

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 658 293**

51 Int. Cl.:

G06T 7/11 (2007.01)

G06T 7/149 (2007.01)

G06T 7/187 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.01.2015 E 15382008 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2017 EP 3048580**

54 Título: **Método de extracción del disco óptico de una imagen de retina**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.03.2018

73 Titular/es:

ULMA INNOVACIÓN, S.L. (50.0%)
Barrio Garagaltza, 51
20560 Oñati, Gipuzkoa, ES y
IDIAP JORDI GOL I GURINA (50.0%)

72 Inventor/es:

BERISTAIN IRAOLA, ANDONI;
BARANDIARAN MARTIRENA, ÍÑIGO y
TAMUREJO COLORADO, NOELIA

74 Agente/Representante:

IGARTUA IRIZAR, Ismael

ES 2 658 293 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de extracción del disco óptico de una imagen de retina

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se relaciona con un método de extracción del disco óptico de una imagen de retina.

10

ESTADO ANTERIOR DE LA TÉCNICA

La retina es una región anatómica donde se pueden obtener imágenes de los capilares directamente, lo que proporciona grandes oportunidades de estudio in vivo de la estructura de la circulación humana, así como la posibilidad de detectar anomalías microvasculares relacionadas con el desarrollo de enfermedades, por ejemplo enfermedades cardiovasculares.

15

El disco óptico es el lugar donde se concentran las fibras nerviosas formando el nervio óptico, siendo el punto de partida de dicho nervio óptico hacia el cerebro. El disco óptico representa también el punto de entrada y salida del árbol vascular que irriga a las células retinianas. La localización y segmentación del disco óptico es una parte importante dentro de las características anatómicas presentes en una imagen de fondo de ojo.

20

Se conocen varios métodos de detección y segmentación del disco óptico. Por ejemplo, el documento WO2011022783A1 divulga un método para detectar el disco óptico en una imagen de retina. Este método define en primer lugar un histograma para determinar los niveles de intensidad de los píxeles de la imagen y establece un umbral de intensidad que puede corresponder a la región del disco óptico. A continuación calcula el número de píxeles para cada región potencial que puede contener el disco óptico y determina el centro de cada región mediante la transformada de Hough. En función del número de píxeles y el centro de las regiones elige la región del disco óptico y aplica un algoritmo de crecimiento de regiones para segmentar el disco óptico.

25

30

El documento *"Automatic Cup-to-Disc Ratio Estimation Using Active Contours and Color Clustering in Fundus Images for Glaucoma Diagnosis"*, *LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE, 1 de enero de 2012*, divulga una técnica automática para la segmentación del disco óptico y la copa óptica. Para segmentar el disco óptico, se utiliza información del canal verde, y se localiza el centro del disco óptico considerando que la variación de intensidad debe ser la más alta en la imagen. Una vez localizado el centro se aplica un proceso activo de contornos basado en regiones para buscar una primera aproximación del disco óptico y finalmente se utilizan técnicas morfológicas para obtener el disco óptico final. Una vez aislado el disco óptico se utiliza un método de segmentación basado en la información del color para identificar el área de la copa del resto de los elementos buscando los píxeles amarillos más brillantes en el disco óptico. Se utiliza el espacio de color CIE porque las medidas de distancias son correlacionadas con las diferencias de color percibidas.

35

40

El documento *"Automated Localisation of Optic Disc and Macula from Fundus Images"*, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 1 de abril de 2012*, divulga un método para la extracción del disco óptico de una imagen de retina, que comprende una etapa de localización del disco óptico y una etapa de detección del contorno del disco óptico.

45

La etapa de localización del disco óptico comprende las siguientes sub-etapas:

50

- una sub-etapa de selección de un Umbral Inicial en donde se utiliza un método basado en la aproximación del histograma de la imagen de retina utilizando una suma ponderada de dos o más densidades de probabilidad con distribución normal para la determinación del umbral inicial de la imagen de retina. La información de histograma derivada de la fuente de imagen se utiliza para particionar las regiones más brillantes del fondo. Sólo se emplea la información del canal verde para calcular el umbral óptimo. Esta sub-etapa da lugar a varios componentes conectados,

55

- una sub-etapa de estimación del centro del disco óptico, en donde se asume que el componente que tiene el máximo número de píxeles tiene la parte de la copa óptica, y los componentes cercanos a dicho componente se fusionan con él hasta que la región es igual o superior a 1.8 mm. Se dibuja una elipse para indicar la localización del disco óptico con su centro aproximado.

