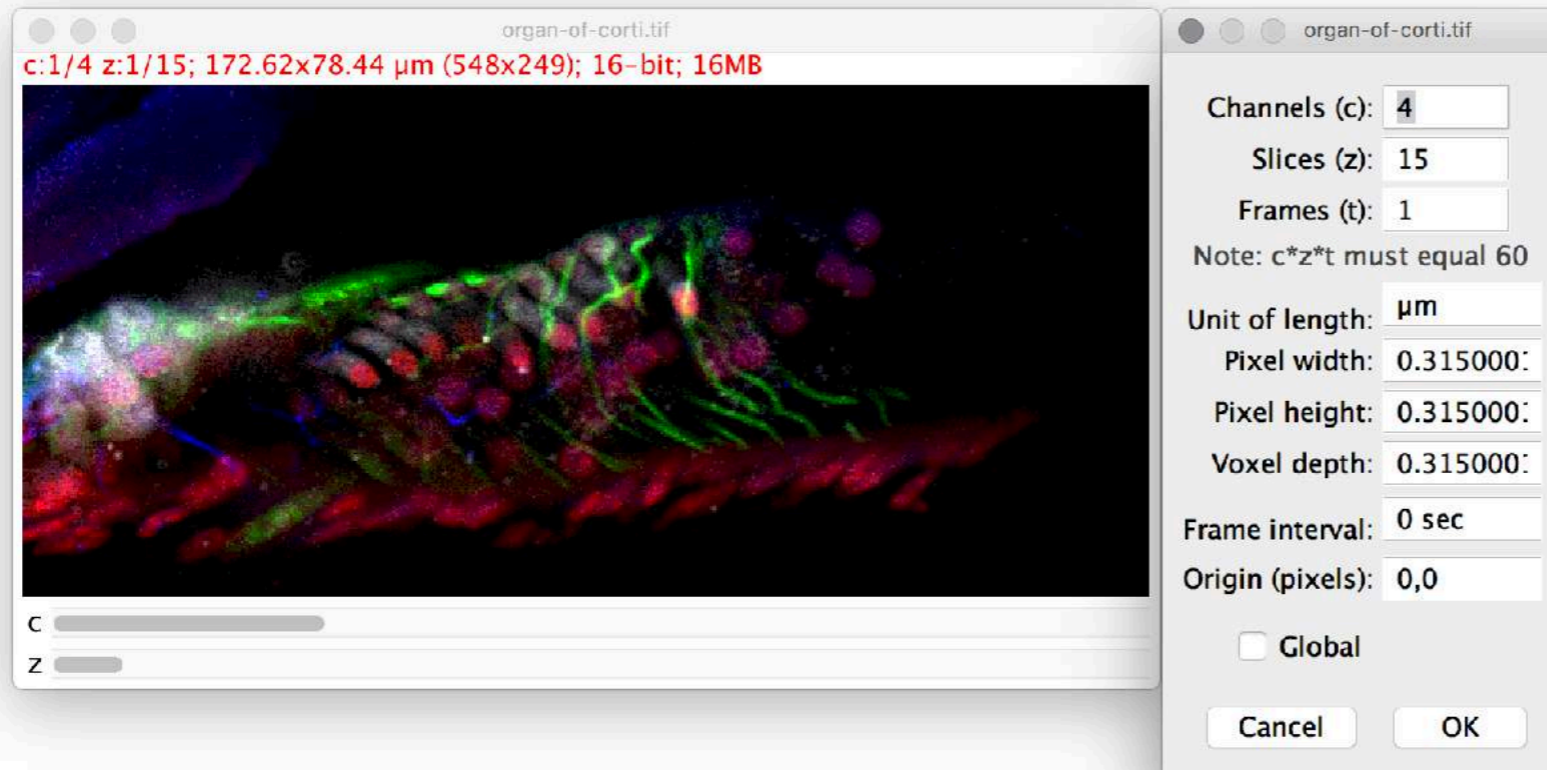
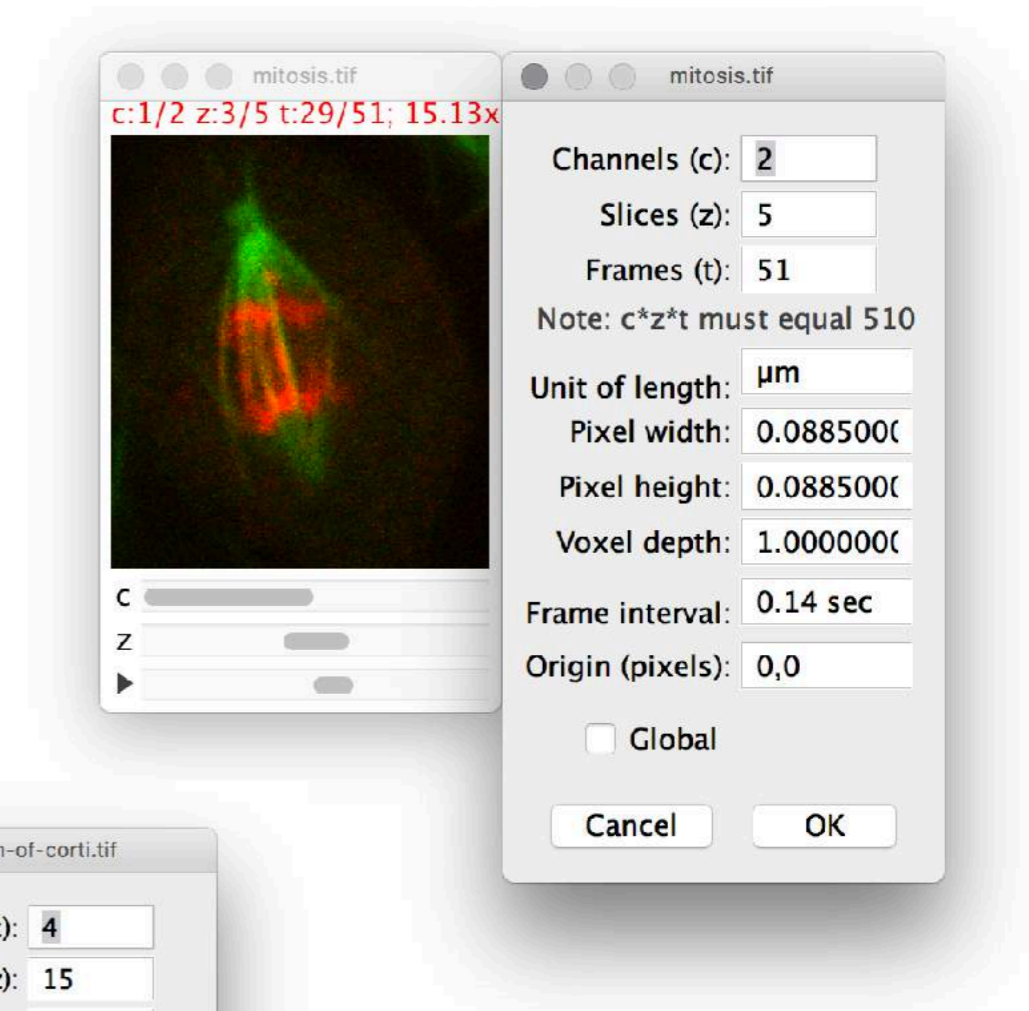
[Image > Properties] (Control + Shift + P)



