

Optics, Forces and Development

06

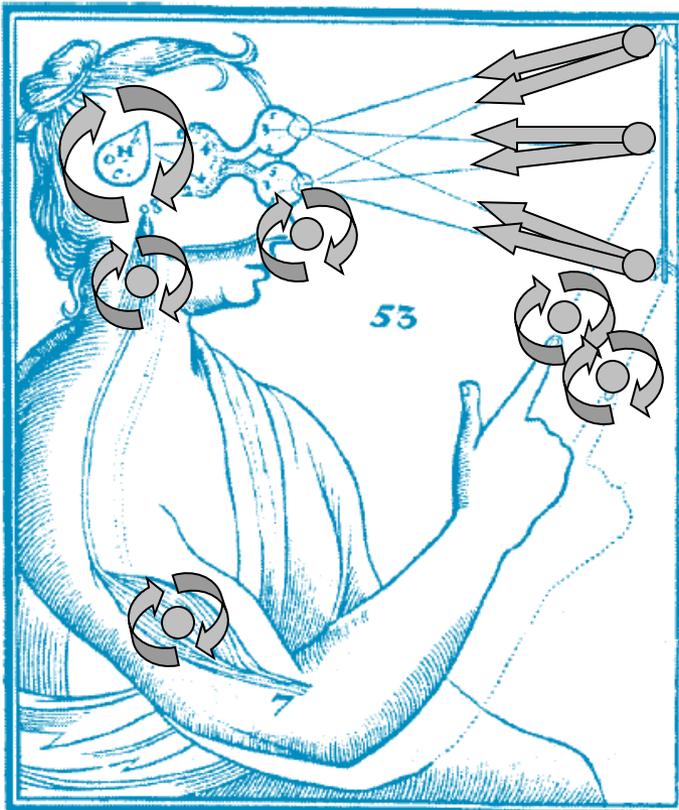
Digital Image Processing I Image Formation and Restoring

Jorge Jara
DCC, SCIAN-Lab
jjaraw@gmail.com

1. Introducción (sesión 06)
 - Procesamiento: matemático, digital, computacional...
 - Modelos de imagen digital
 - Procesamiento de imágenes en microscopía
 - Análisis de imágenes
2. Análisis I: segmentación (sesión 08)
 - Operaciones básicas: umbrales, convolución matricial, op. Morfológicos
 - Filtros de Fourier
 - Ajuste de formas (*pattern matching*)
 - Modelos deformables o contornos activos
3. Análisis II: descriptores de forma y organización (sesión 09)
4. Análisis III: estimación de movimiento (sesión 11)

- ¿Qué “vemos”?
- ¿Qué información podemos extraer?

René Descartes (1596-1650)
Epiphysis cerebri / pineal organ



Representación simbólica de la realidad, a partir de...

1. Señales directas desde los objetos de interés
2. señales de otros sentidos
3. *loops* realimentados

Experiencia
Entrenamiento

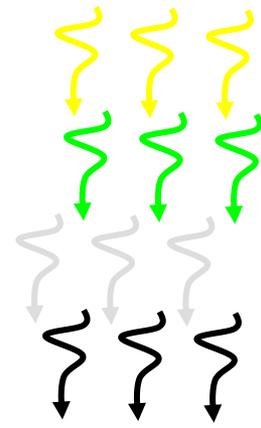


Expectativa
Anticipación



Complemento cognitivo, ...

Representación simbólica o modelo del mundo real



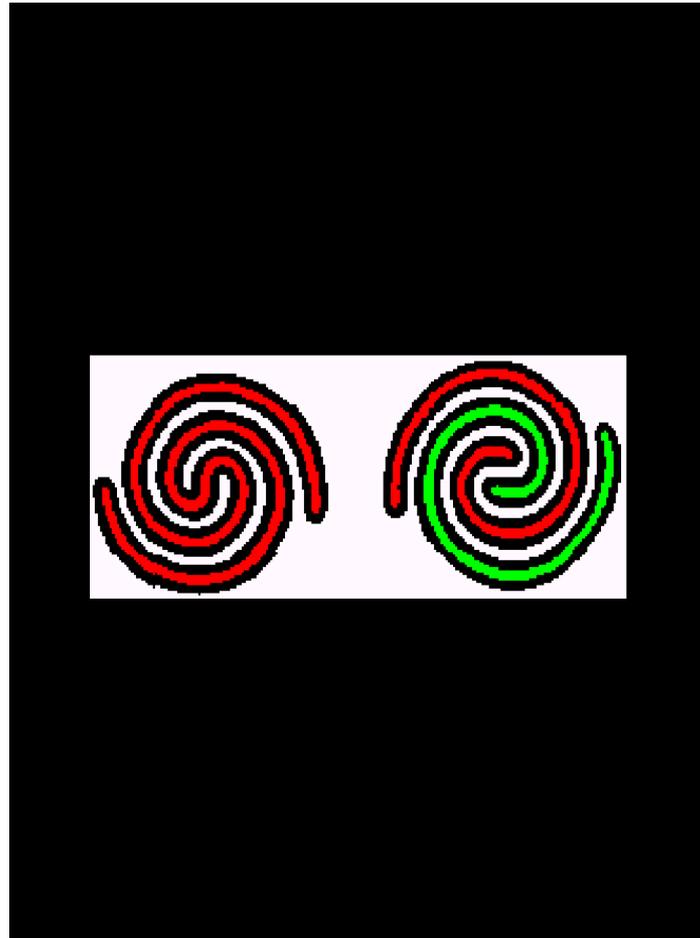
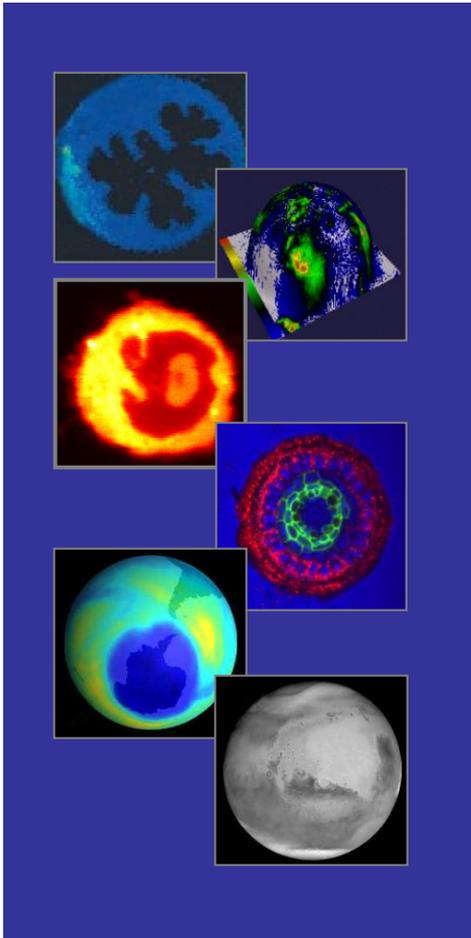
- Criterios esenciales