60

EXPOSICIÓN DE LA INVENCION

El objeto de la invención es el de proporcionar un método de extracción del disco óptico de una imagen de retina, tal y como se describe en las reivindicaciones.

65

5 El método de extracción del disco óptico de la invención comprende una etapa de localización aproximada del disco óptico en la que se define un área que comprende al menos parte del disco óptico, y una etapa de segmentación del disco óptico en la que partiendo del área definida en la etapa de localización aproximada se obtiene el contorno de la región que engloba el disco óptico, en donde dicha área candidata se adapta o aproxima a la morfología del disco óptico.

10 La etapa de localización aproximada del disco óptico comprende una pluralidad de subetapas que se detallan a continuación.

10 Así, comprende una subetapa de generación de una imagen en el espacio de color CIE en la que la imagen de retina en RGB se convierte al espacio de color CIE, preferentemente al espacio de color CIE 1976 $L^*a^*b^*$. El espacio de color RGB no proporciona una métrica de diferencia entre colores que corresponde con la percepción del ojo humano. El espacio de color CIE permite que colores percibidos como similares por el ojo humano tengan una distancia euclídea menor que colores percibidos como diferentes. Es decir, la distancia euclídea entre dos colores en el espacio CIE es una métrica de diferencia entre colores que se corresponde con la percepción de ojo humano. Además, al contrario de otros espacios de color, como el uso de las componentes angulares en coordenadas esféricas o el uso del subespacio HS dentro del HSV, la diferencia entre colores considera también la luminosidad del mismo, un criterio visual importante para distinguir el disco óptico del resto de estructuras en una imagen de retinografía.

20 En otra subetapa se realiza la clasificación de los píxeles de la imagen en el espacio de color CIE en n categorías dependiendo de la similitud de color de dichos píxeles. De esta manera, píxeles de colores similares pertenecen a la misma categoría, sin tener en cuenta la posición espacial de dichos píxeles. Es decir, si dos píxeles presentan el mismo tono, como por ejemplo un píxel del disco óptico y un píxel de un exudado, pertenecen a la misma categoría aunque espacialmente se dispongan muy separados dentro de la imagen de retina.

30 Una vez generadas las n categorías, se selecciona al menos una de las categorías de píxeles que se considera que comprende al menos parte de los píxeles del disco óptico. La selección de la categoría candidata se realiza de la siguiente manera. El algoritmo K-Means proporciona para cada una de las categorías su color representativo. Se realiza una conversión de cada color representativo al espacio de color RGB. Una vez realizada esta conversión, se selecciona el color candidato cuyo valor en el canal verde del espacio de color RGB es máximo.

35 En otra subetapa se genera una imagen binaria conjunta para todas las categorías de píxeles seleccionadas o una diferente para cada una de las categorías de píxeles seleccionadas, en la que los píxeles de dicha al menos una categoría seleccionada son de un color, preferentemente blanco, y el resto de los píxeles es de otro color, preferentemente negro. Partiendo de la o las imágenes binarias anteriormente descritas, se realiza la subetapa de extracción de las componentes conectadas, en la cual se agrupan los píxeles de la o las categorías seleccionadas conectados entre sí.

40 En otra subetapa se selecciona la componente conectada candidata teniendo en cuenta diferentes parámetros como por ejemplo forma, tamaño y posición. Una vez seleccionada la componente conectada candidata, se obtiene el centro y el área de dicha componente.

45 En otra subetapa se define el área candidata con centro en el centro de la componente conectada candidata y un radio proporcional al radio de la componente conectada candidata.

El método de extracción del disco óptico de la invención ofrece un método alternativo de extracción del disco óptico fiable y preciso.

50 Estas y otras ventajas y características de la invención se harán evidentes a la vista de las figuras y de la descripción detallada de la invención.

55 DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 muestra un diagrama de flujo del método de extracción del disco óptico según una realización de la invención.

