

5 **MÉTODO IMPLEMENTADO POR APRENDIZAJE DE MÁQUINA PARA LA DETECCIÓN DE VASOS SANGUÍNEOS A TRAVÉS DE CLUSTERING DE PÍXELES**

Campo de la invención

10 La presente invención pertenece al campo de la salud, particularmente el de la óptica en lo relacionado con la medición y detección de vasos sanguíneos oculares. El proceso específico que se propone está implementado a través de métodos automatizados por aprendizaje de máquina. Más específicamente, la invención se enmarca en el subcampo de los sistemas de procesamiento digital de imágenes biomédicas asistidos por aprendizaje

15 de máquina, aplicados al análisis automatizado de imágenes oftálmicas para la identificación de estructuras vasculares retinianas, con especial énfasis en poblaciones neonatales.

20 **Estado de la técnica**

Se encontró la patente CN111144413 “Método de posicionamiento del iris y sistema par su almacenamiento legible por computador”. La invención divulga un método de posicionamiento del iris y un medio de almacenamiento legible por computadora y el método comprende los pasos: obtención de una imagen infrarroja que comprende un rostro humano

25 u ojos humanos; detección del ojo humano en la imagen infrarroja para obtener un área de detección del ojo humano; realizar un agrupamiento de píxeles en el área de detección del ojo humano de acuerdo con un número de agrupamiento preestablecido para obtener un gráfico de agrupamiento; realizar una transformada de Hough en el gráfico de agrupamiento de acuerdo con un primer rango de radio preestablecido y un segundo rango de radio

30 preestablecido para obtener un primer círculo y un segundo círculo; determinando un área anular según el primer círculo y el segundo círculo; combinando las áreas de agrupación con los primeros N puntos de píxeles en el área anular para obtener un área combinada de agrupamiento, y N es un número preestablecido; y obtener un área de iris de acuerdo con el área de detección del ojo humano y el área de fusión de agrupamiento. Según la

5 invención, sobre la base de garantizar la precisión de la transformada de Hough, la eficiencia de la transformada de Hough es mejorada, y se mejora la robustez de un algoritmo de posicionamiento del iris.

También se identificó la patente US2021259546 “Sistema portátil para identificar casos potenciales de edema macular diabético usando procesamiento de imágenes e inteligencia artificial”. La invención describe un sistema portátil para la detección de edema macular diabético mediante la captura de una imagen de fondo de ojo utilizando un oftalmoscopio portátil; dicha imagen es enviada por medios alámbricos o inalámbricos a un sistema embebido que cuenta con un algoritmo basado en inteligencia artificial, el cual extrae información de la imagen y la procesa para identificar la presencia de la condición en estudio.

Finalmente se encontró la patente CN105118049 “método de segmentación de imágenes basado en agrupamiento de superpíxeles”. La invención divulga un método de segmentación de imágenes basado en agrupamiento de superpíxeles.

Ninguna de las soluciones encontradas en el estado de la técnica provee las ventajas técnicas o características específicas que presenta la solución que se pretende proteger. La misma no consiste exclusivamente en el uso de tecnología para el agrupamiento de píxeles, sino en la complementación de este método con otros algoritmos discriminatorios y clasificatorios para el pronóstico de enfermedades retinales, específicamente de la retinopatía. El método, no sólo es capaz de identificar la presencia de vasos sanguíneos en el fondo del ojo, sino de dividir la matriz de la imagen que representa la zona ocular analizada, para determinar la presencia de píxeles equivalentes a vasos sanguíneos en la misma y de esta forma es capaz de determinar el estadio de desarrollo del vaso sanguíneo y a su vez pronosticar la existencia de retinopatía. Cabe anotar, que el presente método ha sido validado en neonatos, sujetos en los cuales la identificación de vasos sanguíneos utilizando métodos mecánicos es particularmente difícil debido al desarrollo incipiente de los vasos sanguíneos a esta edad.