Similaridad de colores (regiones)

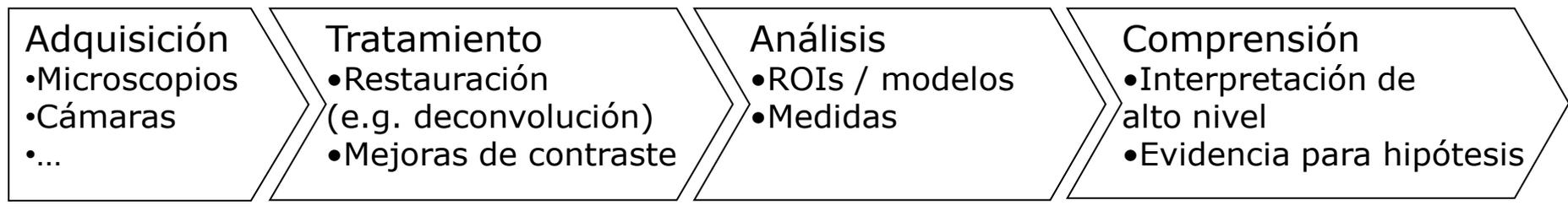
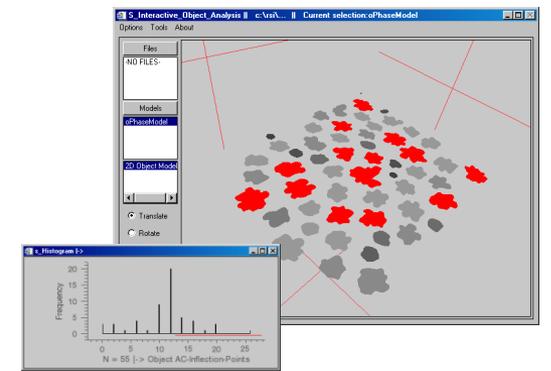
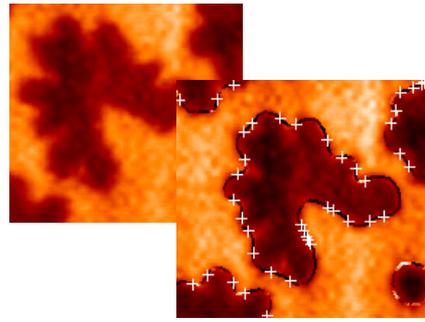
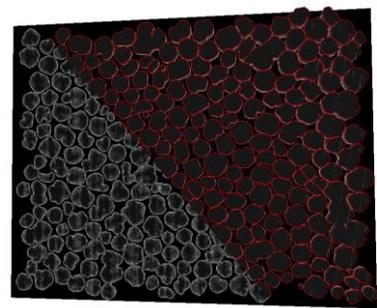


Transiciones de color (gradientes)





Procesamiento de imágenes



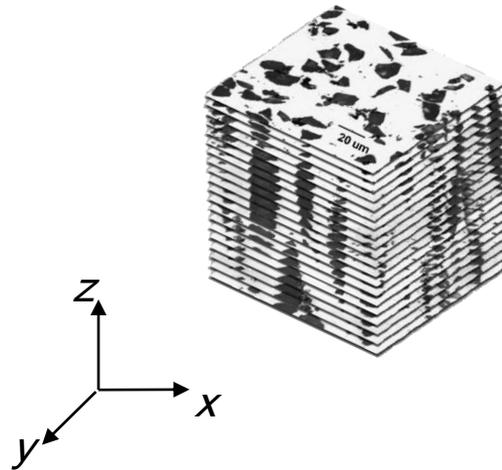
imágenes

imágenes

**descripciones
+ imágenes**



Agregaremos algo de matemáticas y computación a nuestra definición...



- Procesamiento digital (computacional) de imágenes
 - Digital: discreto y finito
 - En un espacio o conjunto discreto los elementos están “aislados” entre sí
Ejemplo: los números naturales $\{1, 2, 3, \dots\}$
 - La “contraparte” es el continuo
Ejemplo: el intervalo de números reales $[0,1]$

Su dibujo aquí...



continuo



discreto

- Con “computacional” nos referimos a métodos y/o máquinas como algoritmos y computadores.
- Por **algoritmo** entenderemos un procedimiento “bien definido”. Esto es, un conjunto no ambiguo de:
 - entradas,
 - salida(s), y
 - reglas o pasos para construir cada salida

Algoritmo EncontrarNumeroMayor

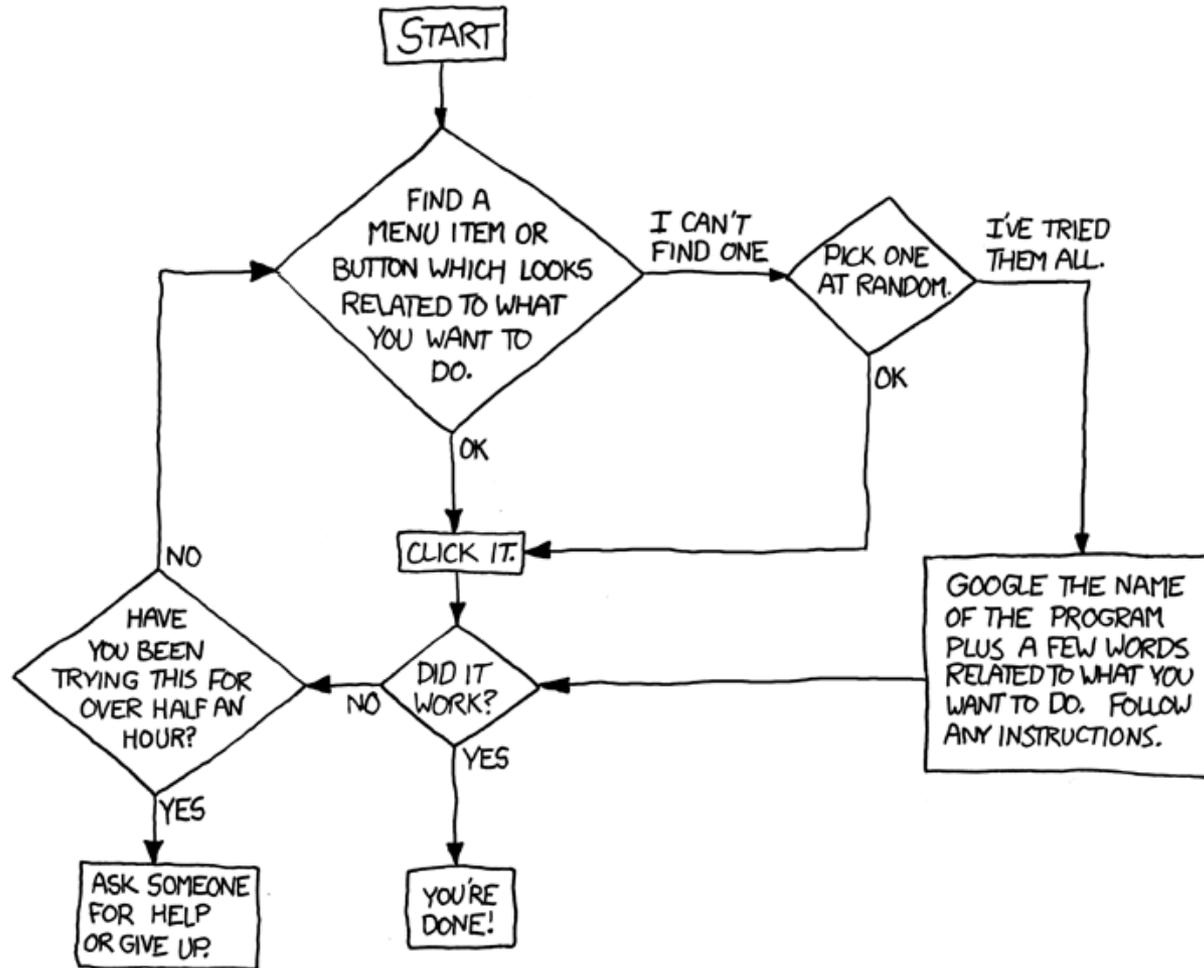
Entrada: una lista L , no vacía de números.
Salida: el número mayor de L .

```
mayor ← primer elemento de  $L$   
if (cantidad de elementos de  $L \geq 1$ ) then  
  for each item in  $L$ , do  
    if item > mayor then mayor ← item  
return mayor
```

