



Reconstrucción tridimensional de vasos sanguíneos de retina de humanos

Dra. María Elena Martínez Pérez

Departamento de Ciencias de la Computación

IIMAS-UNAM

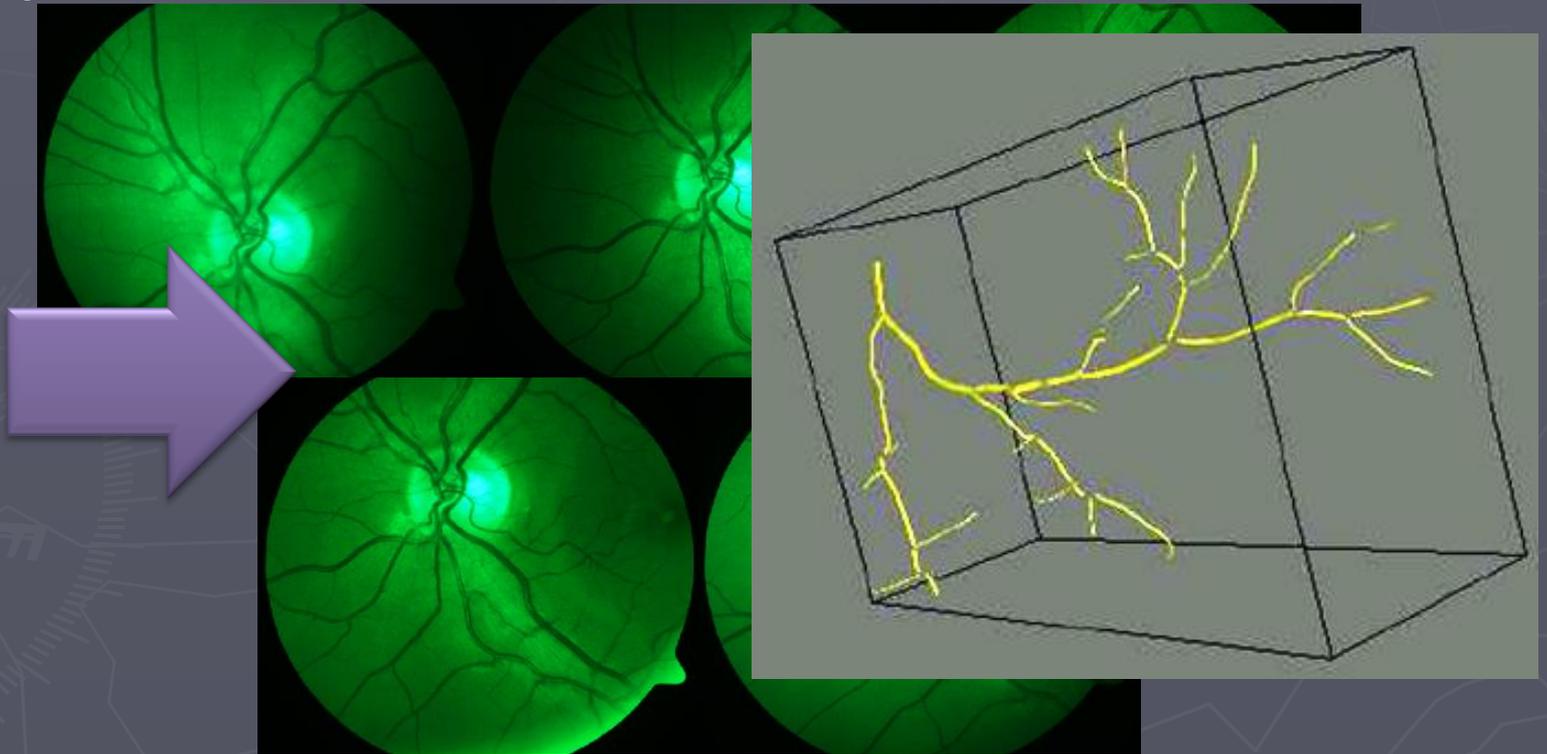
Colaboradores: Dr. Arturo Espinosa, M. en C. Javier Aldana y
Dr. Rufino Díaz

Índice

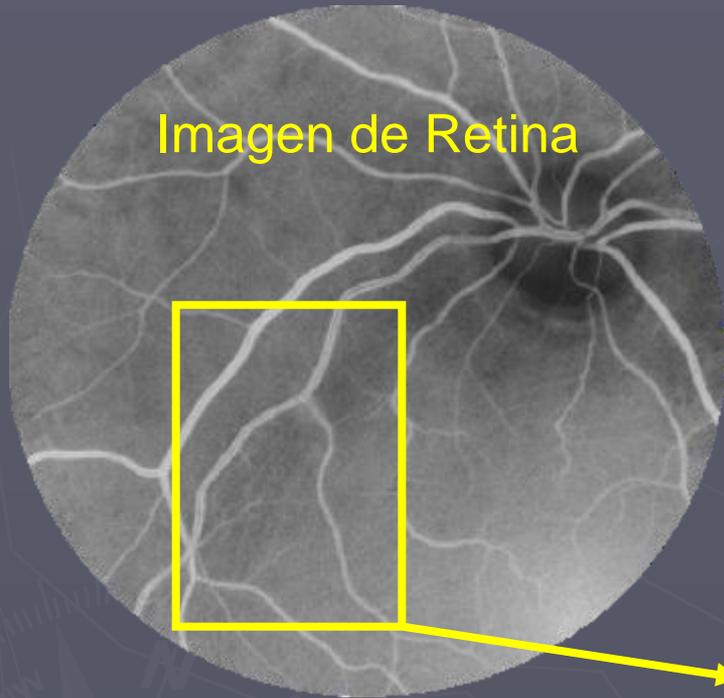
- ▶ Objetivo y motivación
- ▶ Desarrollo
- ▶ Resultados
- ▶ Conclusiones

Objetivo general del proyecto

- De un conjunto de imágenes de superficies

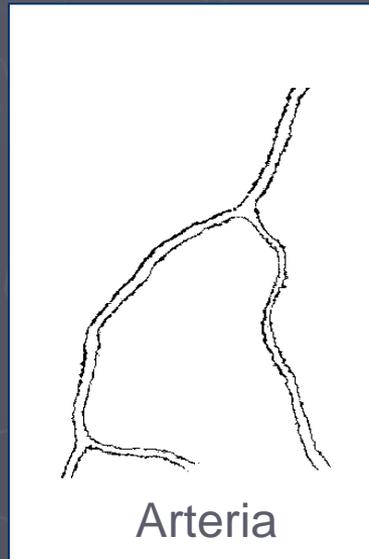


¿Porqué imágenes de retina?

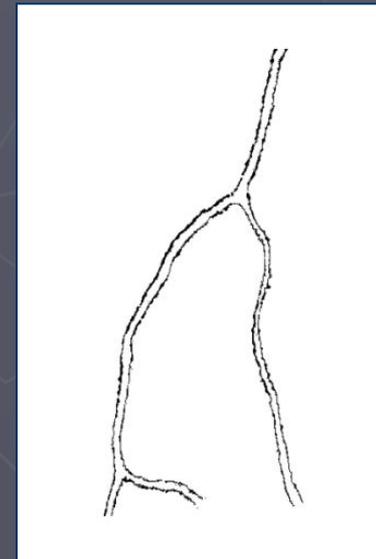


Cambios estructurales:

- Relación: tamaño/diámetro
- Ángulos de bifurcación
- Tortuosidad
- Densidad vascular (rarefraction)



Enfermedad



¿Por qué vasos retinales?

- ▶ Es posible inspeccionar los vasos *in vivo* y estudiarlos.
 - El estudio de fondo de ojo es barato y no invasivo.
 - Se pueden detectar cambios en la morfología de los vasos sanguíneos que son indicativos de ciertas enfermedades.
 - Asistencia clínica a los médicos para su estudio o el seguimiento de tratamientos.

