

---

# CAPÍTULO IV: DETECCIÓN DE LA EXCAVACIÓN.

## 1.- MOTIVACIÓN.

La zona nombrada como excavación de la retina, normalmente es de color blanco amarillento. Su diámetro horizontal suele ser menor de la mitad del diámetro horizontal del disco. Al igual que ocurría con el disco óptico su caracterización parece sencilla, pero las diferentes posibilidades de tamaño y formas afectados por patologías como la diabetes y los vasos que atraviesan su superficie hace que la segmentación no sea tan trivial.

Conseguir analizar una imagen de fondo de ojo puede llegar a ser tedioso cuando la calidad no es del todo buena, repercutiendo esto en posibles fallos de diagnósticos.

Con este algoritmo intentaremos mejorar el sistema de segmentación y una vez conseguido, se verá la relación excavación/disco óptico (E/D), que se refiere al tamaño relativo de la excavación con respecto al diámetro del nervio óptico. Esta medida se toma preferentemente en su diámetro vertical.

Algunos datos a tener en cuenta son [15]:

- El tamaño de la excavación se expresa por porcentaje, no debe exceder más de 30% del total del tamaño del disco ni ha de llegar al borde temporal.
- La excavación en ambos ojos no debe diferir significativamente. La razón para observar la relación E/D es la investigación de glaucoma, que causa un aumento en la excavación de la papila, con atrofia secundaria.
- La excavación fisiológica puede aumentar su tamaño en grado variable, en condiciones patológicas (glaucoma) o desaparecer en cuadros de inflamación o estasis del nervio óptico (neuritis y edema); en estos casos de inflamación, la excavación fisiológica se rellena de tejido edematoso y el disco mismo puede volverse prominente. El nivel de la papila con respecto al plano retiniano cambiará de estar al mismo nivel en casos normales a volverse prominente, proyectándose hacia la cavidad vítrea algunos milímetros.

## 2.- ESTADO DEL ARTE.

Hasta ahora, hay poco escrito respecto a esta segmentación, al contrario de lo que ocurre con el disco óptico. Métodos de vanguardia abordan esta cuestión por procesamiento de la imagen con técnicas de nivel de gris o umbral [B10], [B12], [B16]. Algunos enfoques hacen uso de imágenes 3D del disco óptico realizando una estimación de la frontera de la excavación pero necesitando un elevado coste computacional. En cuanto a nuestro conocimiento, ningún algoritmo presta atención a la información de color presente en la retinografía.

La caracterización de la excavación supone un grave problema, la excavación tiene tonos más claros que el disco óptico y unas dimensiones del orden de 1/7 del tamaño en caso de no

existir anomalías, esto implica que es bastante reducido; es por ello que la red vascular que nace en el centro impide ver con claridad el contorno de éste como vemos en la figura 4.1.b.



**Figura 4.1: (a) Excavación visible. (b) Excavación oculta por los vasos sanguíneos.**

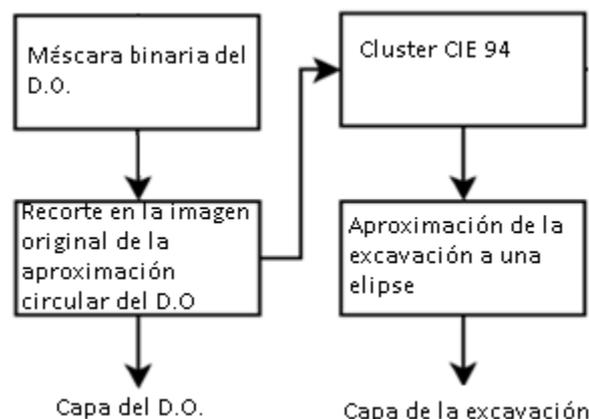
El algoritmo presentado parte del propuesto en [B10]. Como veremos más adelante, usando un sistema de detección basado en contornos activos, toma el disco óptico detectado como imagen de partida. Por este motivo, si conseguimos una segmentación más afinada en el capítulo anterior, tendremos más posibilidades de realizar una correcta segmentación del cup.

### 3.- ALGORITMO DE SEGMENTACIÓN DE LA EXCAVACIÓN.

Este algoritmo lo podemos resumir en las siguientes etapas:

- **I: Pasos previos:**
  - Máscara de la segmentación del Disco Óptico:
  - Eliminación de contornos falsos.
- **II: Construcción del contorno del excavación.**
  - Distancia de color CIE 94.
  - Dilatación y aproximación a una elipse.
  - Filtro Gaussiano.
  - Relación de aspecto Disco-Excavación.