60 La figura 2 muestra una imagen de retina de partida a modo de ejemplo.

La figura 3 muestra una imagen en la que se muestran las componentes conectadas correspondientes a la imagen de la figura 2.

La figura 4 muestra la imagen de probabilidad correspondiente a la imagen de la figura 2.

La figura 5 muestra una imagen del área candidata sobre la figura 4.

La figura 6 muestra el disco óptico extraído partiendo de la figura 5.

5

EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

10 El método de extracción del disco óptico de la invención comprende una etapa de localización aproximada del disco óptico en la que se define un área que comprende al menos parte del disco óptico, y una etapa de segmentación del disco óptico, en la que partiendo del área definida en la etapa de localización aproximada, se obtiene el contorno de la región que engloba el disco óptico.

15 En esta realización la imagen de retina a analizar es una imagen capturada en color y en el espacio de color RGB, preferentemente con una resolución mayor que 320 x 240 píxeles. La captura se realiza de tal manera que el disco óptico se encuentra centrado en la imagen o localizado en el extremo izquierdo o derecho de la imagen. Además, el campo de visión y el protocolo de captura hacen que la imagen resultante muestre el disco óptico por completo, así como los vasos principales y sus ramificaciones a lo largo del nervio óptico. Las imágenes incluyen un borde de color negro, es decir, RGB = (0,0,0), que limita la región de captura del retinógrafo, ya que la región a capturar tiende a ser circular, pero las imágenes digitales generadas son rectangulares. En otras realizaciones la imagen a analizar puede tener otras características.

20

La etapa de localización aproximada del disco óptico comprende una pluralidad de subetapas. A continuación se describe la secuencia de subetapas según esta primera realización.

25

La secuencia de las subetapas no es limitativa, pudiendo incluir en otras realizaciones otras subetapas adicionales intercaladas o pudiendo realizarse alguna de las subetapas definidas en un orden distinto.

30 Opcionalmente, con el objetivo de facilitar la aplicación de las subetapas posteriores, la etapa de localización aproximada puede comprender una primera subetapa de acondicionamiento de la imagen de retina. En primer lugar, se realiza un sub-muestreo de la imagen de retina con el objetivo por un lado de reducir la resolución de la imagen para que el tratamiento de la misma sea más rápido y por otro lado suavizar la imagen para reducir pequeñas variaciones locales en tono e intensidad de píxel, y así eliminar o al menos mitigar el ruido debido al proceso de captura. En esta realización el método utilizado se denomina "Gaussian Pyramids", es decir, pirámides gaussianas, que combina el escalado de la imagen a la mitad en cada dimensión e iteración, con el suavizado gaussiano, pudiendo utilizarse en otras realizaciones otros métodos de suavizado y/o escalado conocidos por el experto en la materia.

35

40 El escalado, junto con el suavizado de la imagen, permite eliminar parte del ruido en la imagen y reduce y acota el coste computacional máximo. El uso de la imagen en color con una reducción del número de colores en la imagen empleando el algoritmo de agrupamiento mejora la detección sobre imágenes oscuras y donde la temperatura de color es variable, en comparación con técnicas basadas en el uso del canal verde directamente.

40

45 Además, y aunque no forma intrínsecamente parte de este algoritmo, tras la subetapa de acondicionamiento se realiza una detección automática de qué píxeles pertenecen a la retina y cuáles pertenecen al fondo. Esta identificación permite establecer una máscara que se aplica a la imagen de retina, obteniendo una imagen en la que los píxeles de fondo se definen como píxeles negros. De este modo, en las subetapas posteriores solo se analizarán los píxeles de retina, de modo que se pueden acelerar dichas subetapas ya que el número de píxeles a tratar es menor y se pueden evitar errores, por ejemplo causados por caracteres que pudiera haber en el fondo de la imagen. Esta máscara puede obtenerse también de forma manual.

45

50 La subetapa de acondicionamiento proporciona una imagen de retina simplificada más fácil de tratar. Como se ha mencionado anteriormente la subetapa de acondicionamiento es opcional, por lo que en otras realizaciones se podrían realizar las subetapas definidas a continuación directamente sobre la imagen de retina sin acondicionarla.