Adquisición de las imágenes

- Cámara digital convencional



- Carl Zeiss Visucam Lite

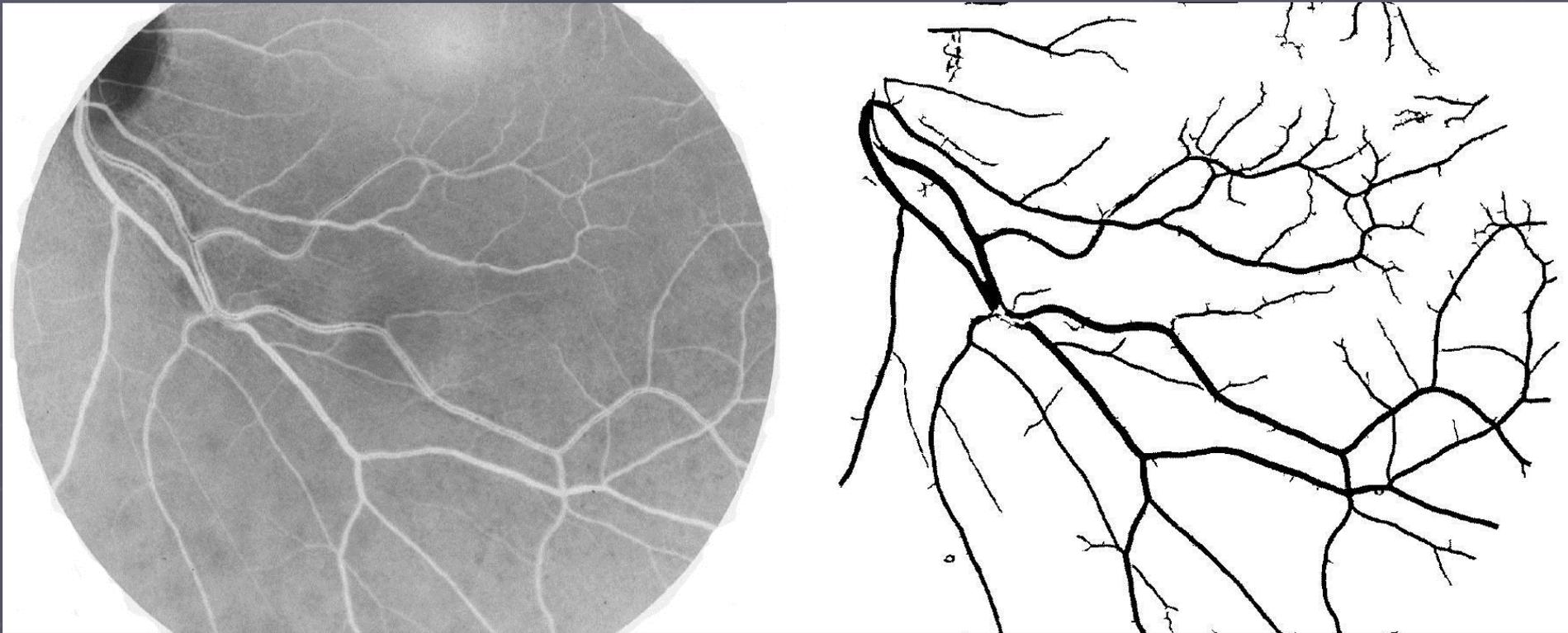


- Carl Zeiss FF 450 Plus sincronizada con una Canon EOS 5D Mark II



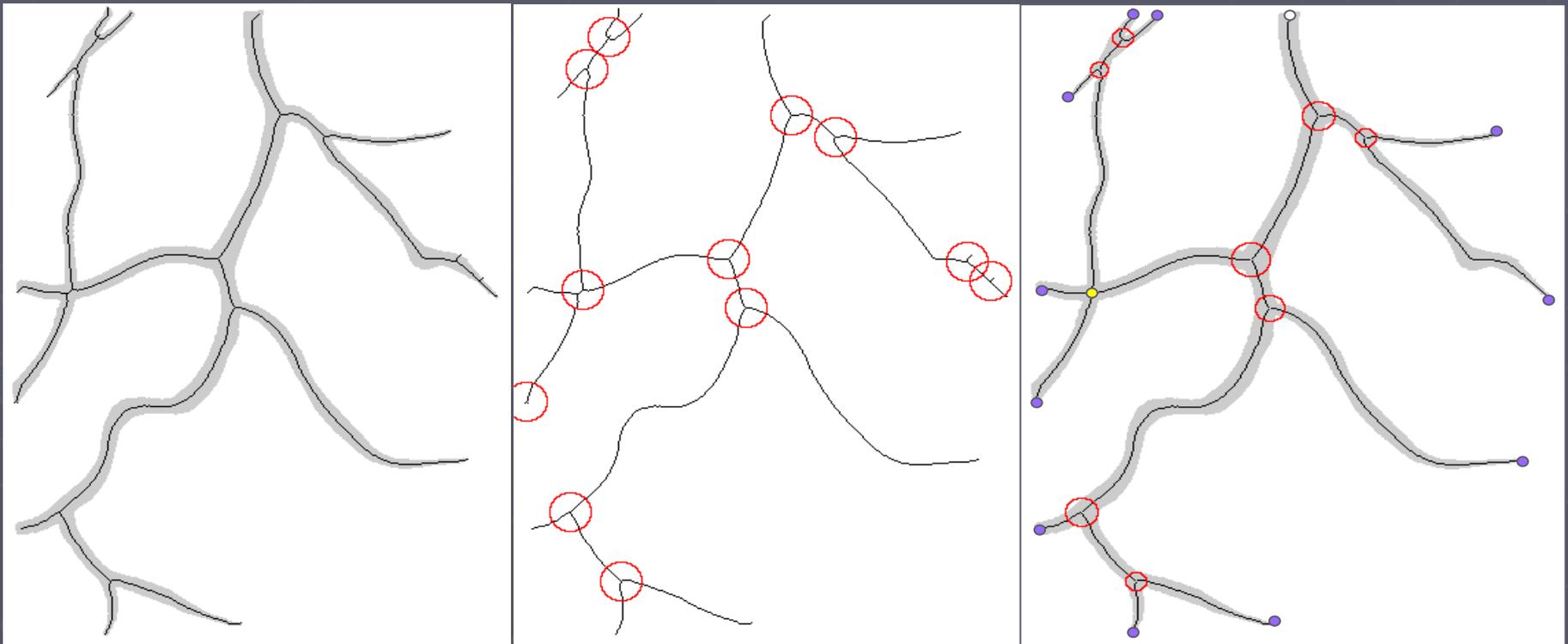
Antecedentes

- ▶ Segmentación de los vasos sanguíneos de la imagen 2D de tonos de gris.



Antecedentes

► Caracterización de árboles



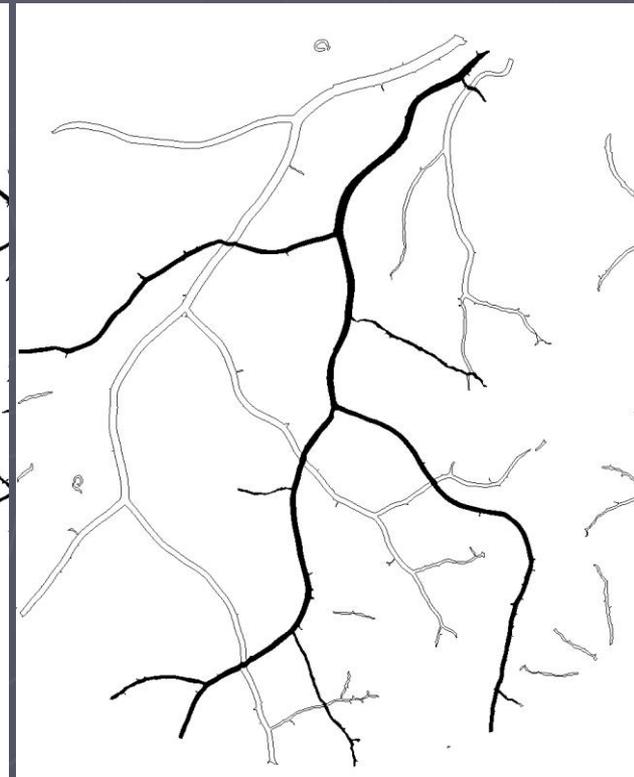
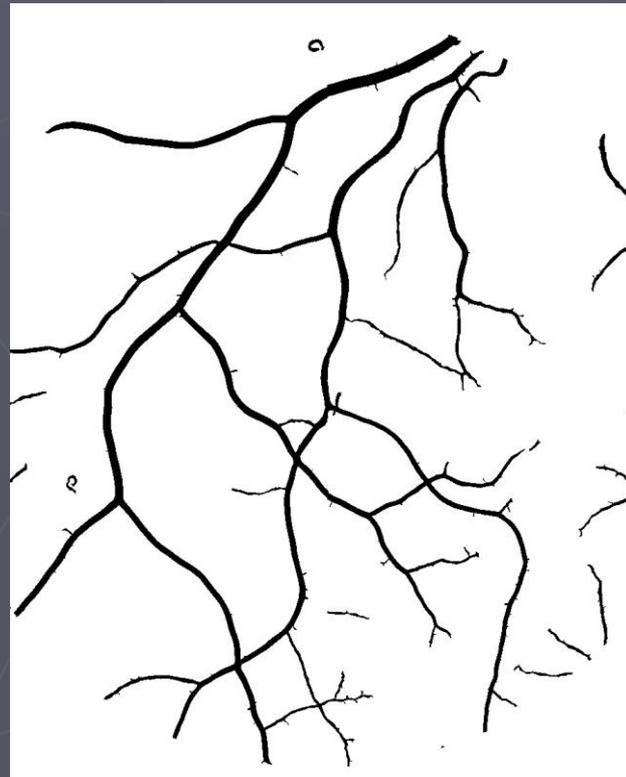
Adelgazamiento