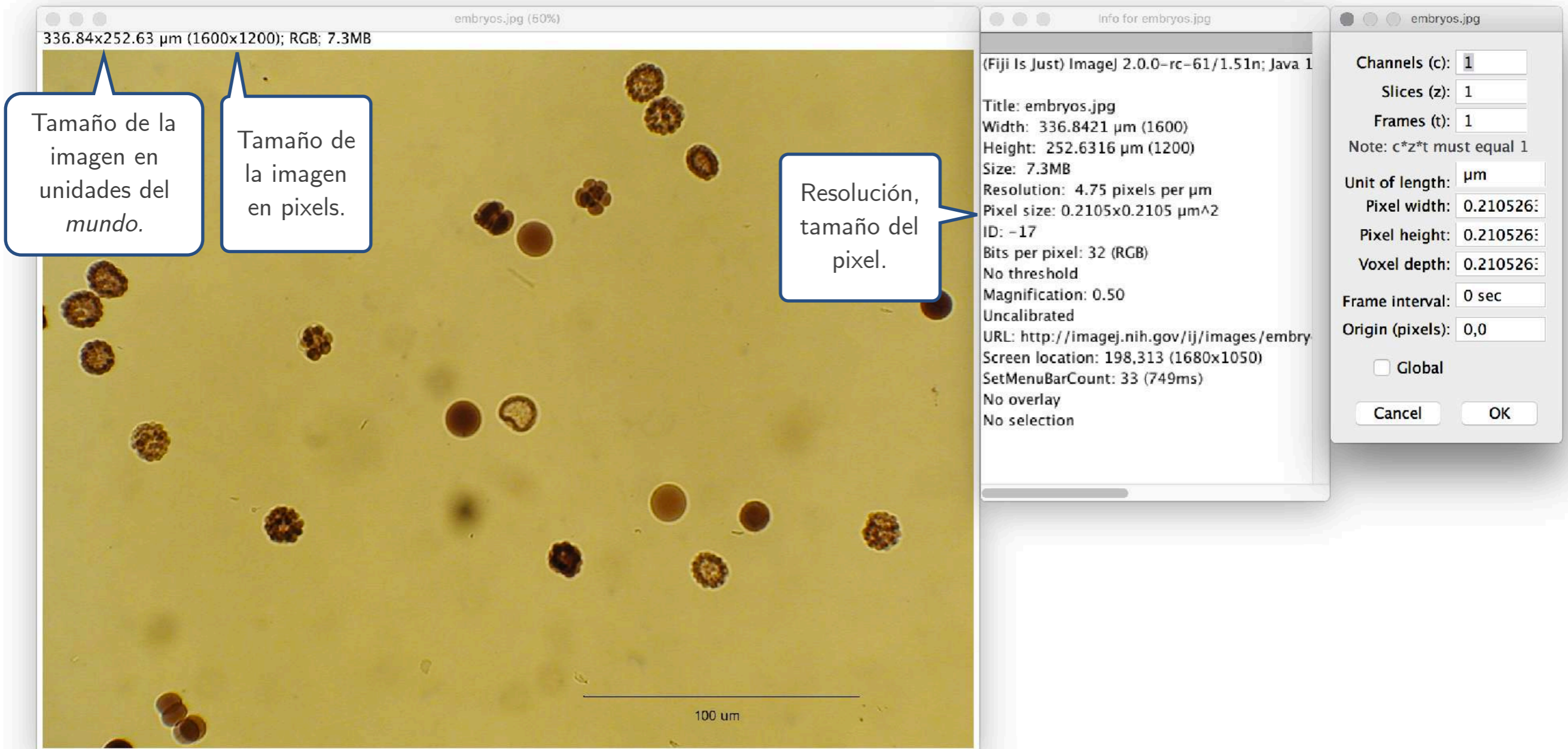
- Stack 3D (width, height, channels)
- Stack 3D (width, height, slices)



- Hyperstack 4D: width, height, channels, slices
- Hyperstack 5D: width, height, channels, slices, frames



- Relaciona la dimensión en píxeles de la imagen con su dimensión en el mundo real (calibración). Se especifica en pixels/unidad de medida. Ej: pixels/ $\mu\text{m}$



Tamaño de la imagen en unidades del mundo.