DEAR VARIOUS PARENTS, GRANDPARENTS, CO-WORKERS,
AND OTHER "NOT COMPUTER PEOPLE."

<http://xkcd.com/627/>

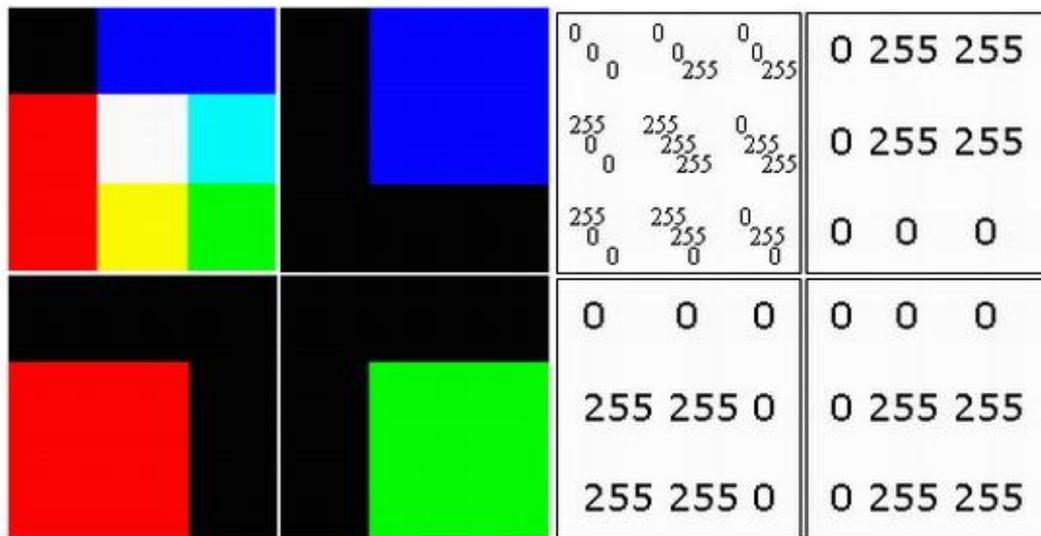
WE DON'T MAGICALLY KNOW HOW TO DO EVERYTHING IN EVERY
PROGRAM. WHEN WE HELP YOU, WE'RE USUALLY JUST DOING THIS:



PLEASE PRINT THIS FLOWCHART OUT AND TAPE IT NEAR YOUR SCREEN.
CONGRATULATIONS; YOU'RE NOW THE LOCAL COMPUTER EXPERT!

- Definiremos una **imagen digital** como una función en un espacio discreto

- El formato típico de una imagen digital 2D es el **raster**: un arreglo o matriz de **pixeles** en coordenadas cartesianas (x, y)
- Se define un valor numérico de **intensidad** o **color** para cada píxel



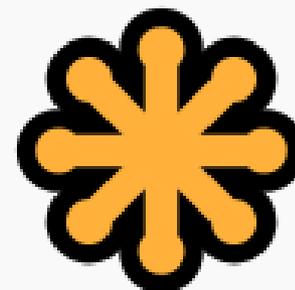
$$I = f(x, y)$$

$$(x, y) \in [0, \dim_x - 1] \times [0, \dim_y - 1]$$

$$I[x_i, y_j] = f[x_i, y_j]$$

- Una **imagen vectorial** se puede definir usando funciones de base, en lugar de especificar color/intensidad en cada píxel
- No obstante, al desplegarse en una pantalla de computador (matriz de píxeles) se requiere de un proceso de *rasterización*
- Ejemplo de formato vectorial: SVG

Scalable Vector Graphics



```

<?xml version="1.0" en
<svg version="1.0" x
<defs>
  <linearGradient xl="99.7"
</defs>
  <use xlink:href="#box_gr
  <use xlink:href="#circle
  <use xlink:href="#circle
  <line xl="100" yl="300"
  <!--add more con
  <circle cxl="90"
</svg>
  
```



- ...así, entenderemos a una imagen como una **función** (en el sentido matemático):
 - Definida sobre un dominio (discreto)
 - Con valores numéricos asociados a cada elemento, como color o brillo

Representaciones de matriz o vectorial son sólo algunos ejemplos...
Fourier, wavelets, *splines*

- Representación de la función
 - Raster, SVG, funciones de base
- Modo de color
 - Escala de grises
 - Colores (RGB, CMYK, HSV, Lab, etc.)
- Modo de almacenamiento
 - “Raw” (crudo): se almacena cada píxel (mucho espacio)
 - Comprimido, formatos con pérdida (*lossy*, e.g. JPEG) o sin pérdida (e.g. TIFF / Raw+ZIP)
- Profundidad de color
 - Cantidad de bits → rango de valores (e.g. 8 bits, 32 bits)
 - Formato
 - Entero (normalmente sin signo, e.g. TIFF)
 - Decimal (algunos con signo, e.g. ICS)