Puntos
significativos

Seguimiento

Antecedentes

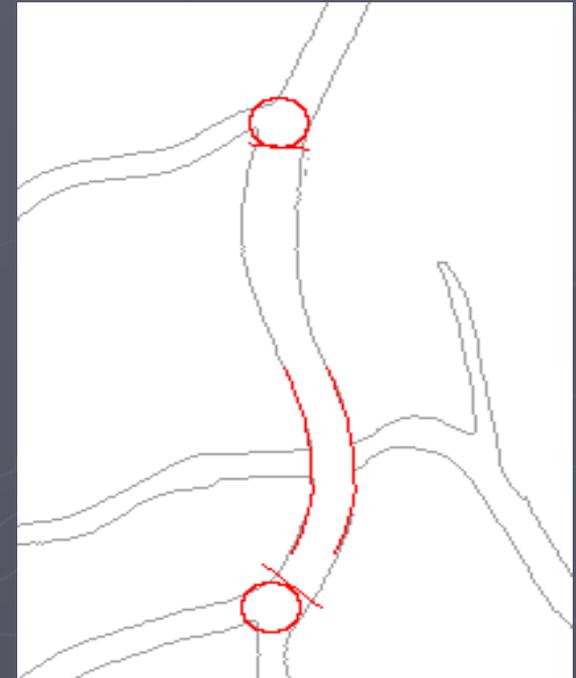
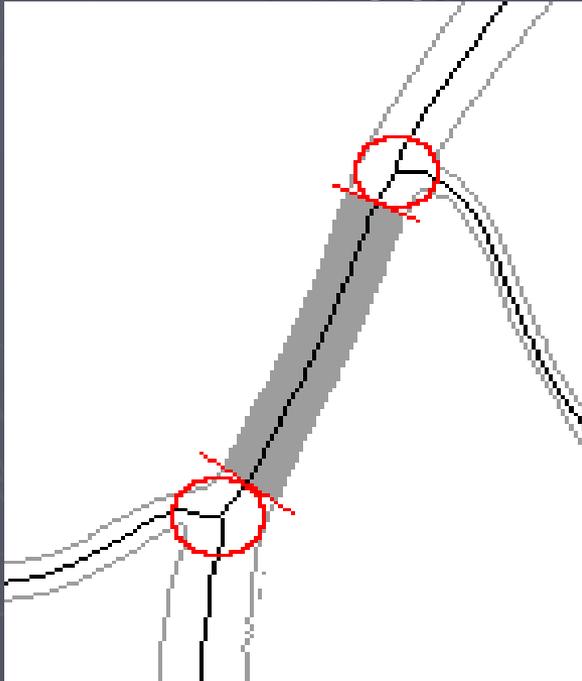
- ▶ Separación de árboles arteriales de venosos.



Antecedentes

- Medidas geométricas en 2D.

Área:

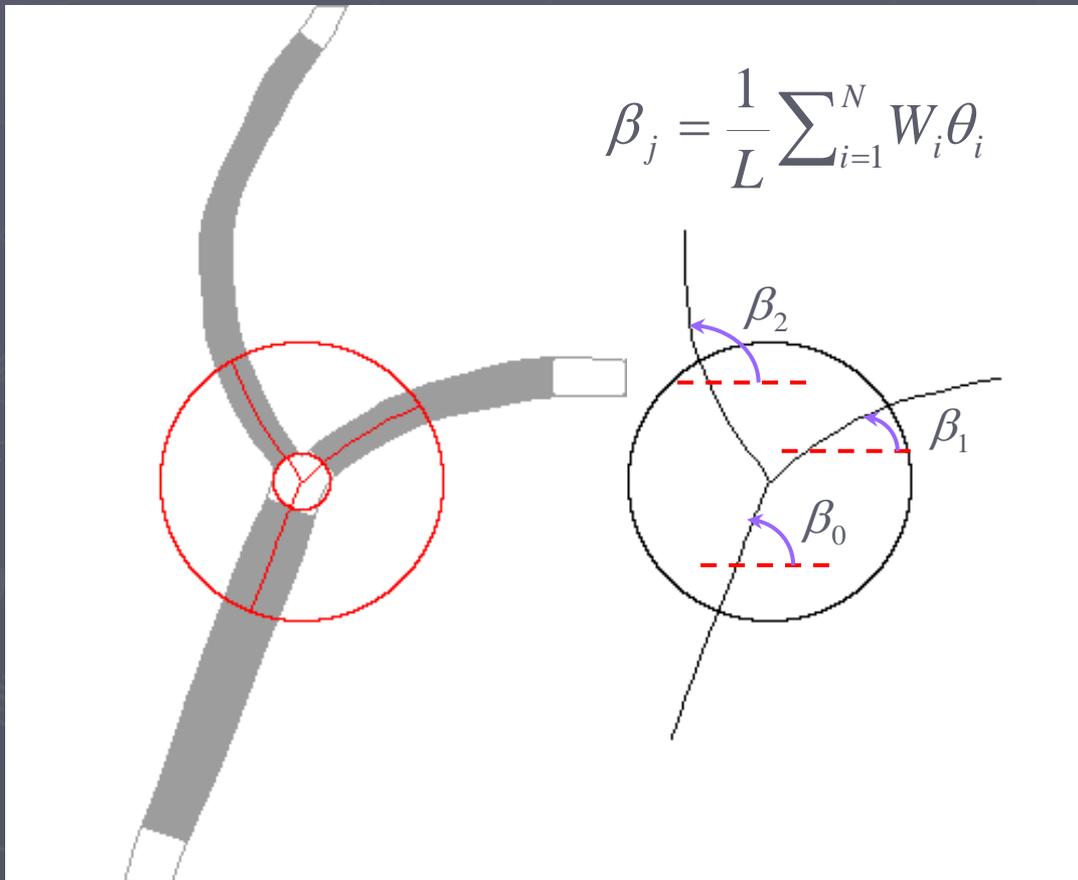


Longitud: $L_t = N_o + \sqrt{2}N_e$

Diámetro: $d = Area / L_t$

Antecedentes

- Medidas geométricas en 2D (ángulos).