Tamaño de la imagen en pixels.

Resolución, tamaño del pixel.

336.84x252.63  $\mu\text{m}$  (1600x1200); RGB; 7.3MB

embryos.jpg (60%)

embryos.jpg

(Fiji Is Just) ImageJ 2.0.0-rc-61/1.51n; Java 1

Title: embryos.jpg  
Width: 336.8421  $\mu\text{m}$  (1600)  
Height: 252.6316  $\mu\text{m}$  (1200)  
Size: 7.3MB  
Resolution: 4.75 pixels per  $\mu\text{m}$   
Pixel size: 0.2105x0.2105  $\mu\text{m}^2$   
ID: -17  
Bits per pixel: 32 (RGB)  
No threshold  
Magnification: 0.50  
Uncalibrated  
URL: <http://imagej.nih.gov/ij/images/embryo>  
Screen location: 198,313 (1680x1050)  
SetMenuBarCount: 33 (749ms)  
No overlay  
No selection

embryos.jpg

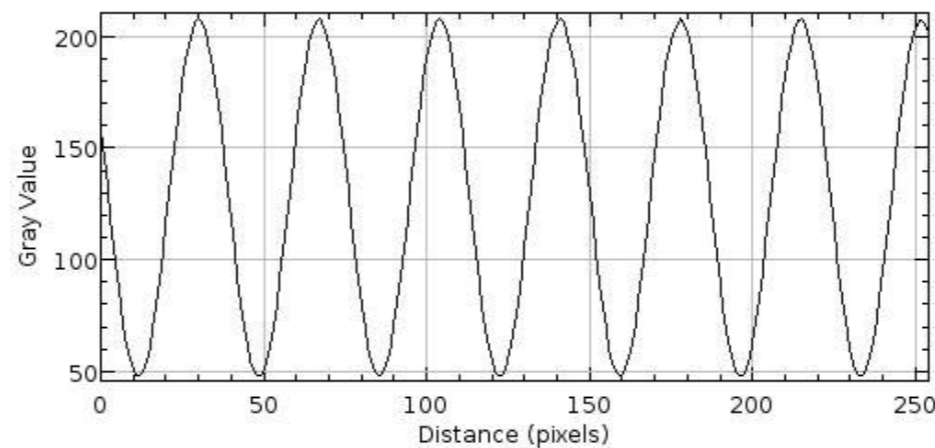
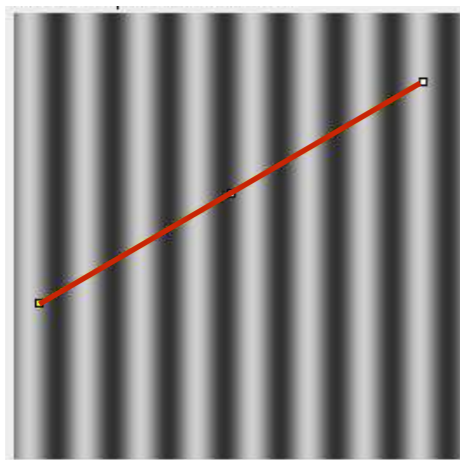
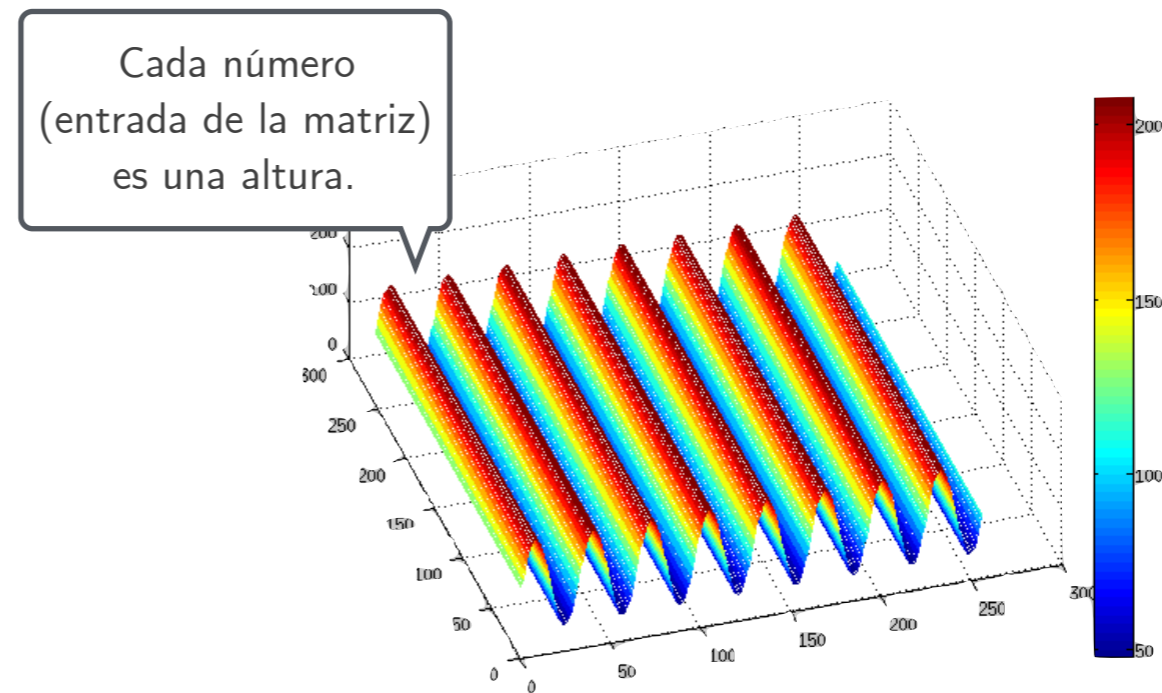
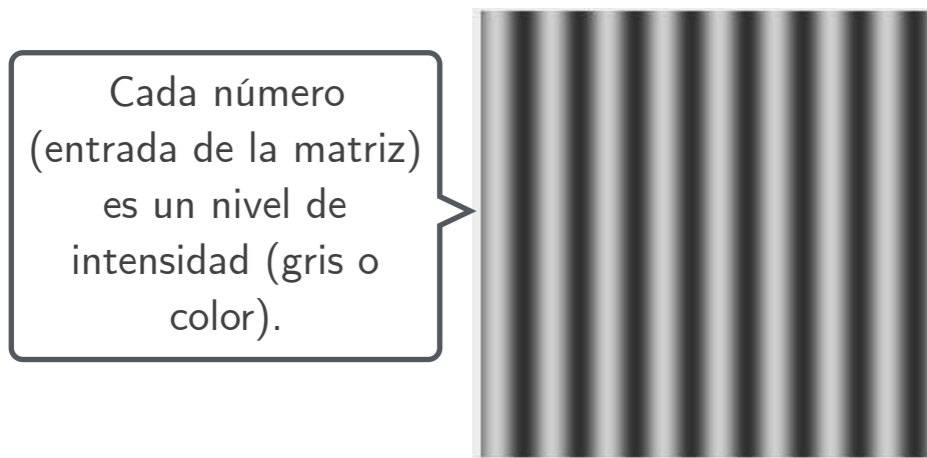
Channels (c): 1  
Slices (z): 1  
Frames (t): 1  
Note: c\*z\*t must equal 1  
Unit of length:  $\mu\text{m}$   
Pixel width: 0.210526:  
Pixel height: 0.210526:  
Voxel depth: 0.210526:  
Frame interval: 0 sec  
Origin (pixels): 0,0  
 Global  
Cancel OK