55

En esta realización, en la siguiente subetapa se genera una imagen de retina en el espacio de color CIE partiendo de la imagen de retina simplificada, que es una imagen en RGB, tal y como se muestra en la figura 1.

60 Para ello, se aplica un algoritmo en el que la imagen de retina simplificada en RGB se convierte al espacio de color CIE, en esta realización en concreto se convierte al espacio de color CIE 1976 L*a*b*. En otras realizaciones la imagen se puede convertir a otros espacios de color, por ejemplo CIE XYZ o Hunter Lab.

60

65 El algoritmo de conversión de una imagen de RGB a CIE 1976 L*a*b* es de sobra conocido para el experto en la materia. Se realiza esta conversión ya que en las próximas subetapas se deben calcular distancias y medias de colores de píxeles, y en el espacio de color RGB éstas no tienen correspondencia directa con la percepción

65

5 cromática del ojo humano. Con la conversión al espacio de color CIE 1976 $L^*a^*b^*$ la distancia euclídea tiene una mayor correspondencia con la diferencia de color percibida por el ojo humano que en el espacio RGB, de manera que dos colores en CIE 1976 $L^*a^*b^*$ cuya distancia euclídea es grande serán muy diferentes y dos colores con una distancia euclídea pequeña serán muy parecidos. También se conoce una métrica alternativa a la distancia euclídea para medir la diferencia cromática en CIE, denominada CIE94. Esta métrica se basa en la distancia euclídea y proporciona una medida de diferencia más consistente y precisa aunque incrementa notablemente la complejidad y coste computacional del algoritmo.

10 A continuación, se clasifican los píxeles de la imagen CIE 1976 $L^*a^*b^*$ en n categorías dependiendo de la similitud de color de dichos píxeles. De esta manera, píxeles de colores similares pertenecen a la misma categoría, sin tener en cuenta la posición espacial de dichos píxeles. Es decir, si dos píxeles presentan el mismo tono, como por ejemplo un píxel del disco óptico y un píxel de un exudado, pertenecen a la misma categoría aunque espacialmente dispongan muy separados dentro de la imagen de retina.

15 En esta realización la clasificación automática de los píxeles de la imagen CIE 1976 $L^*a^*b^*$ en n categorías se basa en un criterio de similitud cromática de dichos píxeles empleando el algoritmo de agrupamiento automático, es decir, "clustering". Entre los diferentes algoritmos existentes, se ha empleado K-Means, combinado con un método de inicialización automática de centroides del estado de la técnica, por ejemplo el algoritmo definido en "*k-means++: the advantages of careful seeding*, Arthur & S. Vassilvitskii, *Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms, 2007*", por su buena relación entre complejidad computacional y calidad/estabilidad de los resultados. Empleando este algoritmo, píxeles de colores similares, es decir, píxeles que tienen una distancia euclídea entre sí pequeña, pertenecen a la misma categoría, sin tener en cuenta la posición espacial de dichos píxeles. Es decir, si dos píxeles presentan tonos similares, como por ejemplo un píxel del disco óptico y un píxel de un exudado, pertenecen a la misma categoría aunque espacialmente se dispongan muy separados dentro de la imagen de retina. En otras realizaciones se pueden utilizar otros algoritmos tales como K-Medoids, K-Medians, Fuzzy K-Means, etc.

25 En esta realización en particular, los píxeles se clasifican en 12 categorías. Se ha comprobado que la clasificación de los píxeles en 12 categorías ofrece un buen equilibrio entre la calidad de detección y la cantidad de cómputo. En otras realizaciones se pueden utilizar técnicas conocidas para la estimación automática de este valor aplicables a K-Means, por ejemplo X-Means

30 Una vez clasificados los píxeles en n categorías, se selecciona la categoría de píxeles que se considera que comprende al menos parte de los píxeles del disco óptico, denominada categoría candidata.

35 En esta primera realización, la selección de la categoría candidata se realiza de la siguiente manera. Una vez generadas los n categorías, el algoritmo K-Means proporciona para cada una de las categorías su color representativo. Se realiza una conversión de cada color representativo al espacio de color RGB. Una vez realizada esta conversión, se selecciona el color candidato cuyo valor en el canal verde del espacio de color RGB es máximo. Es conocido que el disco óptico suele presentar los valores más luminosos dentro de una retinografía, junto con alguna patología del tipo exudado en caso de que existieran y que estas son más visibles en el canal verde del espacio de color RGB.