Antecedentes

► Vista panorámica en 2D



Fig4. Fuente tomada de internet

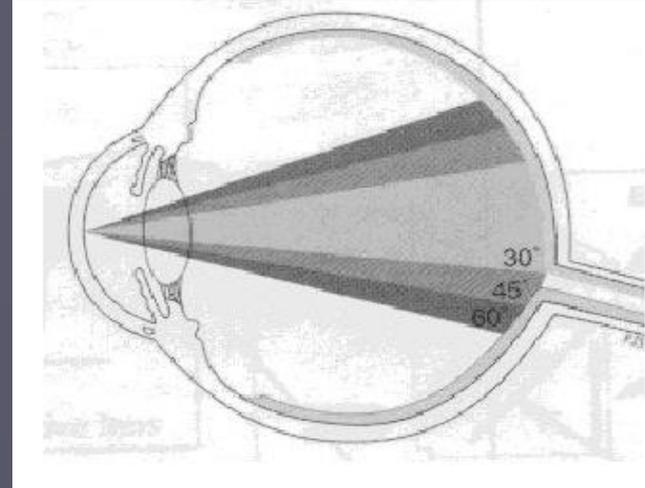
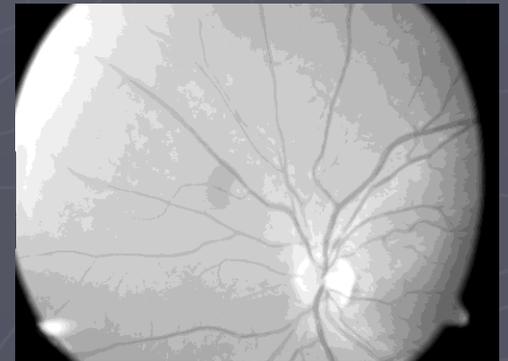
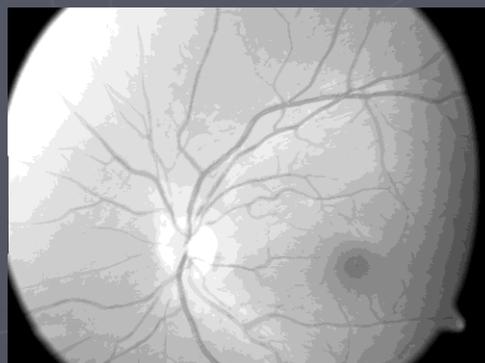
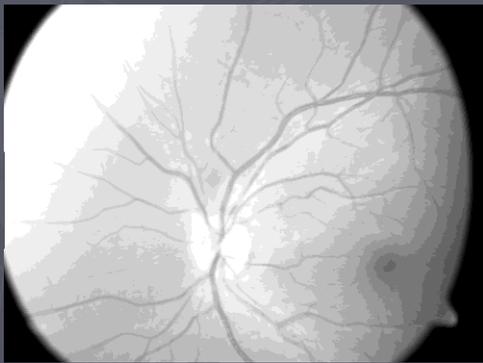


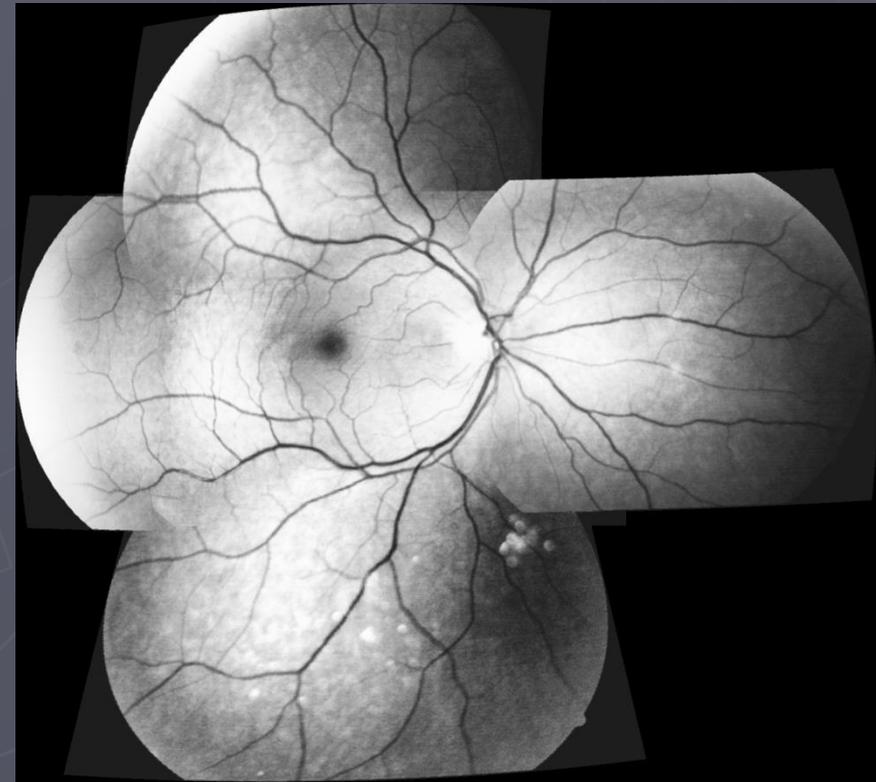
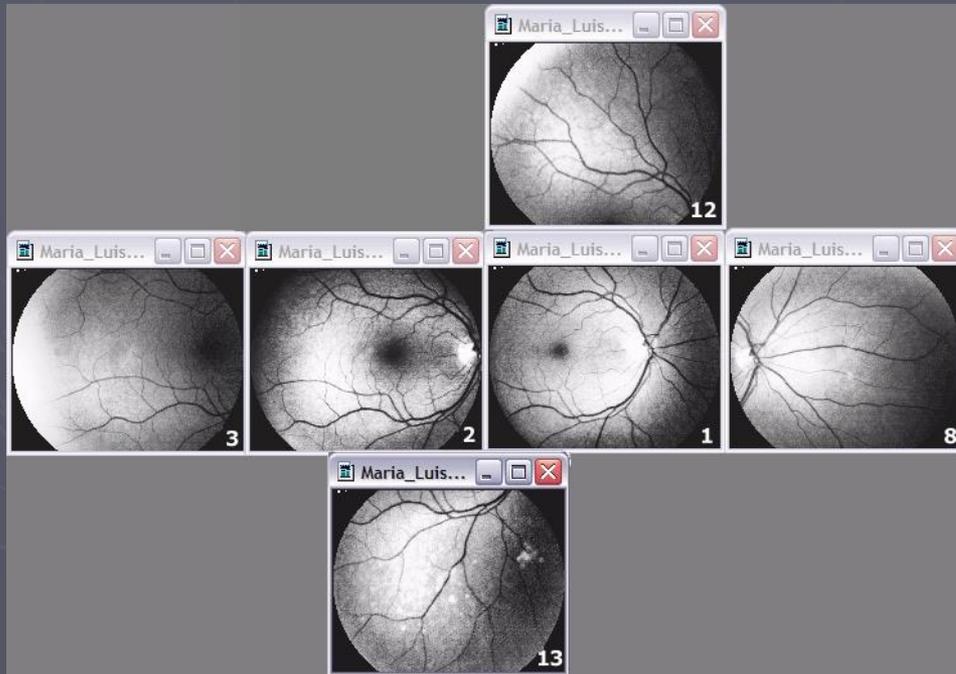
Fig5. . Fuente tomada de Ophthalmic Photography Retinal Photography, Angiography, and Electronic Imaging



- El resultado, son varias fotografías de una mismo paciente, las cuales tienen entre ellas un cierto traslape.