100  $\mu\text{m}$

- Tipo de dato con el cual se representa el valor de un píxel
- Los píxeles son en general palabras binarias de largo  $k$ . “ $k$  bits” representan  $2^k$  valores posibles
- Algunos ejemplos

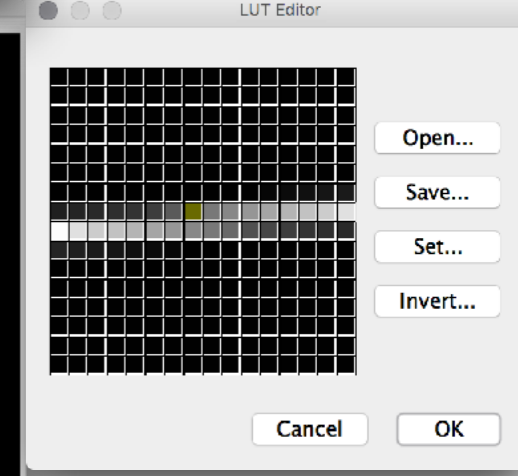
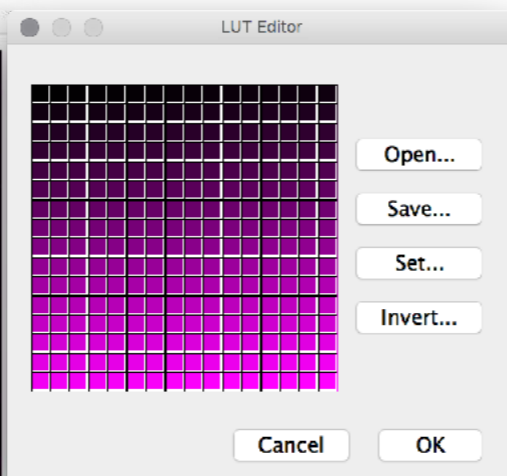
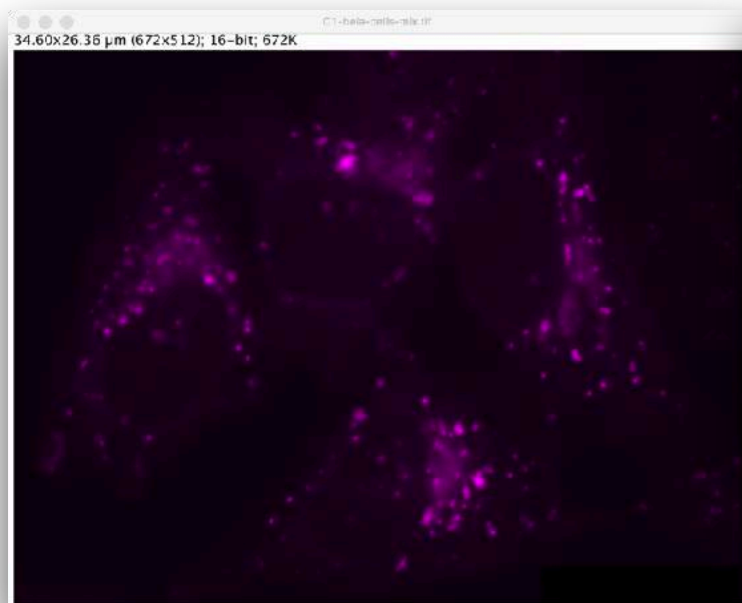