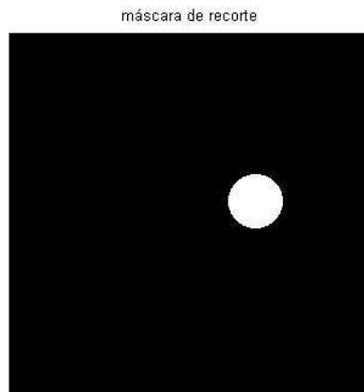
Veamos un esquema del proceso de segmentación:



**Figura 4.2: Esquema de la segmentación de la excavación.**

### 3.1.- FASE I: MÁSCARA DE LA APROXIMACIÓN CIRCULAR DEL DISCO ÓPTICO Y ELIMINACIÓN DE FALSOS CONTORNOS.

El primer paso que se realiza, es crear una máscara binaria con el radio y el centro de la aproximación circular del disco óptico obtenida en el Capítulo III, de este modo conseguimos ubicarlo perfectamente, figura 4.3.



**Figura 4.3: Máscara binaria del DO obtenido en la figura 3.18.a.**

Una vez calculada, se aplica a la imagen de partida como si de un filtro se tratara, eliminando cualquier falso contorno que exista fuera de la máscara. El resultado de esto nos daría el recorte de la figura 4.4.



**Figura 4.4: Recorte obtenido al aplicar la máscara binaria.**

### 3.2.- FASE II: CONSTRUCCIÓN DEL CONTORNO DE LA EXCAVACIÓN.

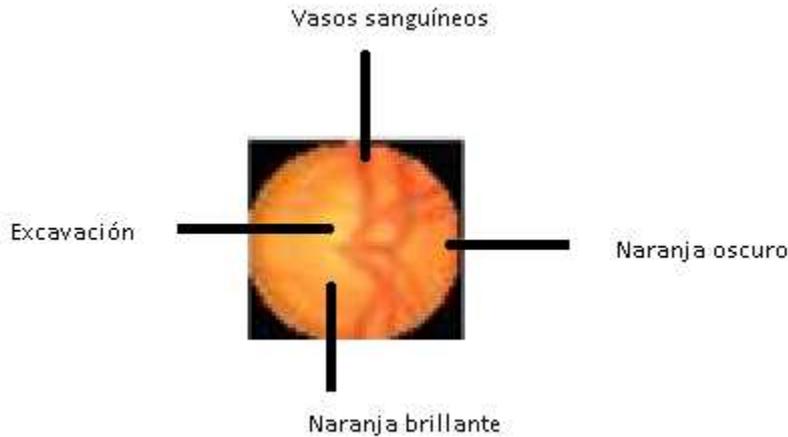
#### 3.2.1.- DISTANCIA DE COLOR CIE 94.

Una vez aislada el área del disco óptico, procedemos a la segmentación de la excavación dentro de ella. El enfoque propuesto aquí se basa en la distancia de color CIE 94, que añade un modelo más perceptual y realista que la Euclidiana.

En este proyecto [B10], se propone aprovechar a priori conocimientos sobre la distribución de color en el área del disco óptico:

- Los vasos sanguíneos tienen un color rojizo oscuro.
- Hay una pequeña porción de fondo en distintos tonos de naranja.
- La zona de excavación se caracteriza por su alto nivel de brillo que hace que parezca casi amarillo, como puede verse en la figura 4.5.

Por lo tanto, un método de segmentación basado en la información de color podría identificar el área de la excavación del resto de elementos mediante la búsqueda de los píxeles más brillantes del disco óptico. El algoritmo considera cada píxel en el disco como un punto en el espacio de color seleccionado, intentando agruparlos con precisión.



**Figura 4.5: Distribución de color de la excavación.**

Con el fin de realizar la segmentación de color, se requiere un espacio de color uniforme. Las distancias Euclidianas en espacios CIE  $L^*a^*b^*$  se creían que estaban correlacionadas con las diferencias de percepción de color, más tarde se demostró que esto no era como se esperaba. Para mejorar la uniformidad de las mediciones de diferencia de color CIE  $L^*a^*b^*$ , en 1995 se propuso una modificación empírica de la distancia Euclidiana. Esta medida de distancia es conocida como CIE 94. Más recientemente, el CIE ha establecido la ecuación de diferencia de color de CIEDE2000 que se extiende el concepto de CIE94 con mayor complejidad.

Se ha demostrado que la CIEDE2000 funciona mejor que todas las fórmulas de distancia color, a pesar de ello los resultados proporcionados por ambas distancias, CIE94 y CIEDE2000, son casi idénticos. Con el fin de evitar un aumento de la complejidad computacional, CIE94 es la métrica preferida. Como el área de la excavación es realmente distinguible del resto de los elementos del disco, con CIE94 se puede proporcionar los resultados relacionados con humanos necesarios con la menor cantidad de coste computacional.

Una vez seleccionados el espacio de color y la métrica de distancia, se debe seleccionar también el algoritmo de segmentación que sería capaz de particionar el espacio de datos. En este enfoque, debido a su simplicidad y eficacia se ha elegido un método basado en la conocida técnica "*K-means*".