Antecedentes

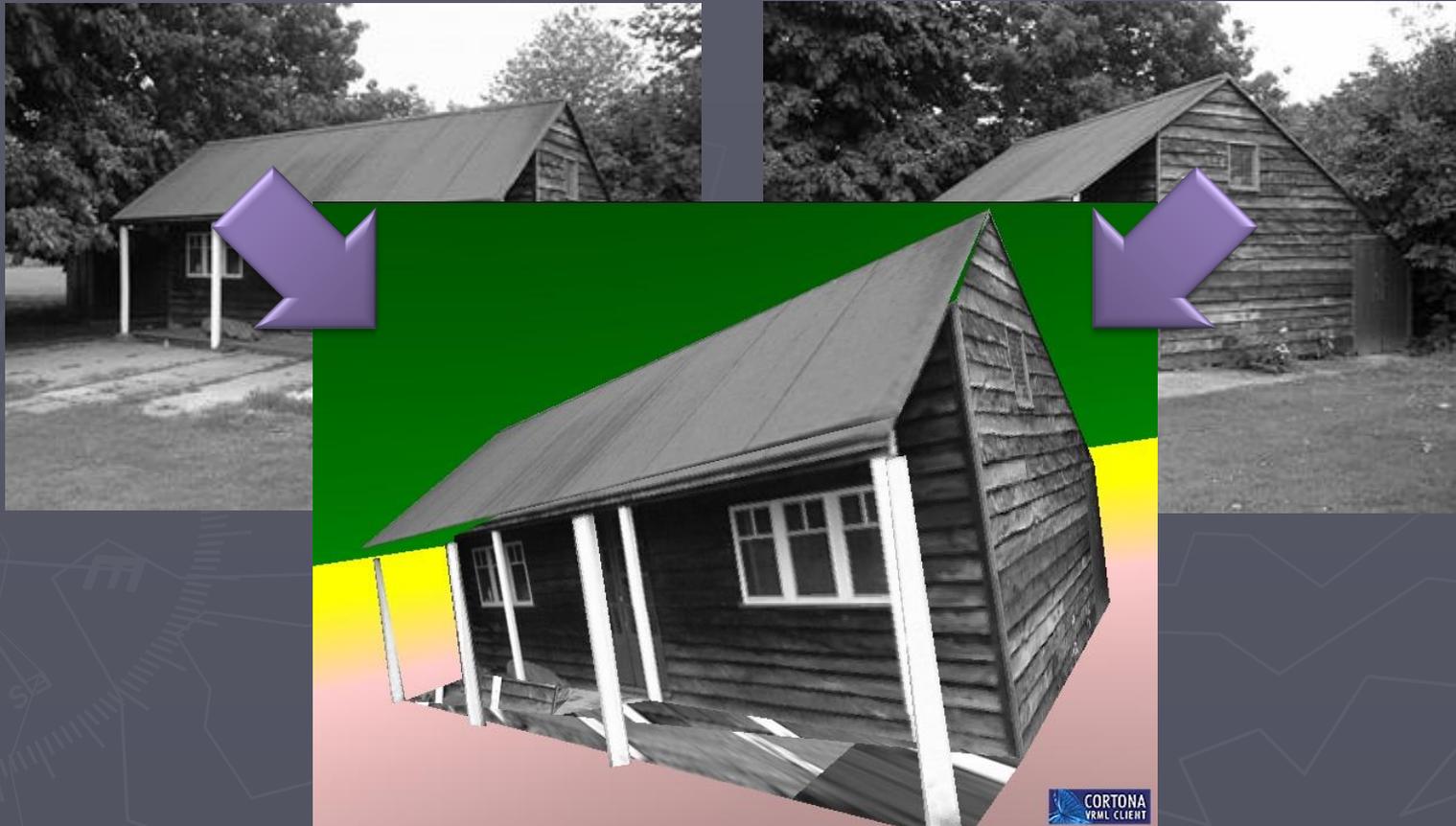
- ▶ Vista panorámica o mosaico en 2D.



(Presentado en: LNCS, vol. 4538, pp 25-36, 2007)

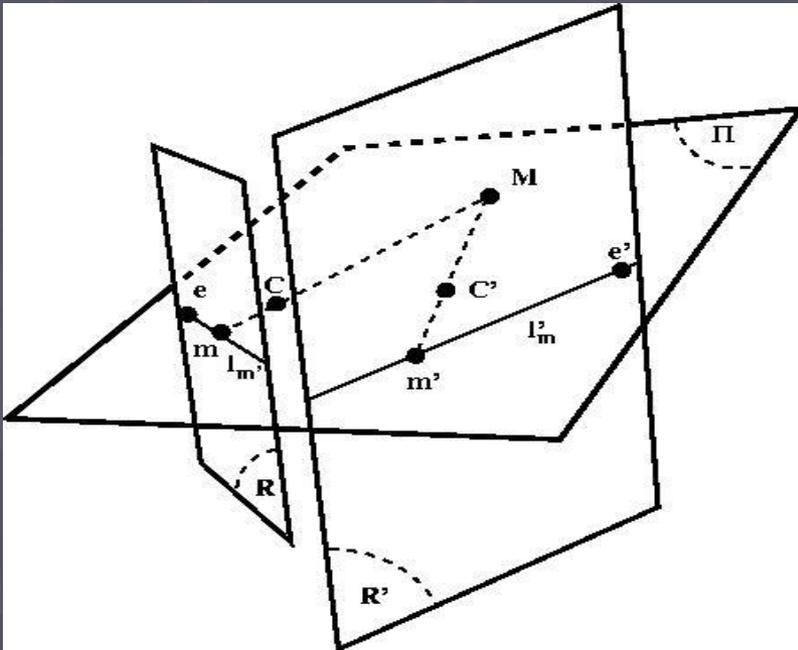
¿Cómo lo hacemos?

- ▶ Por geometría epipolar



La Matriz Fundamental

La matriz fundamental F es la representación algebraica de la geometría epipolar, que a su vez representa la geometría proyectiva intrínseca entre dos vistas.



$$m^{\top} F m' = 0$$

Primera aproximación a la reconstrucción 3D

► Calibración del sistema “cámara-ojo”

Es el proceso de encontrar los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara.

$$K = \begin{bmatrix} \alpha_x & \gamma & u_0 \\ 0 & \alpha_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\alpha_x = f m_x, \quad \alpha_y = f m_y$$

Son la distancia focal en términos de píxeles y m_x y m_y son factores de escala, f es la distancia focal y u_0 , v_0 representan el punto principal. γ = coeficiente skew entre los ejes x y y , que generalmente es 0.

$$P = K[R|t]$$

Matriz de proyección formada por la matriz de calibración y los parámetros extrínsecos R = matriz de rotación y t = vector de traslación.

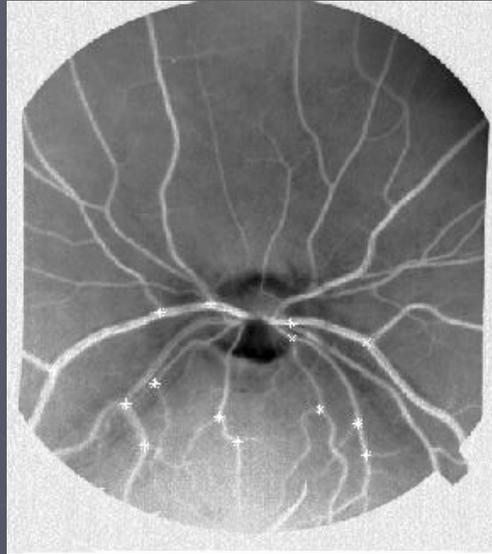
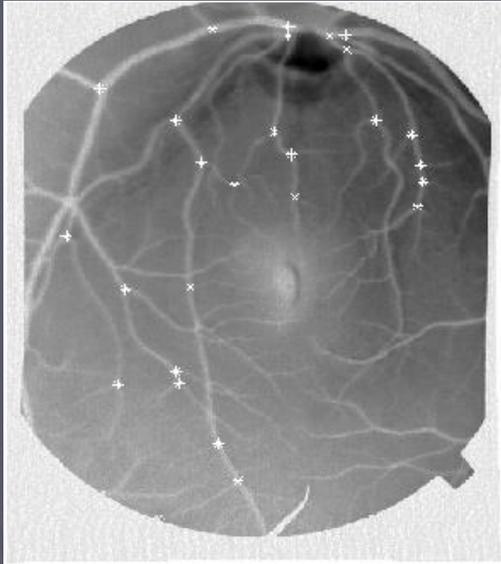
► Calibración del sistema “cámara-ojo”

Auto-calibración

Las ecuaciones de Kruppa son una formulación matemática del concepto de cónica absoluta. La cónica absoluta es una cónica que tiene como característica que esta contenida en el plano del infinito; y nos interesa porque su proyección depende exclusivamente de los parámetros intrínsecos de la cámara.

Utilizamos un método de auto-calibración basado en la simplificación de las ecuaciones de Kruppa para estimar la matriz K (Lourakis and Deriche 1999, 2000).