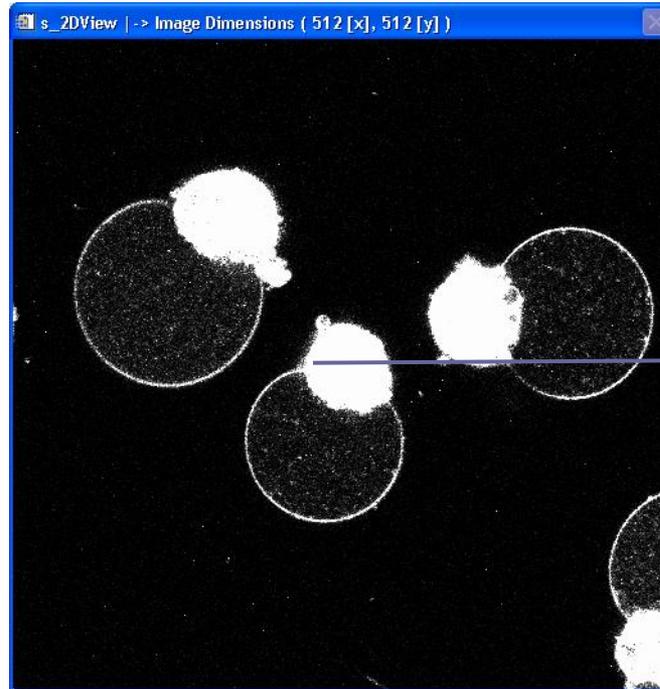
- Imagen en escala de grises
 - Se define un nivel de brillo para cada píxel

0	85	85
85	255	170
85	170	85



$I[x,y]$

Valor binario	Valor decimal
0000 0000	0 (negro)
0000 0001	1
0000 0010	2
0000 0011	3
0000 0100	4
0000 0101	5
0000 0110	6
0000 0111	7
0000 1000	8
...	...
1111 1011	251
1111 1100	252
1111 1101	253
1111 1110	254
1111 1111	255 (blanco)

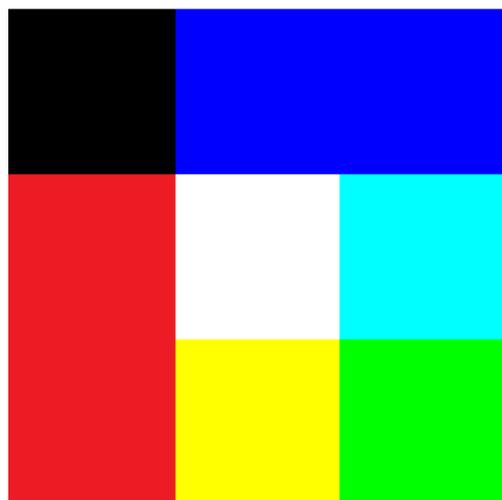


$I(290,267) = 220$

Imagen en escala de grises de 8 bits

Una imagen en escala de grises de n bits permite codificar 2^n valores de intensidad

- Imagen RGB
 - Combinación de tres canales con colores primarios (Red, Green, Blue)

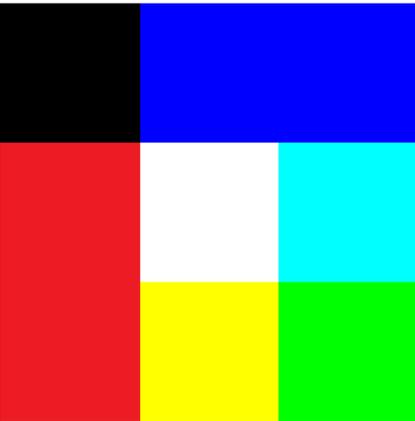


0	0	0
0	0	0
0	255	255
255	255	0
0	255	255
0	255	255
255	255	0
0	255	255
0	0	0

$$r[x, y] \quad g[x, y] \quad b[x, y]$$

- CMYK es similar (Cyan, Magenta, Yellow & Black)

- De RGB a escala de grises
 - La conversión no es necesariamente un promedio...

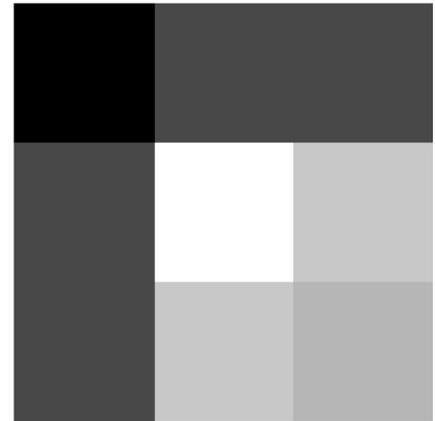


0	0	0
0	0	0
0	255	255
255	255	0
0	255	255
0	255	255
255	255	0
0	255	255
0	0	0

$r[x,y]$ $g[x,y]$ $b[x,y]$

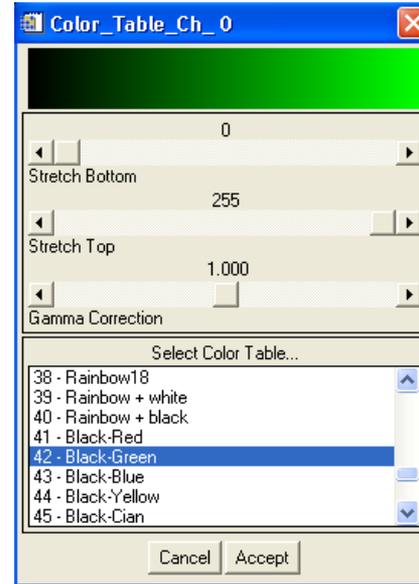
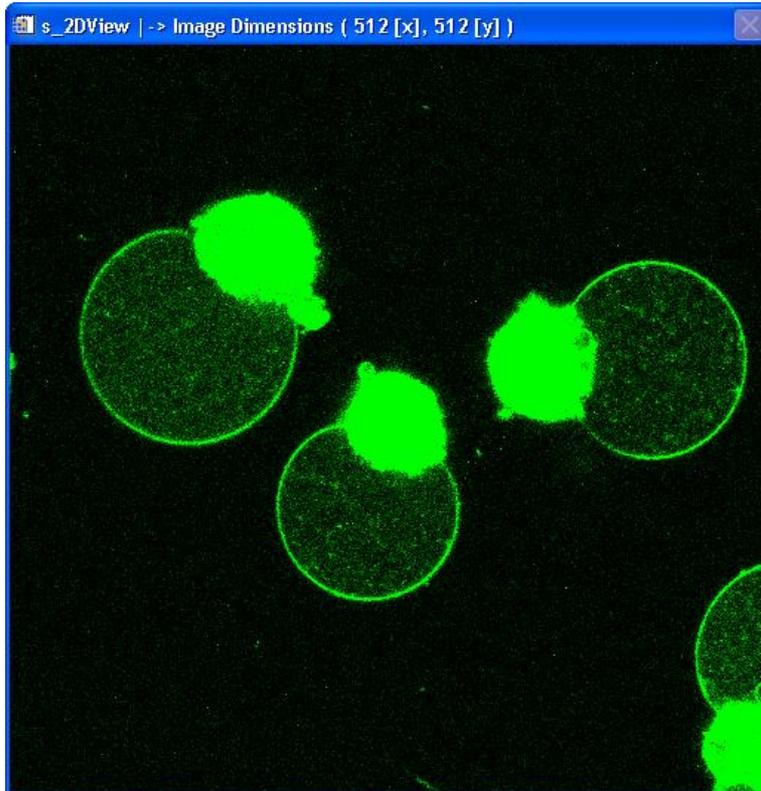
0	85	85
85	255	170
85	170	85