40 A continuación, se genera una imagen binaria en la que los píxeles de la categoría seleccionada son de un color y el resto de los píxeles es de otro color. En esta primera realización los píxeles de la categoría seleccionada son blancos y el resto de los píxeles son negros.

45 Partiendo de la imagen binaria, se realiza la detección de componentes conectadas en la cual se agrupan los píxeles de la imagen binaria del color de la categoría candidata próximos entre sí. En esta realización, para agrupar los píxeles se utiliza un criterio de conectividad espacial, es decir, si un píxel blanco se dispone contiguo a otro píxel blanco se considera que son del mismo componente. El resultado de este procedimiento está constituido por una pluralidad de componentes conectadas, es decir, la secuencia de píxeles que forman el contorno de cada componente, siendo una de las componentes conectadas representante del disco óptico. La figura 3 muestra una imagen en la que se observan las componentes conectadas correspondientes a la imagen de retina de la figura 2.

50 En otras posibles realizaciones, se puede seleccionar más de una categoría candidata. A partir de las categorías candidatas se puede realizar una imagen binaria conjunta o una imagen binaria individual para cada categoría seleccionada. A continuación se extraen las componentes conectadas de dicha imagen conjunta o dichas imágenes individuales. El proceso posterior es análogo al de la realización descrita.

55 Para la selección de la componente conectada candidata se tienen en cuenta diferentes parámetros como por ejemplo la forma, el área y la posición de las componentes conectadas.

Una vez seleccionada la componente conectada candidata, se obtiene su área y centro de masa. Además, se define el radio aproximado en base al área de la componente conectada candidata, considerando que tiende a ser de forma circular.

5 Por último se define el área candidata, con centro en el centro de la componente conectada candidata y un radio proporcional al radio de la componente conectada candidata, tal y como se muestra en la figura 5. El radio del área candidata equivale preferentemente a dos veces el radio de la componente conectada candidata.

10 En esta realización el área candidata se define sobre una imagen de probabilidad. La imagen de probabilidad es una imagen en escala de grises generada a partir de la imagen de retina en el espacio de color CIE 1976. El valor de gris asignado a cada píxel es la diferencia, es decir, la distancia euclídea entre dicho píxel y el color representativo de la categoría candidata. En imágenes de bajo contraste en las que a su vez la imagen de probabilidad tendrá un bajo contraste se puede realizar un aumento del mismo empleando técnicas convencionales de procesamiento de imagen, que mejorarán los resultados de la siguiente etapa de segmentación del disco óptico.

15 Una vez definida el área candidata en la imagen en escala de grises, se realiza la etapa de segmentación del disco óptico. Para ello, en esta primera realización se utiliza un algoritmo de modelos deformables. En concreto, el algoritmo de modelos deformables utilizado se conoce como ACWE ("Active Contour Without Edges"), aunque podría emplearse uno diferente. En esta etapa, el área candidata se adapta o aproxima a la morfología del disco óptico. Para ello requiere de una región inicial, obtenida a partir del centro y radio aproximado de la etapa de segmentación aproximada, y una función de energía, que controla la extensión y/o compresión de la región inicial en cada iteración del algoritmo. En este caso, la función de energía viene dada por la imagen de probabilidad. El algoritmo converge cuando se alcanza una situación estable de energía. La figura 6 muestra una imagen en la que se observa el contorno del disco óptico.

20 En otra realización, la etapa de localización aproximada del disco óptico comprende una subetapa adicional en la que se extrae el árbol vascular de la imagen de retina.

25 Como se ha mencionado anteriormente, el análisis de imágenes de retina se utiliza en la detección de una pluralidad de enfermedades. En la mayoría de estos análisis de imagen de retina es necesaria la extracción del disco óptico ya que es una característica importante de las imágenes de retina.

30 Un parámetro relevante que se puede calcular al analizar una imagen de retina es el ratio arteriovenoso, que por ejemplo podría permitir determinar el riesgo de sufrir, o haber sufrido, un infarto cerebral silente.