- Auto-calibración del sistema “cámara-ojo”



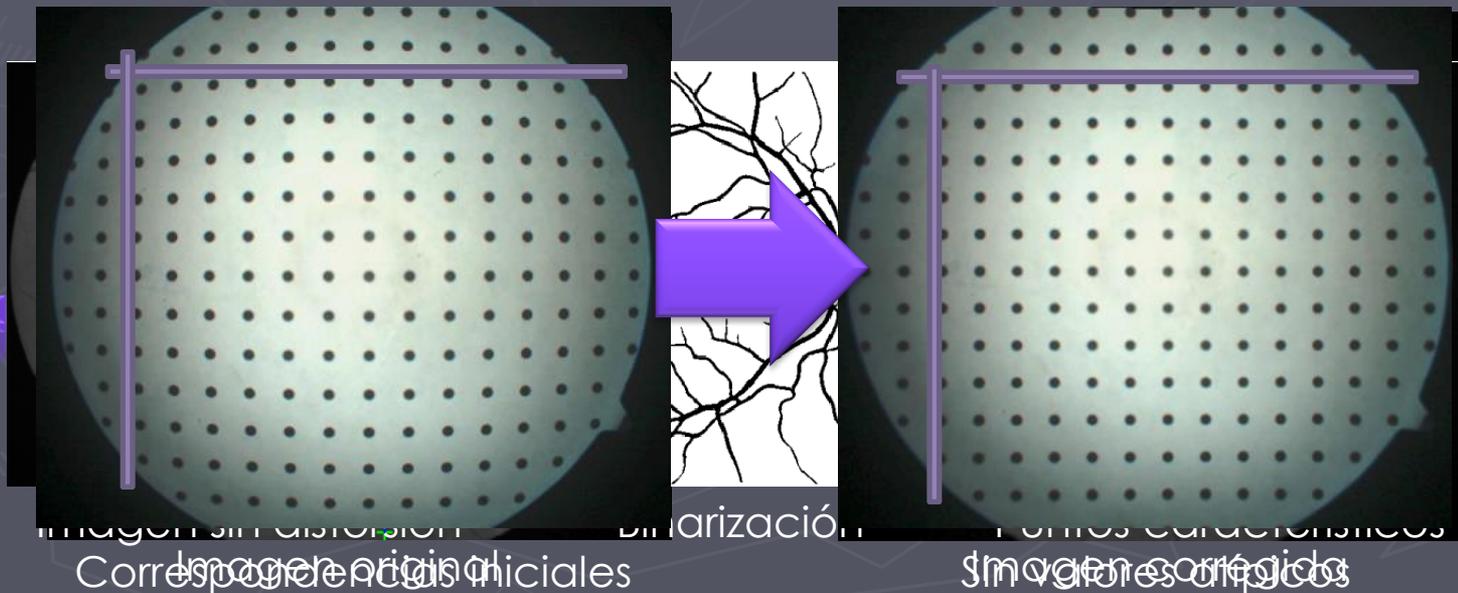
Con un número determinado de imágenes de entrada se obtienen puntos de correspondencia de entre pares que tengan sobrelape. Para formar y resolver las ecuaciones de Kruppa es necesario obtener para cada uno de estos pares la matriz fundamental.

Volviendo a la geometría epipolar

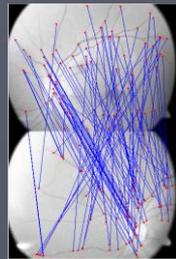
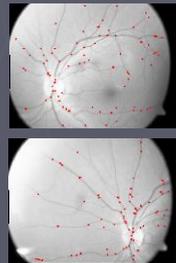
¿Qué necesito para reconstruir?

PRE-PROCESAR LAS DIFERENTES VISTAS

1. Corregir distorsión (ADICOS).
2. Segmentar (RISA).
3. Estimar correspondencias (GTM).



Algoritmo GTM (Graph Transformation Matching)

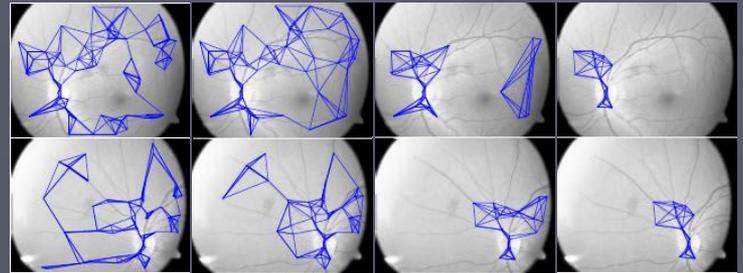


1) Extracción de características

2) Correspondencia inicial

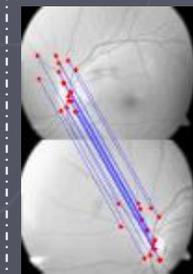
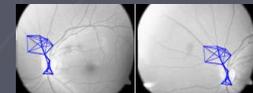
Entrada

Correspondencias
Iniciales



Algoritmo GTM

Grafo
Final



Correspondencias
Correctas

Salida

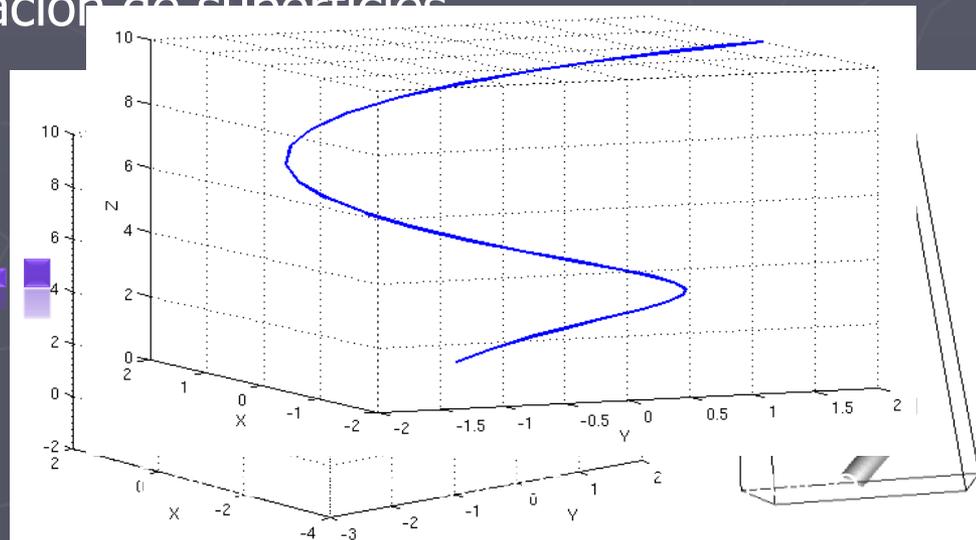
Volviendo a la geometría epipolar

CALCULAR MATRICES DE PROYECCIÓN

- > Calibración de la cámara.

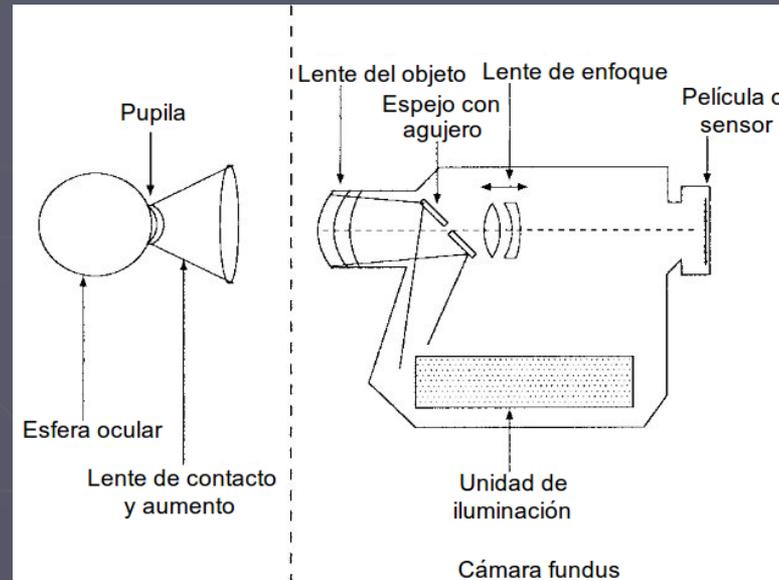
APROXIMAR ESTRUCTURAS Y SUPERFICIES EN 3D

1. Triangulación lineal.
2. Representación de superficies



Vértices de la malla y superficie renderizada

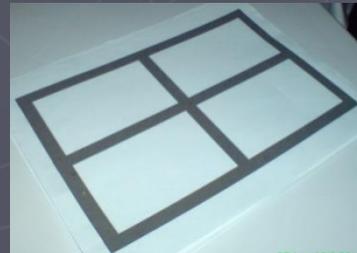
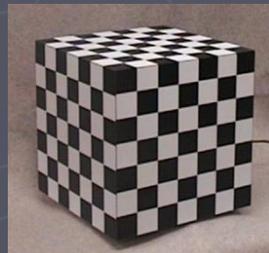
Modelado del sistema cámara-ojo



[Deguchi00b]

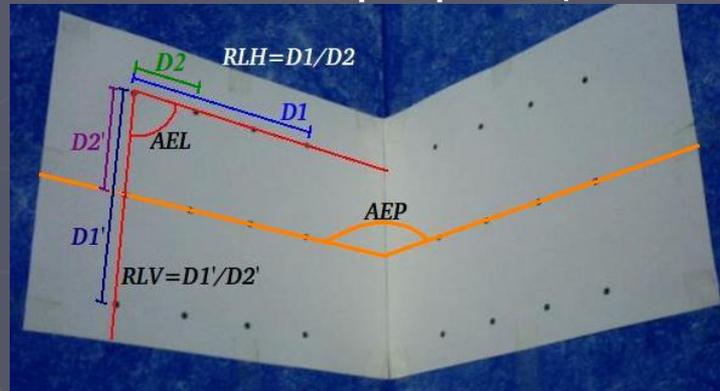
¿Podemos usar calibración clásica?