$I[x,y]$



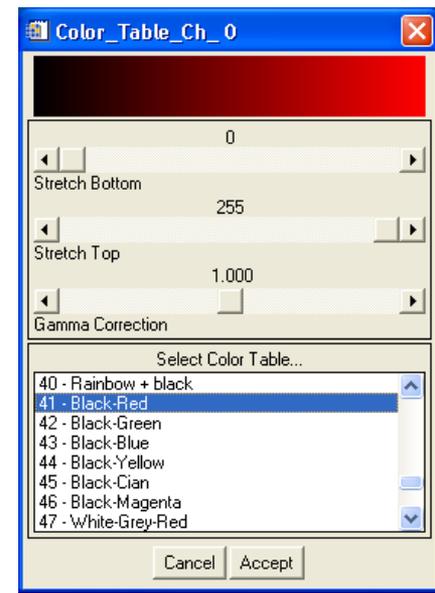
Capacidad del ojo humano para distinguir colores...

- Es posible definir tablas de color para visualización. Por ejemplo, una imagen en escala de grises podría mostrarse usando una escala de verdes
- En inglés se conocen como LUT (*lookup table*) o *color table*



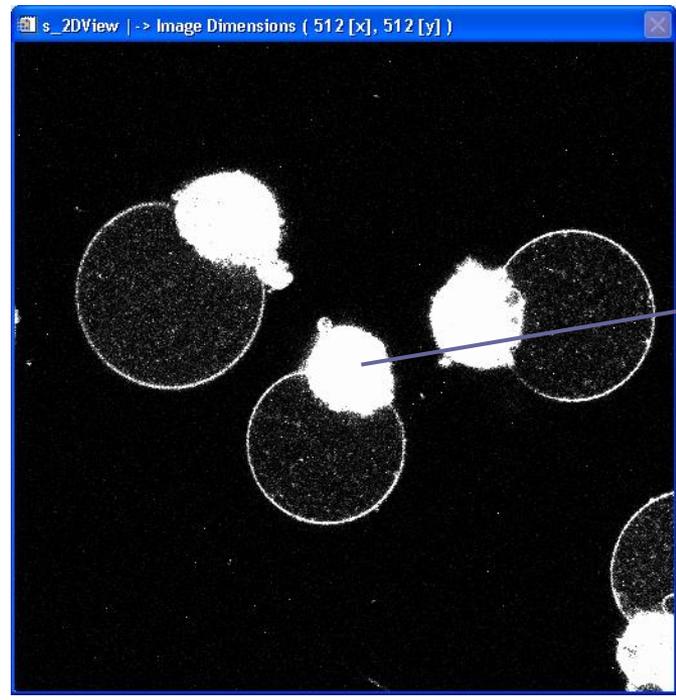
	r	g	b
0	0	0	0
0	1	0	0
0	2	0	0
:	:	:	:
:	:	:	:
:	:	:	:
:	:	:	:
0	200	0	0
:	:	:	:
:	:	:	:
0	255	0	0

- Escala de rojos...



	r	g	b
0	0	0	0
1	0	0	0
2	0	0	0
:	:	:	:
:	:	:	:
:	:	:	:
:	:	:	:
220	0	0	0
:	:	:	:
:	:	:	:
255	0	0	0

- ...o cualquier tabla en el espacio de colores

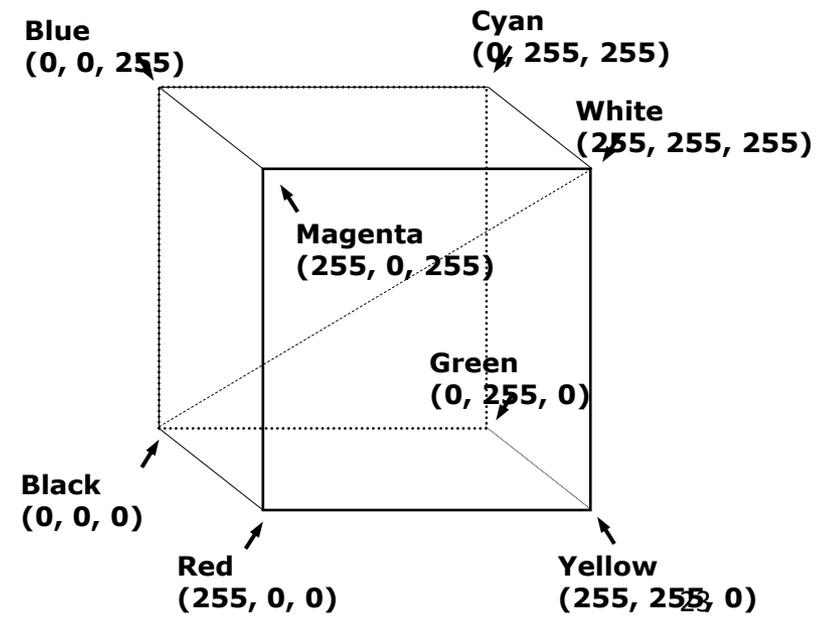


$I(290,267) = 220$

r	g	b
0	0	0
:	:	:
:	:	:
:	:	:
:	:	:
:	:	:
:	:	:
:	:	:
:	:	:
220	220	220
:	:	:
:	:	:
255	255	255

También se pueden definir tablas de color para imágenes RGB

- Red = $[r_0, r_1, \dots, r_{255}]$
- Green = $[g_0, g_1, \dots, g_{255}]$
- Blue = $[b_0, b_1, \dots, b_{255}]$



- Modelo HSV

http://en.wikipedia.org/wiki/HSV_color_space

Hue Saturation Value (HSV or HSI)

tono, saturación, valor:

- **Hue** „tipo“ de color, rango 0-360°
(0° rojo, 120° verde, 240° azul)
- **Saturation** „intensidad“ del color, rango 0-100%.
- **Value** nivel de brillo, rango 0-100%.