35 Una realización de un método para calcular dicho ratio arteriovenoso en una imagen de retina comprende una etapa en la que se extrae el disco óptico según el método de la invención. En otra etapa se extrae y segmenta el árbol vascular y se identifican los vasos en venas y arterias. Por último se calcula el ratio arteriovenoso AVR. Preferentemente el ratio AVR se calcula con valores obtenidos dentro de un anillo equivalente a $2R-3R$, siendo R el radio del disco óptico. En otras realizaciones el área de cálculo puede ser diferente. Además, la etapa de extracción del disco óptico y la etapa de extracción del árbol vascular puede realizarse en un orden distinto. Otros aspectos de la invención se refieren a un programa de ordenador que comprende el código fuente para realizar el método descrito anteriormente, una aplicación web que comprende el código fuente para realizar el método descrito anteriormente, el uso del método de cálculo del ratio arteriovenoso para el diagnóstico, prevención y/o seguimiento de distintas enfermedades, preferentemente enfermedades cerebro-vasculares, la isquemia cerebral silente, alzhéimer, demencia, esclerosis múltiple o hipertensión arterial y el uso del método de extracción del disco para el diagnóstico, prevención y/o seguimiento de distintas enfermedades oculares relacionadas con la pérdida de visión y ceguera, preferentemente retinopatía diabética, retinopatía hipertensiva, glaucoma o degeneración macular asociada a la edad.

50

REIVINDICACIONES

1. Método de extracción del disco óptico de una imagen de retina, que comprende al menos las siguientes etapas:
 - 5 - una etapa de localización aproximada del disco óptico en la que se define un área que comprende al menos parte del disco óptico, y
 - una etapa de segmentación del disco óptico en la que partiendo del área definida en la etapa de localización aproximada se obtiene el contorno de la región que engloba el disco óptico, en donde dicha área candidata se adapta o aproxima a la morfología del disco óptico,
 - 10 en donde
 - la etapa de localización aproximada del disco óptico comprende al menos las siguientes subetapas:
 - generación de una imagen en espacio de color CIE en la que la imagen de retina en RGB se convierte al espacio de color CIE;
 - clasificación de los píxeles de la imagen CIE en n categorías dependiendo de la similitud de color de dichos píxeles;
 - 15 ▪ selección de al menos una de las categorías de píxeles que se considera que comprende al menos parte de los píxeles del disco óptico basada en
 - el cálculo del color representativo de cada categoría;
 - la conversión de dichos colores representativos al espacio RGB; y
 - 20 - la selección de al menos la categoría cuyo color representativo tenga el valor máximo del canal verde;
 - generación de una imagen binaria conjunta o una diferente para cada una de las categorías de píxeles seleccionadas en la que los píxeles de la categoría seleccionada son de un color, preferentemente blancos y el resto de los píxeles es de otro color, preferentemente negro;
 - 25 ▪ extracción de componentes conectadas partiendo de la o las imágenes binarias en las cuales se agrupan los píxeles de la categoría seleccionada conectados entre sí;
 - selección de la componente conectada candidata teniendo en cuenta diferentes parámetros como por ejemplo forma, tamaño y posición;
 - obtención del centro y el radio de la componente conectada candidata; y
 - 30 ▪ definición del área candidata a disco óptico con centro en el centro de la componente conectada candidata y un radio proporcional al radio de la componente conectada candidata.
2. Método según la reivindicación anterior, en donde el espacio de color CIE se corresponde con el espacio de color CIE 1976.
- 35 3. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la clasificación de los píxeles de la imagen CIE en n categorías se realiza utilizando el algoritmo K-Means empleando la distancia euclídea en este espacio de color.
- 40 4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde n es 12.
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa de segmentación del disco óptico comprende una subetapa en la que se genera una imagen en escala de grises partiendo de la imagen CIE.
- 45 6. Método según la reivindicación 5, en donde el valor de gris asignado a cada píxel es proporcional a la diferencia respecto al color representativo de dicha al menos una categoría candidata.
7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa de segmentación del disco óptico utiliza modelos deformables.
- 50 8. Método según la reivindicación anterior, en donde el modelo deformable utilizado es ACWE ("Active Contour Without Edges").
- 55 9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa de localización aproximada del disco óptico comprende una subetapa en la que se extrae el árbol vascular de la imagen de retina.
- 60 10. Método de cálculo del ratio arteriovenoso AVR en una imagen de retina que comprende al menos las siguientes etapas:
 - una etapa de extracción del disco óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
 - una etapa de extracción y segmentación del árbol vascular,
 - una etapa de identificación de los vasos en venas y arterias, y
 - una etapa del cálculo del ratio arteriovenoso AVR.
- 65