- Necesitamos imágenes de patrones de referencia.



Entonces, ¿por auto-calibración?

- Proponemos dos métodos:
 1. Ecuaciones de Kruppa.
 2. Auto-calibración a partir de la matriz esencial (Liu, et al, 2008).
- Para averiguar cuál es el más apropiado, reconstruimos:



Kruppa vs. Esencial

R+T, Ini. genéricos

Esencial Kruppa



P = 0.125 (Wilcoxon)

T, Ini. genéricos

Esencial Kruppa



P = 0.625 (Wilcoxon)

CAMBIANDO LA POSE CON
ROTACIONES Y TRASLACIONES

USAREMOS KRUPPA

Minimizando aberraciones

CONCIDERACIONES EN LA CAPTURA

1. El sujeto voluntario no presenta astigmatismo.
2. Ajustando enfoque hasta eliminar emborronamiento por miopía, hipermetropía o presbicia.
3. Reducción del área efectiva del lente mediante cierre de diafragma.
4. Aumento del tiempo de exposición para evitar el oscurecimiento de las imágenes.

Resultados

Escenas a reconstruir



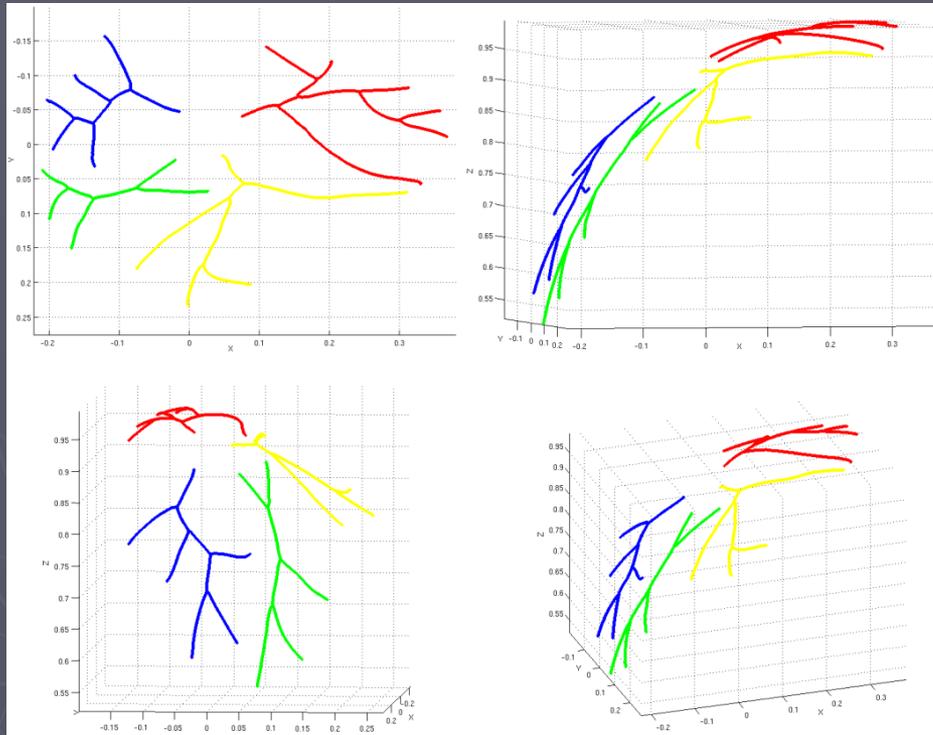
Maniquí



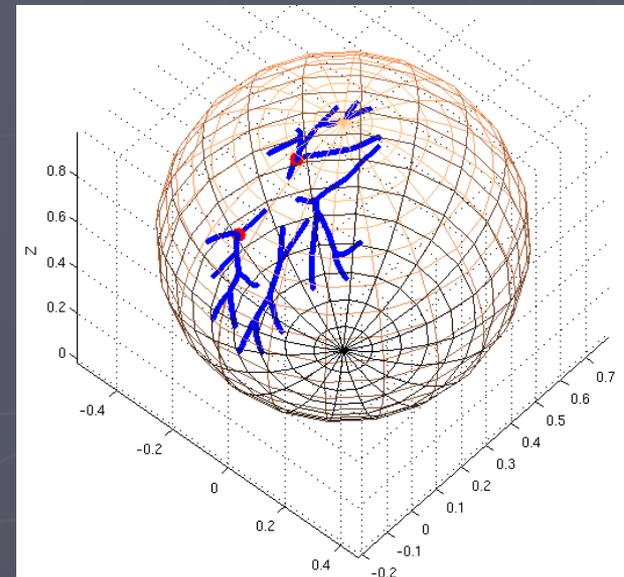
Retina real

Reconstrucción del maniquí

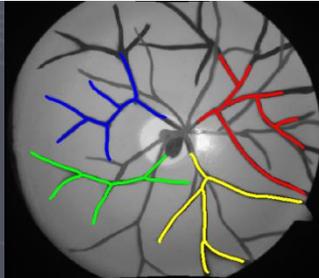
ESQUELETOS EN 3D



AJUSTE DE UNA ESFERA



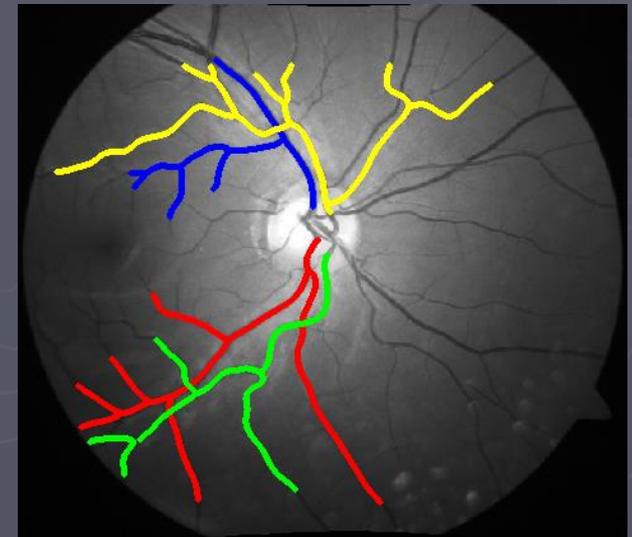
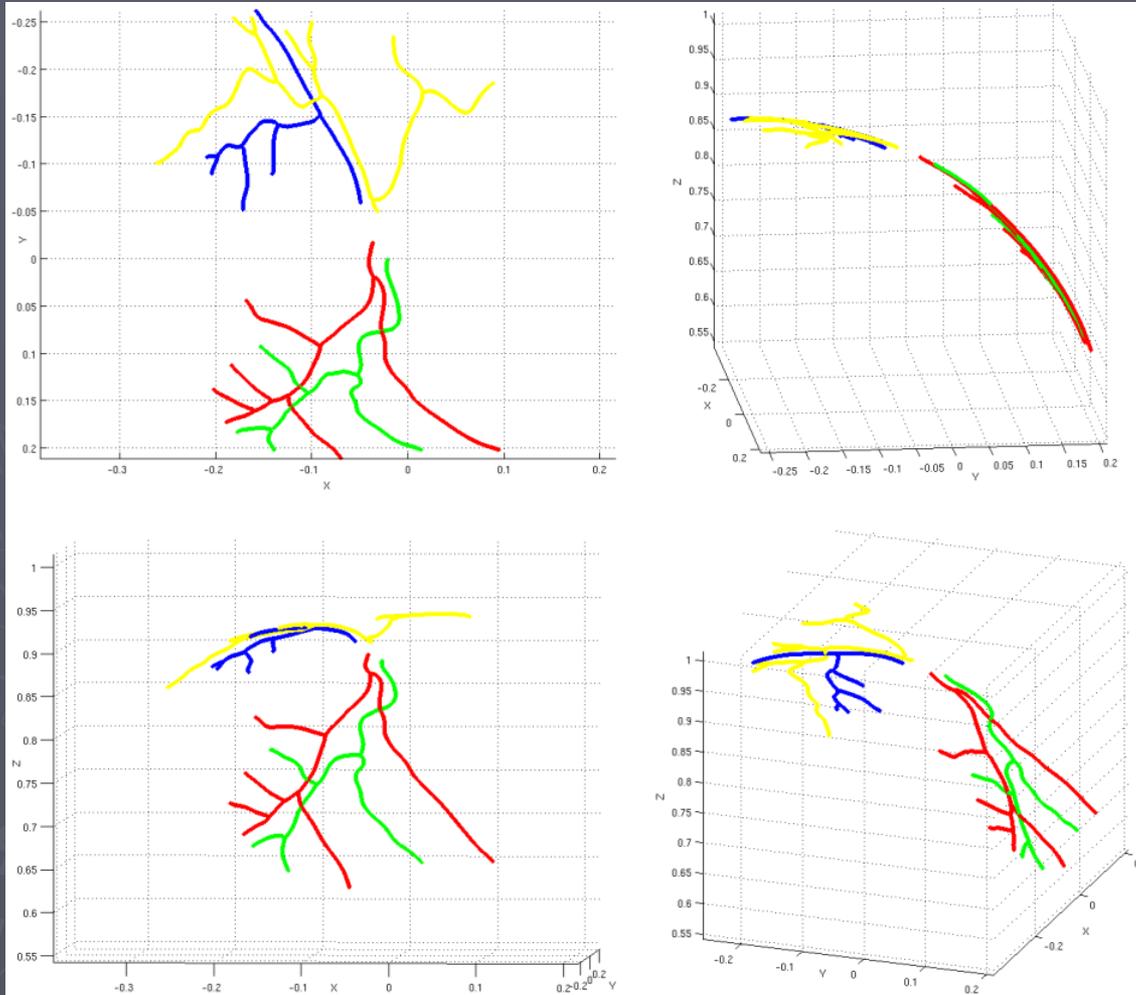
Esqueletos
segmentados



ERROR RELATIVO EN CURVATURA
3.79%

Reconstrucción de la retina