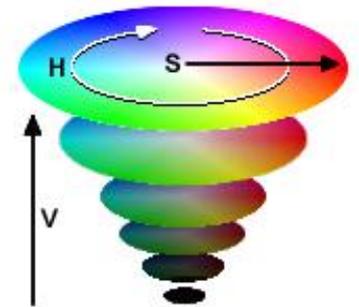
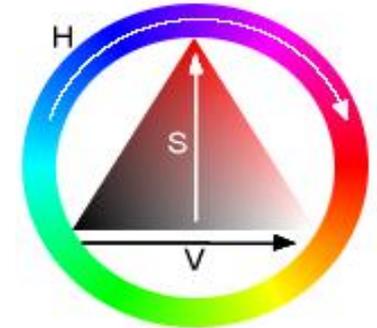
HSV es una transformación **no lineal** del espacio de color RGB.

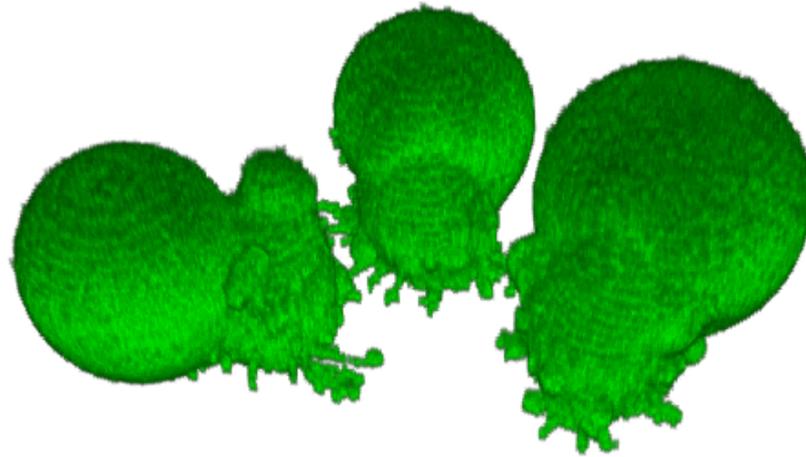
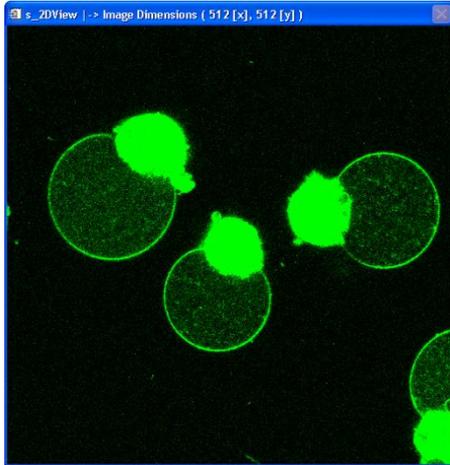
$$H = \begin{cases} \Theta & G \geq B \\ 2\pi - \Theta & G \leq B \end{cases}$$

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

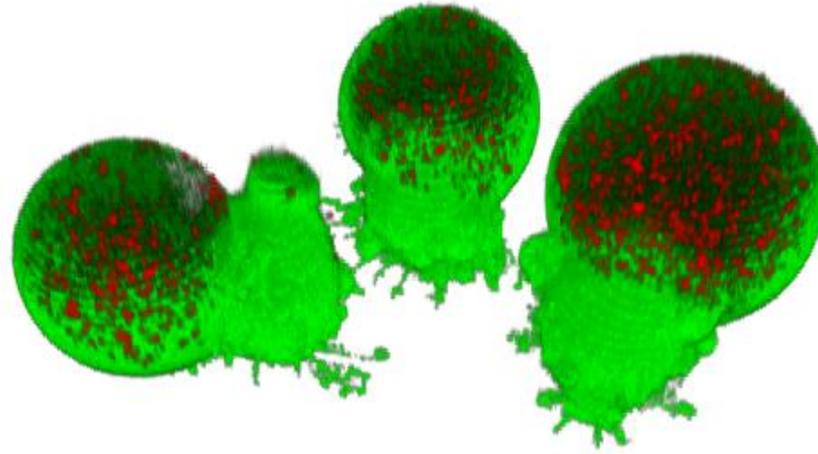
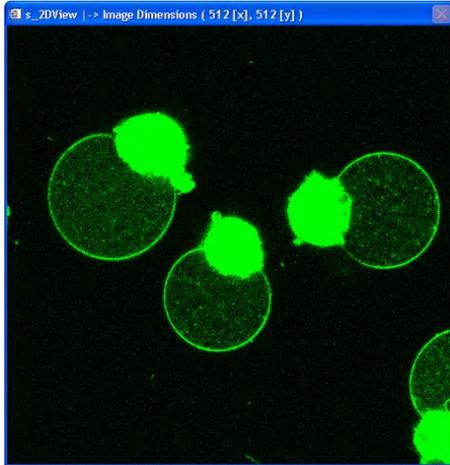
$$I = \frac{R + G + B}{3}$$

$$\Theta = \arccos \left[\frac{1}{2} \frac{(R - G)(R - B)}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right]$$





En 3D surge un problema de visualización...



[R, G, B, α]

Opacidad o
alpha-blending

- Análisis de imágenes
 - The extraction of meaningful descriptions of features of interest from images

Adaptado de
Young I, Gerbrands J, van Vliet L (1995)
Fundamentals of Image Processing. Delft: PH

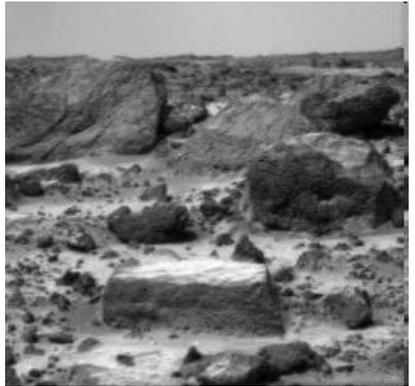
- Algunas tareas de análisis
 - Identificación de objetos o regiones
 - Células y/u organelos
 - Registración: “matching” de imágenes o regiones
 - Corrección de “drift” de la muestra en el microscopio
 - Obtención de velocidades relativas al interior de un objeto
 - Correspondencia entre (secciones de) imágenes u objetos
 - Estimación de movimiento, *Tracking*: seguimiento de objetos
 - Descripciones de migración individual, colectiva
 - Análisis de morfología, topología, textura...
 - Caracterización
 - Clasificación
 - Detección de poblaciones, anomalías

- Algunas tareas de análisis
 - Identificación de objetos o regiones
 - Células y/u organelos
 - Registración: “matching” de imágenes o regiones
 - Corrección de “drift” de la muestra en el microscopio
 - Obtención de velocidades relativas al interior de un objeto
 - Correspondencia entre (secciones de) imágenes u objetos
 - Estimación de movimiento, *Tracking*: seguimiento de objetos
 - Descripciones de migración individual, colectiva
 - Análisis de morfología, topología, textura...
 - Caracterización
 - Clasificación
 - Detección de poblaciones, anomalías

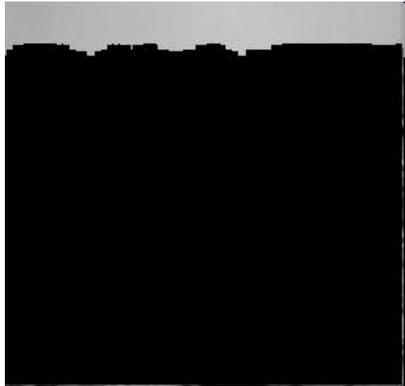
- Segmentación
 - Es el proceso de particionar una imagen en regiones de interés (ROIs) que tengan características similares (por ejemplo, conjuntos de píxeles).
 - Objetivo: simplificar/cambiar la representación de una imagen en información que permita una mejor caracterización.