Como resultado de este procedimiento de K-means, cada píxel en la zona del disco óptico es asignado a uno de los centroides de color. Para identificar el grupo de la excavación, el algoritmo compara el brillo medio de cada uno de los grupos, y se elige el grupo con el valor más alto, figura 4.6.e.

K, es elegido de forma automática, maximizando el índice Dunn.

El índice Dunn es una métrica para la evaluación de algoritmos de agrupamiento. El objetivo es identificar conjuntos de grupos compactos, pudiendo existir una posible variación entre los miembros del grupo, siendo esta menor que la distancia externa de los grupos. Para una asignación determinada de grupos, un mayor índice Dunn indica mejor agrupamiento.

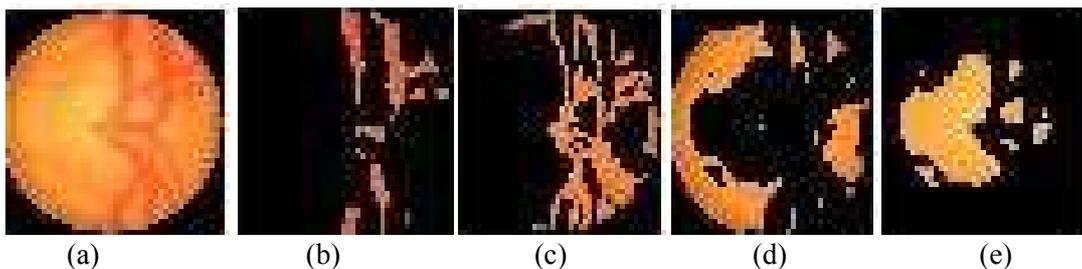
El índice de Dunn se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$D = \min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \min_{1 \leq j \leq n, i \neq j} \left\{ \frac{d(i,j)}{\max_{1 \leq K \leq n} d'(K)} \right\} \right\} \quad (4)$$

Donde:

- $d(i,j)$  representa la distancia entre los grupos  $i - j$ .
- $d'(k)$  mide la distancia intra-grupo del grupo  $K$ .

La distancia  $d(i,j)$  entre dos grupos puede ser cualquier tipo de medidas de distancia, tales como la distancia entre los centroides de los grupos. De manera similar, la distancia intra-grupo  $d'(k)$  se puede medir en una variedad de formas, tales como la distancia máxima entre cualquier par de elementos en el grupo  $K$ . Como criterio interno, se busca grupos con alta similitud intra-grupo y baja similitud entre grupos.



**Figura 4.6: (a) Disco óptico. (b) Píxeles etiquetados como los vasos sanguíneos. (c) Píxeles etiquetados como fondo del D.O. naranja oscuro. (d) Píxeles etiquetados como fondo del D.O. naranja brillante. (e) Excavación segmentada.**

### 3.2.2.- APROXIMACIÓN A UNA ELIPSE.

Una vez que hemos extraído el conjunto de píxeles clasificados como excavación, se obtiene una estimación del contorno como aproximación de una elipse de mínimos cuadrado.

El área encerrada por la elipse se considerará la superficie de la excavación, así el CDR podrá ser calculado fácilmente.



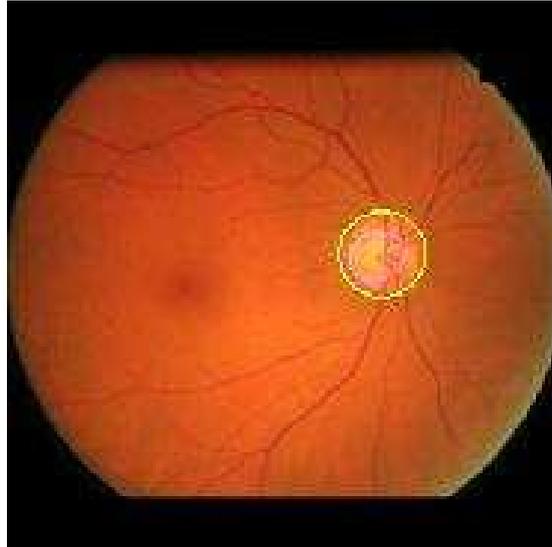
**Figura 4.7: Contorno aproximado de la excavación.**

### 3.2.3.- RELACIÓN DE ASPECTO DISCO-EXCAVACIÓN.

El CDR es la relación de aspecto usada para comparar los resultados extraídos de forma automática con los extraídos manualmente, además nos sirve para evaluar la calidad de los resultados y contrastarlos con otros proyectos.

$$CDR = \frac{A_{cup}}{A_{DO}} \quad (5)$$

Donde  $A_{DO}$  y  $A_{cup}$  representan el área de la excavación y del disco óptico obtenido en los apartados anteriores.



**FIGURA 4.8: RESULTADO FINAL DE LA SEGMENTACIÓN DEL DISCO ÓPTICO Y LA EXCAVACIÓN.**