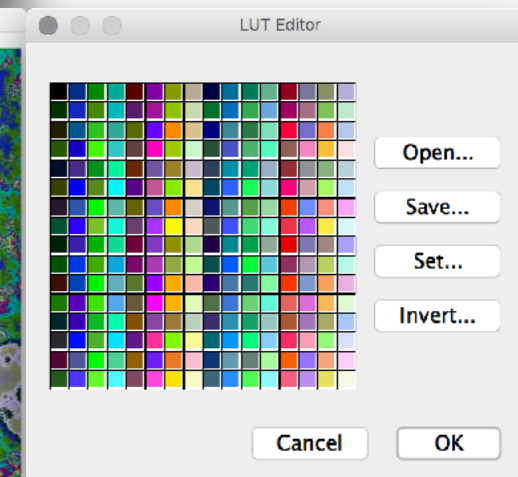
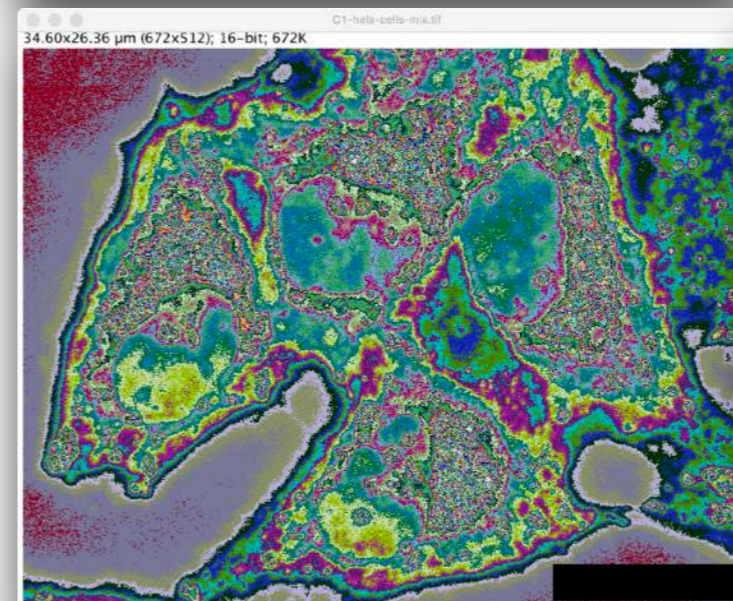
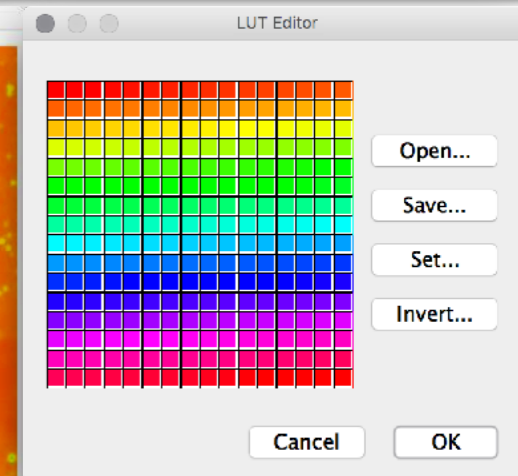
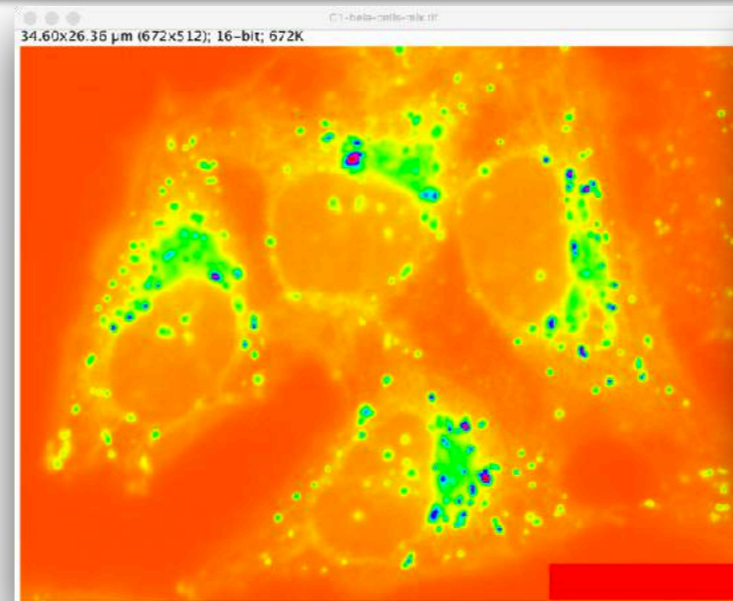
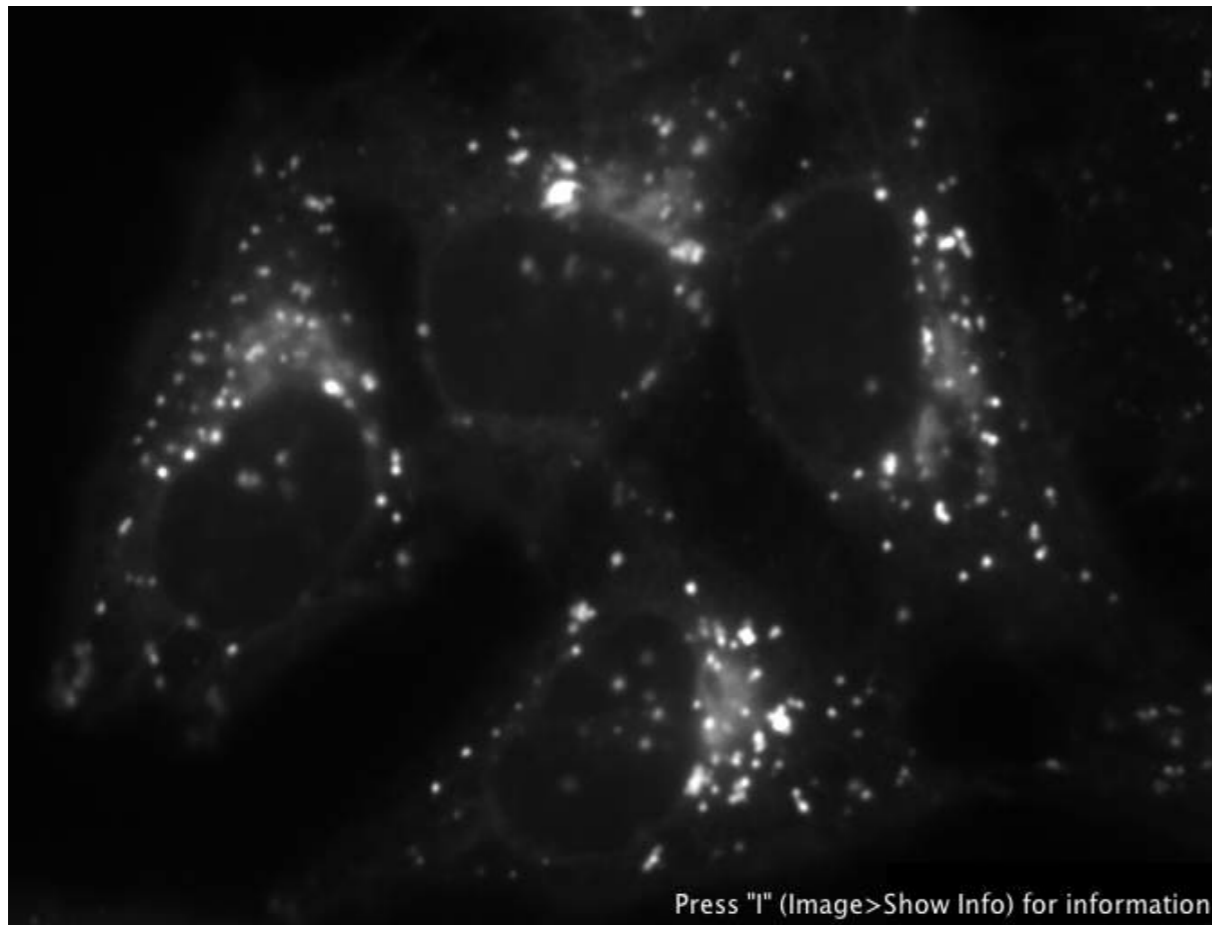
Bits/píxel	Rango
1	[0, 1]
8	[0, 255]
16	[0, 65535]
32	Flotante con signo
24	[0, 255] × [0, 255] × [0, 255]
32	[0, 255] × [0, 255] × [0, 255] × [0, 255]