Shapiro LG and Stockman GC (2001):
“Computer Vision”, pp 279-325
New Jersey, Prentice-Hall

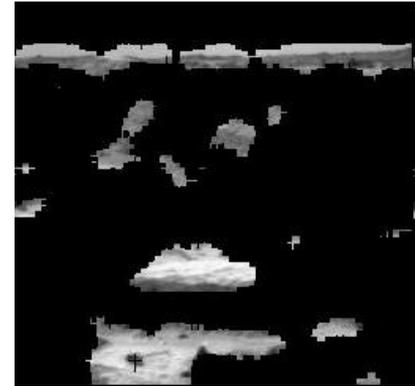
- Dicho de otro modo, la segmentación es la descomposición de una imagen en distintas regiones, de acuerdo ciertos criterios



Sol 3, Mars
Pathfinder Mission

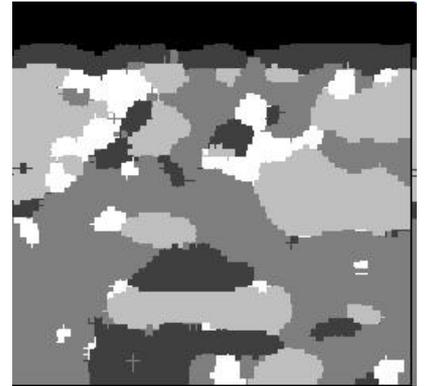


Sky / Flat



Dust / Horizon

...etc...



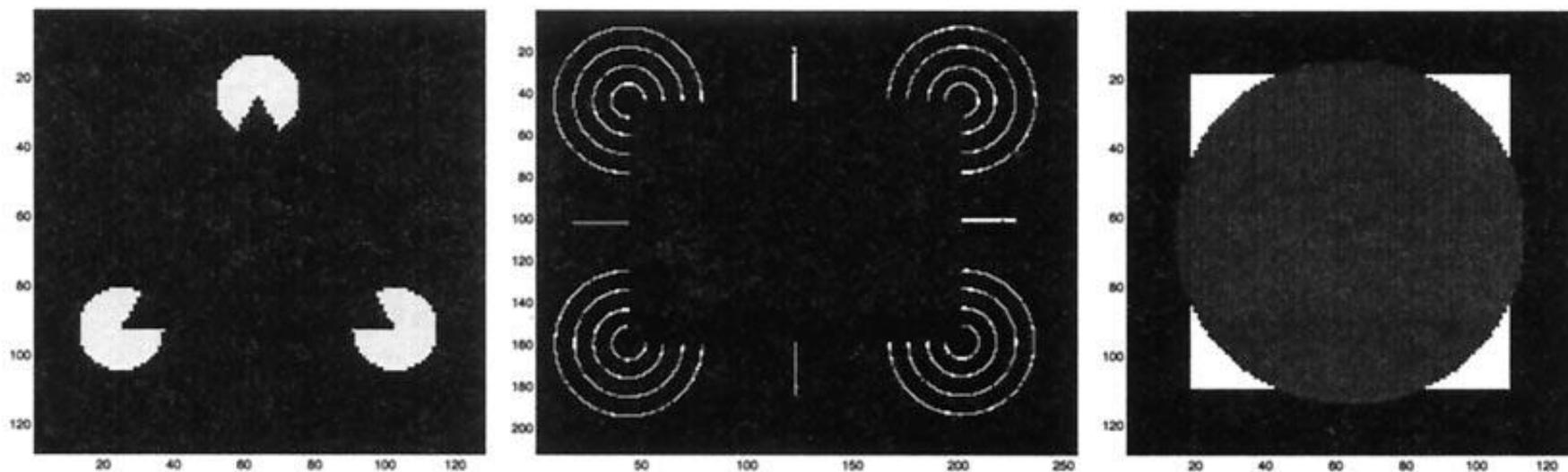
Final segmentation

- Es posible usar características que ayuden a encontrar ROIs



Scale Invariant Feature Transformation (SIFT), D Lowe (2004). Image from J Clemons (2009)

- Segmentación... ¿Características? ¿Criterios?

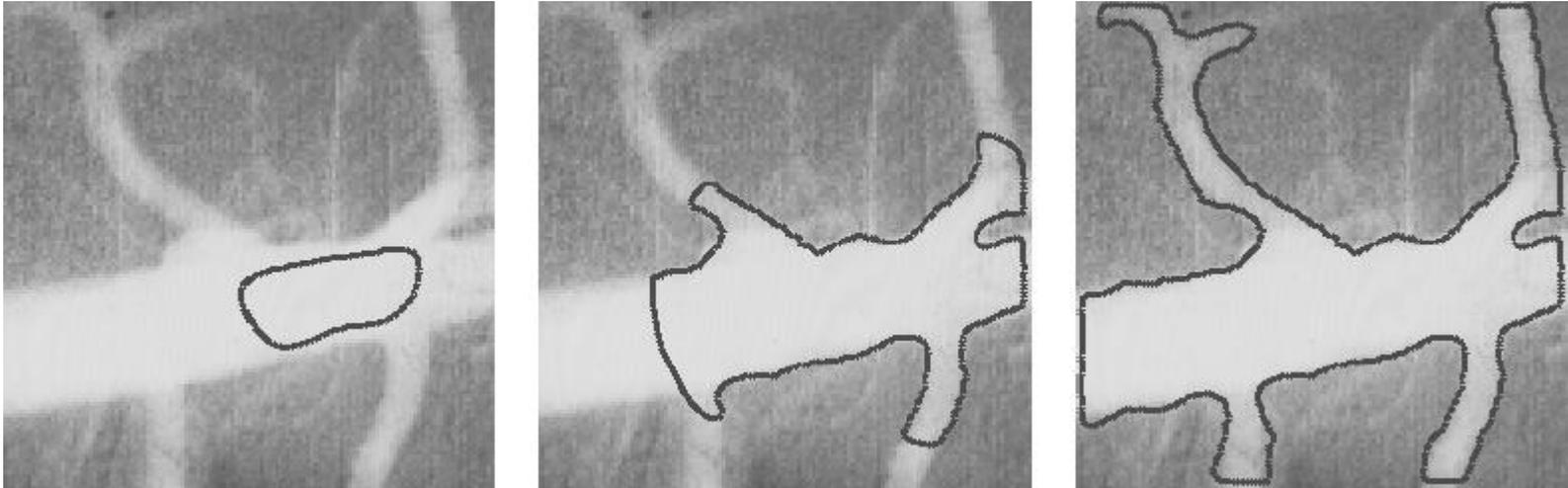


- ...no siempre / casi nunca hay suficiente información como para determinar una segmentación 100% precisa.