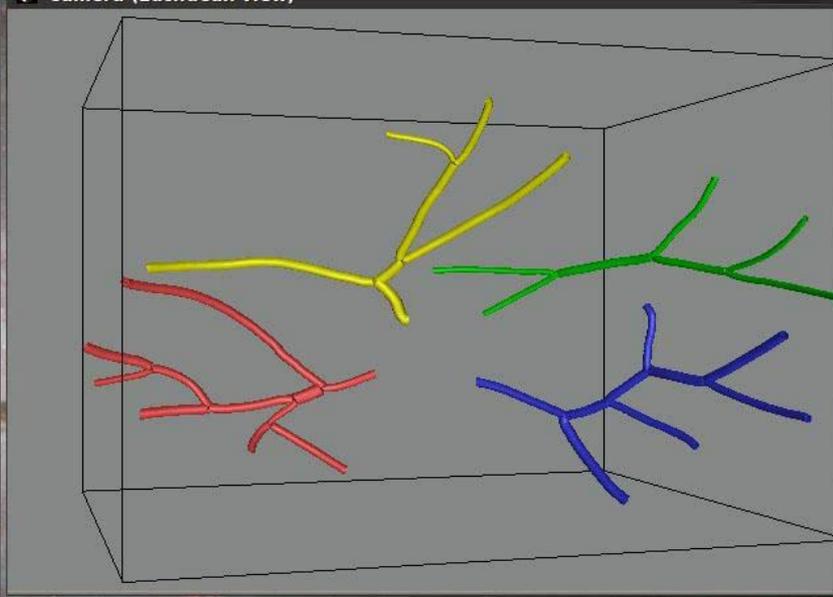
ESQUELETOS EN 3D



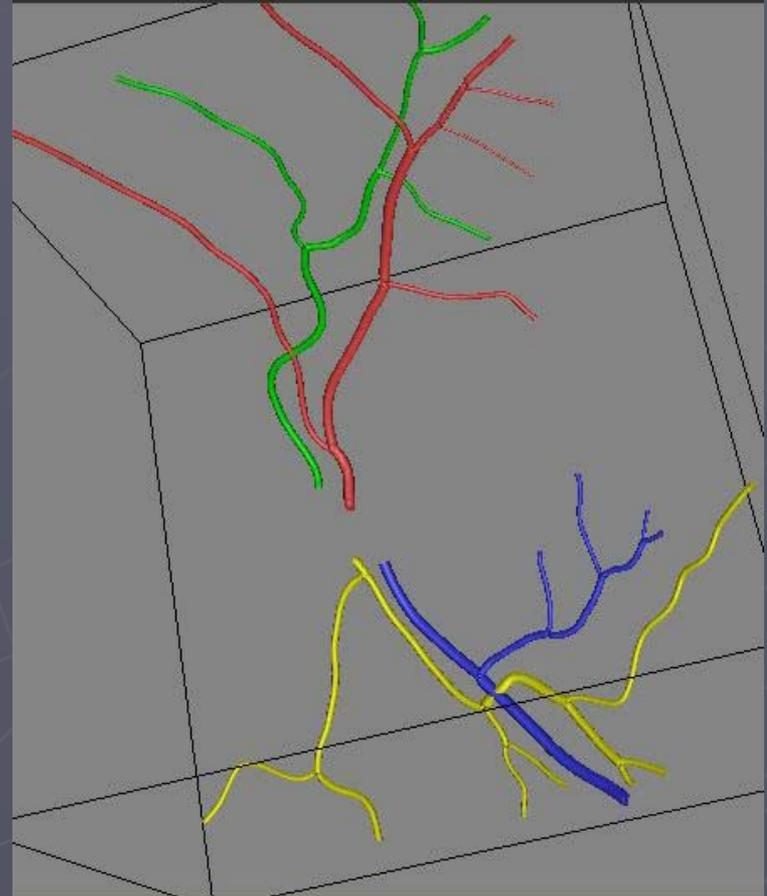
Esqueletos segmentados

Representación de superficies

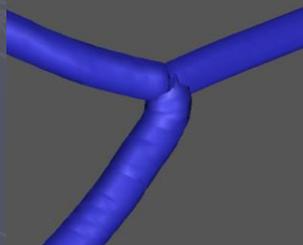
Maniquí



Retina



Bifurcaciones



Conclusiones

- ▶ Presentamos una primera aproximación al modelado de aberraciones y su minimización mediante consideraciones en la captura de la imágenes.
- ▶ Las ecuaciones de Kruppa presentan sus mejores resultados cuando la pose de la cámara cambia fuertemente de una vista a otra.
- ▶ No todos los pares de imágenes garantizan una correcta reconstrucción.
- ▶ Aunque no se presentó una validación exhaustiva de las reconstrucciones con el maniquí, esta escena fue importante para la depuración del sistema.

Trabajo futuro

- ▶ Construir modelo físico (Kit) de ojo para trabajar con diferentes ópticas de ojo y rejilla regular para evaluación.
- ▶ Identificar configuraciones críticas de cámara.
- ▶ Cuantificar las transformaciones necesarias para obtener el mejor desempeño de Kruppa.
- ▶ Emplear precisión sub-píxel en los puntos característicos.
- ▶ Trabajar otros modelos de calibración extrínseca con la ayuda de un kinect.
- ▶ Extender estas ideas a múltiples vistas (panorámica 3D)

**Gracias por su
atención**