- Una matriz de números  $\leftrightarrow$  Muchas formas de verla
- Ojo: ¿Lo que “vemos” en la pantalla es lo que está en memoria? rango dinámico, relación de aspecto.

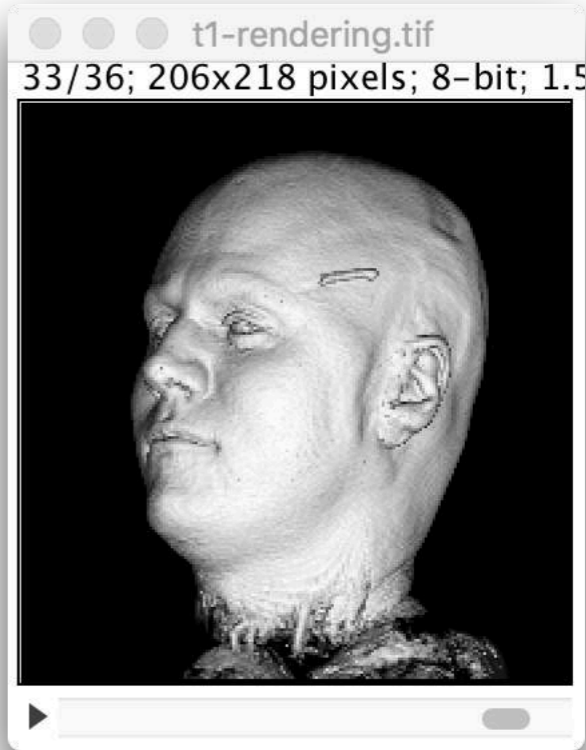
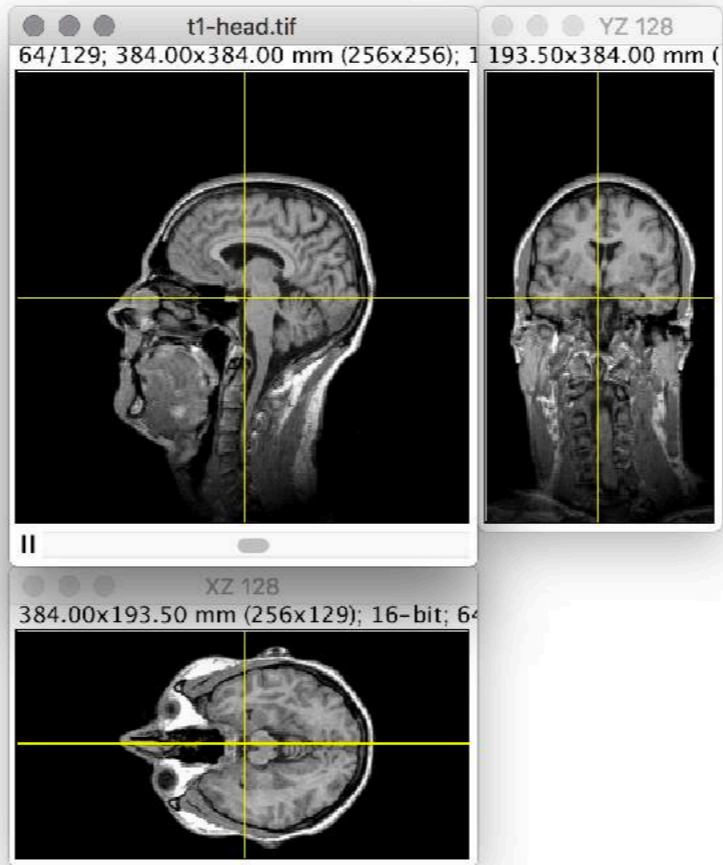
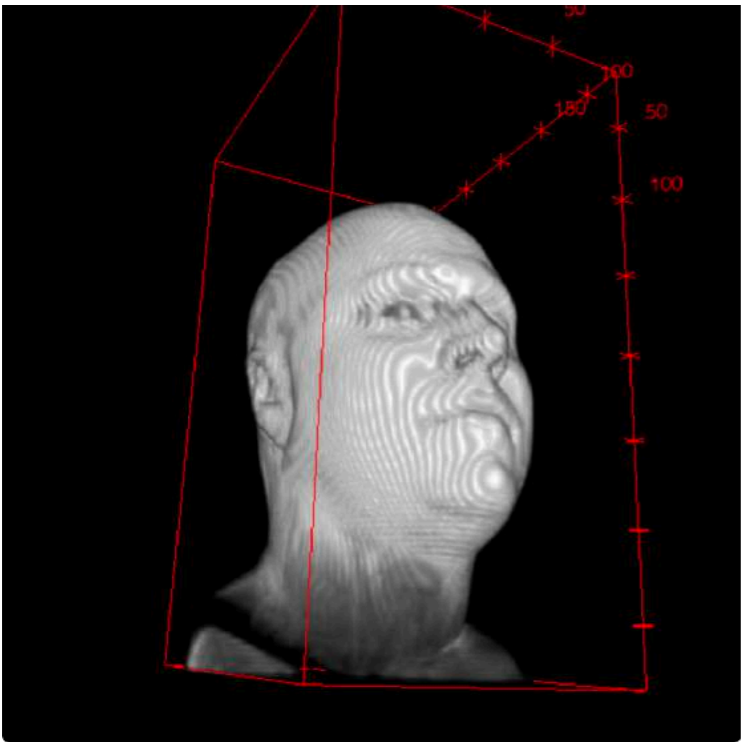


Perfil 1D de la imagen 2D

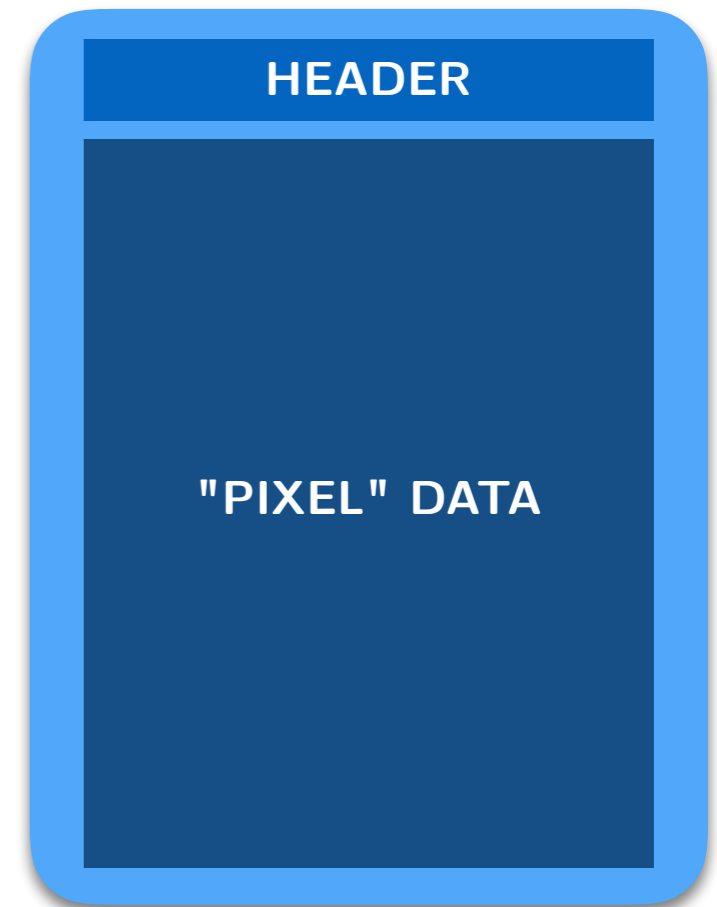
# Visualización: Look Up Table (LUT)







- Encabezado: información para interpretar los datos del archivo.
- Valores de los pixeles
- Metadata
  - Tipo y dimensión de los píxeles: size, time point, focus position, ...
  - Parámetros del adquisición: lente, fuente de luz, tipo de lámpara laser, intensidad, filtros usados, ganancia y offset del detector, tiempo de exposición, etc.
  - Autor
  - Descripción de la muestra (línea celular, organismo, coordenadas espaciales, ...)
  - Filtros usados, lente, fecha y hora, ...
- Todo esto se “empaqueta” en un archivo de imagen: JPG, PNG, GIF, BMP, ...