Si bien los documentos del estado de la técnica describen métodos de segmentación de imágenes, posicionamiento ocular o análisis mediante inteligencia artificial, ninguno de ellos aborda de manera específica la identificación y medición de vasos sanguíneos retinianos mediante un enfoque combinado de clustering de píxeles, segmentación matricial y

5 clasificación basada en una red neuronal entrenada para operar sobre imágenes capturadas con cámaras de gran angular, particularmente en neonatos, donde la baja definición estructural de los vasos sanguíneos incrementa la complejidad del análisis.

10 **Breve descripción de la invención**

La solución pretendida, resuelve el problema planteado al aportar un método novedoso que comprende el uso de una inteligencia artificial (IA) previamente entrenada a través de un clustering de píxeles que permite identificar el tono de los mismos. Así, es capaz de segmentar y diferenciar vasos sanguíneos del resto del fondo del ojo.

15

Breve descripción de las figuras

Figura 1. Muestra un flujograma del proceso

20

Descripción detallada de la invención

El problema técnico que aborda la presente invención consiste en la dificultad de identificar y medir de forma objetiva, reproducible y remota la presencia y extensión de vasos sanguíneos retinianos en imágenes oftálmicas, especialmente en neonatos, debido a la
25 baja diferenciación tonal de dichas estructuras, la alta variabilidad entre imágenes y la imposibilidad de aplicar métodos mecánicos o de observación directa en contextos con acceso limitado a especialistas.

La solución propuesta consiste en un método implementado por aprendizaje de máquina que procesa imágenes digitales del fondo del ojo mediante una red neuronal multicapa
30 entrenada para identificar píxeles de interés asociados a vasos sanguíneos, agruparlos en regiones coherentes y determinar su extensión, permitiendo así una evaluación automatizada del estadio de desarrollo vascular.

- 5 La medición de la proliferación de los vasos sanguíneos para la determinación de retinopatía en recién nacidos, comprende un método mecánico y su interpretación por especialistas médicos. Ello dificulta las pruebas en ubicaciones recónditas y con escaso acceso a infraestructuras de salud. Asimismo, existen dispositivos especializados de difícil acceso por su costo.
- 10 La identificación de la retinopatía en recién nacidos, se determina a partir de la presencia de vasos sanguíneos en las diferentes zonas de la retina. Para esos efectos, la retina está dividida en tres zonas, donde la zona 1 es la más interior y se encuentra en la mácula, luego, de adentro hacia afuera, vendrían las zonas 2 y 3.
- 15 Por ello, el método provisto ofrece una solución al problema planteado que comprende el uso de la inteligencia artificial para el procesamiento de imágenes, que permite identificar la presencia de vasos sanguíneos y determina la extensión de los mismos. Con ello, se prescinde del procedimiento mecanizado por el cual se debe realizar observación directa para identificar la presencia y desarrollo de estas estructuras oculares; así, es posible la realización de pronósticos de manera remota.
- 20 El método es implementado en un entorno computacional que comprende al menos un procesador y medios de almacenamiento digital, configurados para ejecutar instrucciones que permiten la captura, normalización y procesamiento de imágenes, así como la ejecución de la red neuronal entrenada para el análisis de los píxeles de interés.
- 25 El método implementado por inteligencia artificial requiere la captura de una imagen que, en una modalidad preferida de la invención se toma con una cámara con angular de 160° en adultos y 120° en niños prematuros y una definición de 1080p la inteligencia comprende una entrada consistente en los datos normalizados de la imagen; ocho capas ocultas que procesan los datos (caja negra) y una salida que entrega la presencia de vasos sanguíneos y su extensión.
- 30 La utilización de ocho capas ocultas responde a la necesidad de modelar patrones no lineales complejos presentes en imágenes retinianas, donde las variaciones tonales entre vasos sanguíneos y el fondo ocular son sutiles y altamente dependientes del contexto espacial. Una menor profundidad limita la capacidad del modelo para capturar dichas variaciones, mientras que una mayor profundidad incrementa el riesgo de sobreajuste sin
- 35 mejoras significativas en la capacidad de discriminación, de acuerdo con las pruebas de entrenamiento realizadas sobre conjuntos de imágenes normalizadas.