- Problemas

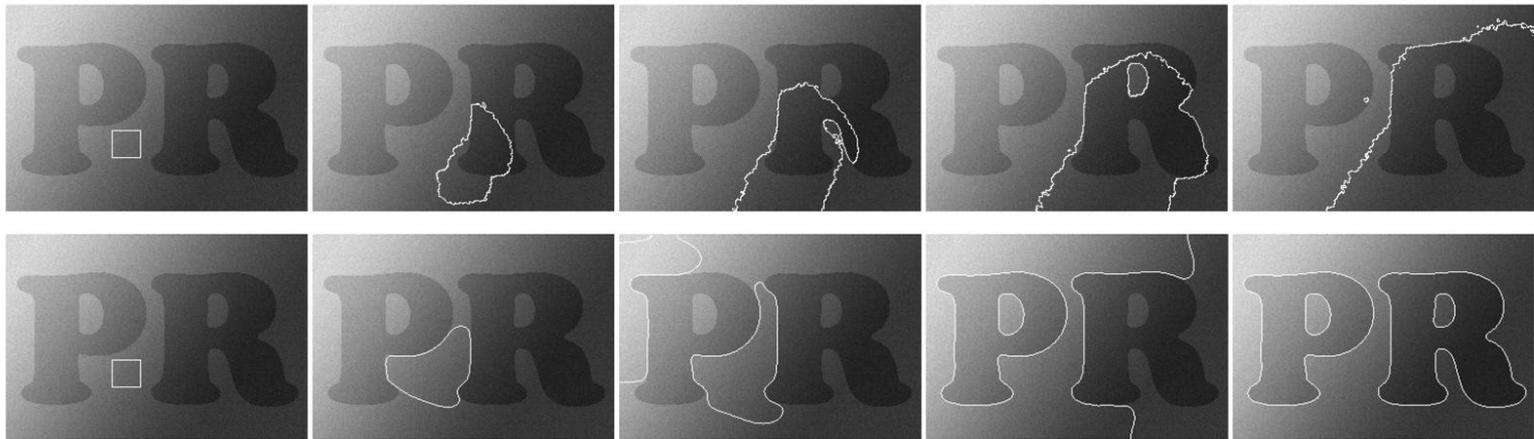
- No existen criterios o estándares absolutos (Ground Truth, Gold Standard)
- Información incompleta o errónea
- Sugerencia: “Buenas” (controladas) condiciones de adquisición facilitan el proceso

¿Qué es Ground Truth?
¿Y Gold Standard?



J A Sethian – Fast marching and level set methods

http://math.berkeley.edu/~sethian/2006/Applications/Medical_Imaging/artery.html

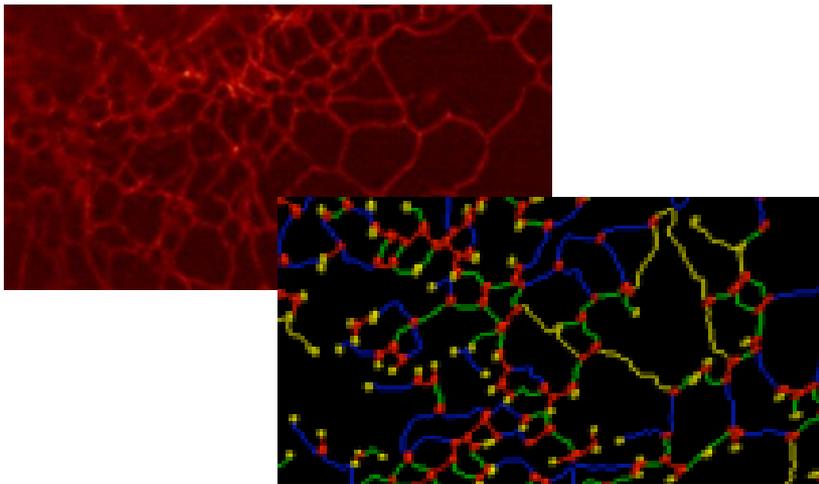


X Xie (2010) Magnetostatic Active Contours

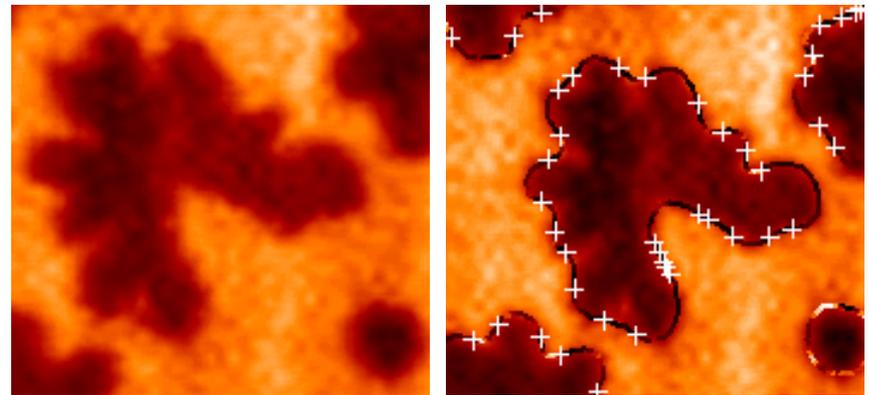
- Los resultados de la segmentación son la entrada para análisis posteriores
 - No sólo imágenes, sino también modelos o estructuras de datos para las ROIs

Obtención de parámetros...

- Tamaño: perímetro, área
- Borde: inflexiones, forma
- Topología: conectividad, extremos



Retículo endoplásmico en célula COS
O Ramírez, L Alcayaga (2012)



Monocapas lipídicas
J Jara (2006), Fanani et al (2010)

Algunas herramientas de software libre / de código abierto (free / open source software)

- Basados en Java(requieren un entorno de ejecución Java)
 - ImageJ (<http://rsbweb.nih.gov/ij/>, dominio público)
 - Fiji (<http://fiji.sc>, licencia GPL)
 - Icy (<http://icy.bioimageanalysis.org>, licencia GPLv3)
- Otros
 - CellProfiler (<http://cellprofiler.org>, licencias GPL y BSD)
 - Slicer (www.slicer.org, licencia BSD)