11. Programa de ordenador que comprende el código fuente para realizar el método descrito en cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 5 12. Aplicación web que comprende el código fuente para realizar el método descrito en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
- 10 13. Uso del método de cálculo del ratio arteriovenoso según la reivindicación 10, para el diagnóstico, prevención y/o seguimiento de distintas enfermedades, preferentemente enfermedades cerebro-vasculares, la isquemia cerebral silente, alzhéimer, demencia, esclerosis múltiple o hipertensión arterial.
- 15 14. Uso del método de extracción del disco óptico según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, para el diagnóstico, prevención y/o seguimiento de enfermedades oculares relacionadas con la pérdida de visión y ceguera, preferentemente retinopatía diabética, retinopatía hipertensiva, glaucoma o degeneración macular asociada a la edad.

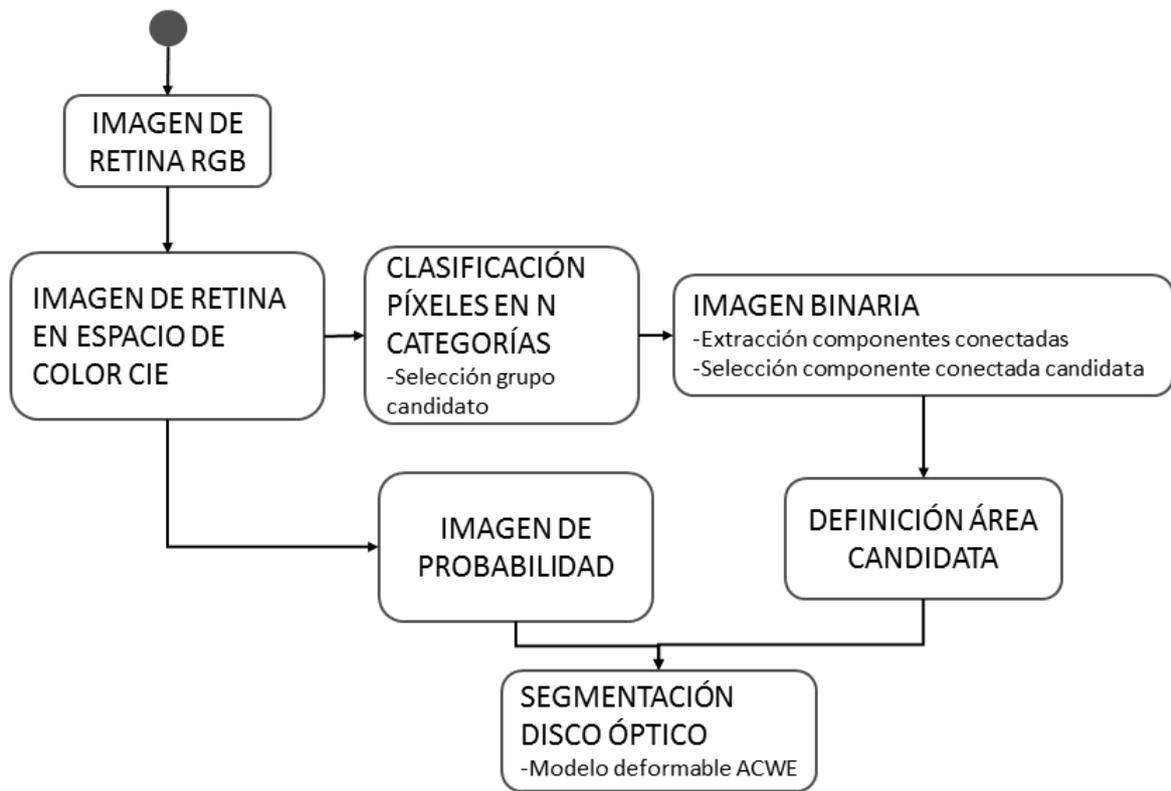


FIG. 1

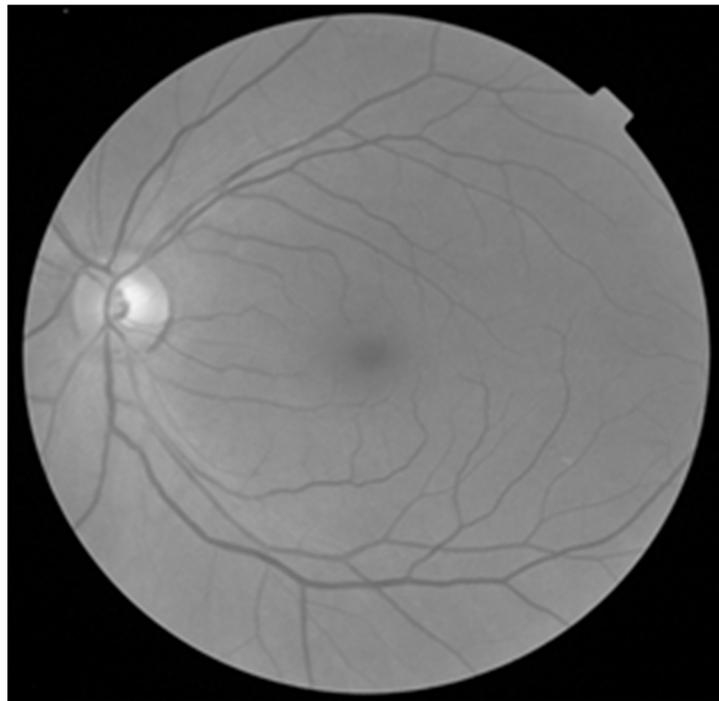


FIG. 2

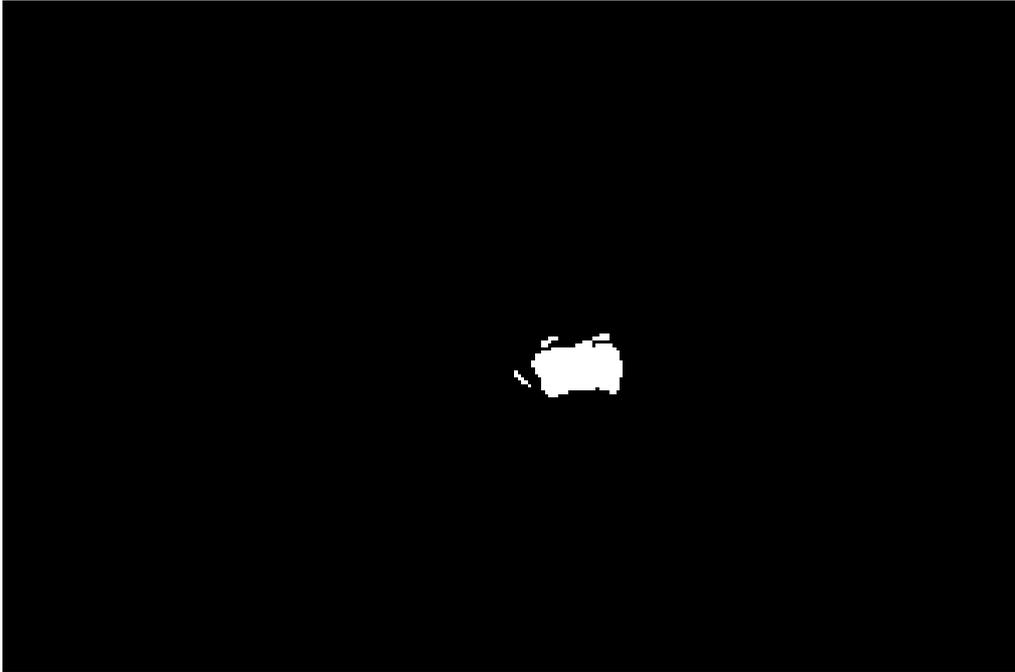


FIG. 3



FIG. 4



FIG. 5



FIG. 6