Para el entrenamiento de la inteligencia artificial se utilizan grupos de imágenes donde se usan matrices de las mismas dimensiones y se coloca una máscara de determinada tonalidad sobre los píxeles de interés para focalizar el entrenamiento. Los píxeles de interés comprenden información acerca de su tono específico que le diferencian del resto. Con esa información la inteligencia artificial aprende a distinguir los píxeles que le corresponde evaluar cada vez.

El método propuesto permite la predicción a partir del análisis de una imagen capturada digitalmente, que se transforma en tres matrices de valores de píxel para el entendimiento de la máquina, que son normalizadas mediante un filtro de normalización estándar para homogeneizar el tamaño de las mismas a 576 filas y columnas de tal forma que coincidan con el tamaño de las matrices usadas durante el entrenamiento. La agrupación de píxeles se realiza mediante un proceso de asociación de píxeles de interés que presentan características tonales similares y proximidad espacial, permitiendo conformar regiones continuas representativas de posibles estructuras vasculares. Este proceso se apoya en la aplicación de una máscara que resalta dichos píxeles dentro de la imagen segmentada, facilitando su posterior análisis por la red neuronal sin requerir la identificación explícita de cada píxel de forma aislada.

En la primera matriz está la imagen original según se captura por la cámara; una segunda matriz donde se segmenta la imagen por píxeles de interés; y una tercera matriz donde se agrupan los píxeles en una región de interés a partir de la aplicación de una máscara.

Finalmente, la inteligencia fragmenta los píxeles en “interés” y “no interés”, donde cada píxel consiste en un punto de un tono en la matriz de tal forma que sólo grafica los vasos sanguíneos del ojo, generando una nueva imagen binarizada a blanco y negro, para referenciar la longitud de los vasos sanguíneos en los fondos de los ojos, lo que determina su estadio de desarrollo.

La inteligencia es una red neuronal multicapa que comprende un nodo de entrada para identificar la paleta de tonos del píxel referenciado, que en la modalidad provista de la invención identifica como positivos – presencia de vasos sanguíneos -- los píxeles blancos de la imagen referenciada.

Presenta ocho capas ocultas que se complementan entre sí mejorando la eficiencia del análisis, donde las primeras cuatro capas ocultas generan los pesos necesarios para

- 5 identificar el píxel como positivo o negativo, mediante un algoritmo de regresión lineal complementado con una función de activación Relu. Las otras cuatro capas ocultas son “Dropout” para evitar sobreajuste en el análisis debido a la cantidad de píxeles por imagen y variación de tonos en los mismos, de tal forma que la capa de salida optimice su precisión y también se complementan con una función de activación Relu. El sobreajuste constituye
- 10 un problema específico en este contexto debido a la alta densidad de píxeles por imagen y a la variabilidad tonal entre imágenes capturadas bajo diferentes condiciones de iluminación y enfoque. Para mitigar este efecto, se incorporan cuatro capas ocultas configuradas con técnicas de regularización tipo dropout, las cuales desactivan aleatoriamente neuronas durante el entrenamiento, reduciendo la dependencia excesiva del modelo respecto de
- 15 características particulares de una imagen específica y mejorando su capacidad de generalización en imágenes no vistas.

También comprende un nodo de salida con una función de activación “Sigmoid” que entrega el resultado del análisis y determina si se trata de un vaso sanguíneo u otro elemento del fondo del ojo.

- 20 Además, el algoritmo determina el estadio de desarrollo del vaso sanguíneo según su extensión por el cluster de píxeles positivos agrupados presentes en la zona del ojo. El nivel de extensión de los estadios del vaso sanguíneo en las zonas del ojo, determinará si el sujeto tiene retinopatía.