## Formatos propietarios asociados a marcas de equipos



## Formatos generales



Tagged Image File Format

Con o sin compresión, con o sin pérdidas (LZW, ZIP)

Puede incluir metadata arbitraria (por ejemplo OME-TIFF)

Puede incluir múltiples canales, stacks, ...



Joint Photographic Expert Group

Compresión **con pérdidas**.

Nivel de compresión y calidad regulable.

Estándar.

Pensado para imágenes naturales para ser vistas por humanos.



Portable Network Graphic

Compresión sin pérdida.

LUT de 24-bit RGB o 32-bit RGBA.

Muy usada en web (W3C)



Graphics Interchange Format

8 bits por píxel, con LUT propia

Calidad suficiente para la web.

Compresión sin pérdidas (LZW)

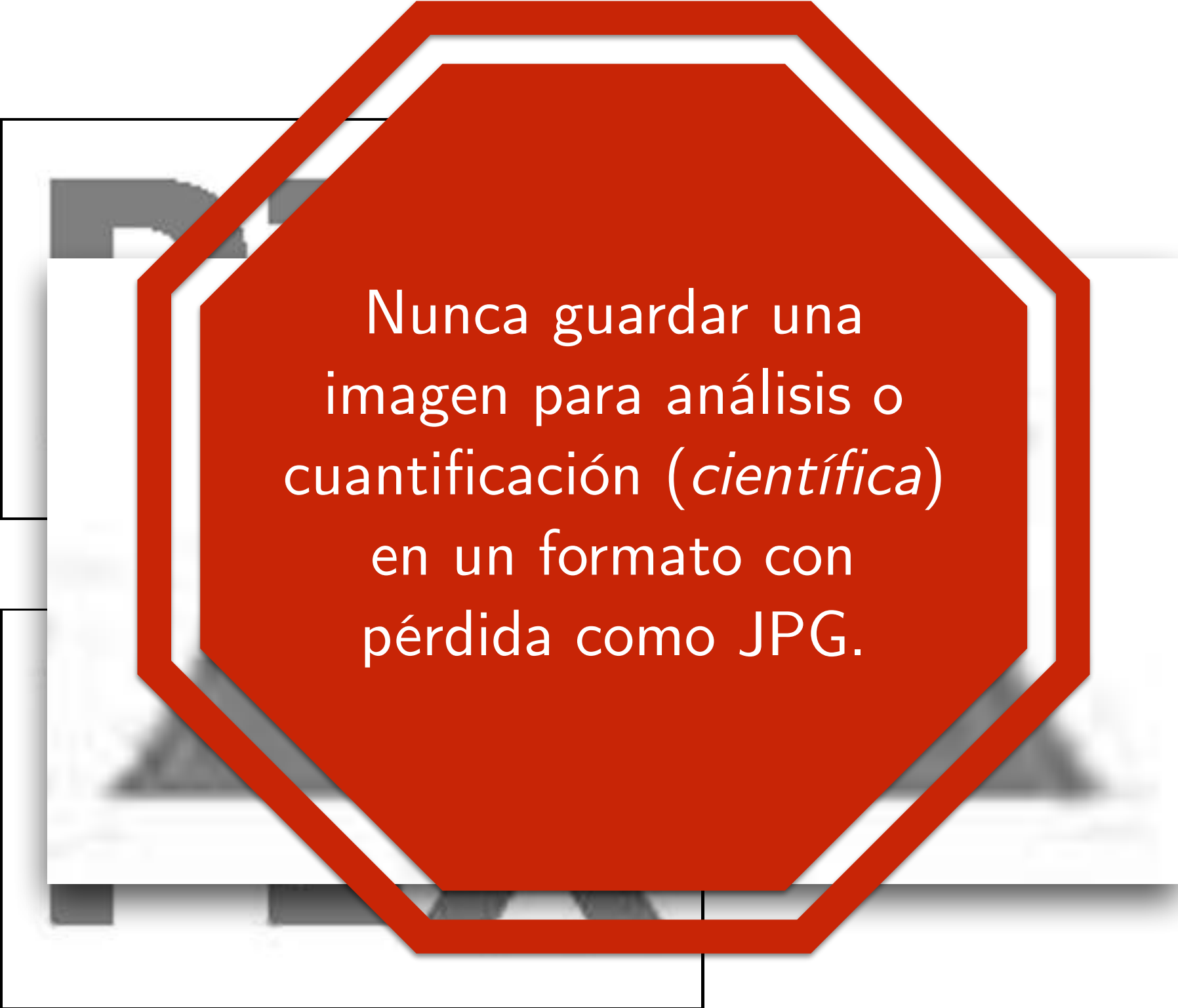
"Animación"



Bitmap

Sin (o poca) compresión.

¿Metadata?



Nunca guardar una imagen para análisis o cuantificación (*científica*) en un formato con pérdida como JPG.

(c)