

Digital Image Processing for the Analysis of Eye Diseases

Johan Yerzinio Guerra Tacca, Estudiante¹, Eveling Castro-Gutierrez, Magister¹

¹Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, jguerrat@unsa.edu.pe, ecastro@unsa.edu.pe

Abstract— Currently, eye diseases are a serious problem in our society, their incidence and prevalence are constantly growing. Worldwide, it is estimated that approximately 1.3 billion people live with visual impairment, 39 million are blind, of which 80% of all cases could have been avoided.

Digital image processing is the set of techniques that are applied to images, to improve quality or facilitate the search for information within them. One of the main areas that are gaining importance in the implementation of these techniques is medicine because, with this processing, assistance can be given in the diagnosis of different eye diseases.

The objective of this work is to be able to assist in the diagnosis of eye diseases using pre-processing, segmentation, extraction of characteristics and classification of these images. When evaluating 120 images, the result obtained from the processing gave us 86.63% accuracy when detecting possible eye disease.

Keywords: Image pre-processing, Image segmentation, Feature extraction, Image classification, CLAHE, Guided Filter, Unsharp Masking, SVM.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.550>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Procesamiento de Imágenes Digitales para el Análisis de Enfermedades Oculares

Johan Yerzinio Guerra Tacca, Estudiante¹, Eveling Castro-Gutierrez, Magister¹

¹Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, jguerrat@unsa.edu.pe, ecastro@unsa.edu.pe

Resumen– En la actualidad las enfermedades oculares son un problema grave en nuestra sociedad, su incidencia y prevalencia van creciendo constantemente. A nivel mundial se estima que aproximadamente 1300 millones de personas viven con alguna deficiencia visual, 39 millones presentan ceguera, de los cuales el 80% de todos los casos pudieron haberse evitado.

El procesamiento de imágenes digitales es el conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes, con el objetivo de mejorar la calidad o facilitar la búsqueda de información dentro de ellas. Una de las principales áreas que está tomando importancia en la implementación de estas técnicas es la medicina, debido a que con este procesamiento se puede dar una asistencia en el diagnóstico de diferentes enfermedades oculares.

El objetivo del presente trabajo es poder dar asistencia en el diagnóstico de enfermedades oculares haciendo uso del pre-procesamiento, segmentación, extracción de características y clasificación de estas imágenes. Al evaluar 120 imágenes, el resultado obtenido del procesamiento nos brindó un 86,63% de precisión al detectar una posible enfermedad ocular.

Keywords-- Pre-procesamiento de imágenes, Segmentación de imágenes, extracción de características, Clasificación de imágenes, CLAHE, Guided Filter, Unsharp Masking, SVM.

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia y con el constante avance tecnológico, los procesamiento de imágenes médicas han tenido un gran impacto en el área de medicina, en el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades; debido a esto han ido surgiendo diversos métodos de procesamiento de imágenes médicas en el área de visión computacional, capaces de brindar un soporte en el diagnóstico médico.

Las enfermedades oculares en la actualidad son un problema de gran magnitud, su incidencia y prevalencia van creciendo de una forma exponencial. A nivel mundial, se estima que aproximadamente 1300 millones de personas viven con alguna forma de deficiencia visual, 39 millones presentan ceguera, de los cuales el 80% de todos los casos a nivel mundial se consideran evitables [1][2]. El análisis de un examen oftalmológico es el primer paso para evaluar algún tipo de enfermedad ocular y determinar el tipo de tratamiento que debe seguir el paciente. El identificar alguna enfermedad ocular en su etapa temprana brinda un beneficio incalculable al paciente, ya que podrá seguir un tratamiento adecuado y evitar que la enfermedad avance.

El presente trabajo pretende brindar asistencia en la detección de enfermedades oculares mediante el análisis y procesamiento de imágenes fotográficas, con el objetivo de

servir como segunda opinión para el médico especialista en oftalmología para investigación básica o estudios de salud pública.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección II se presentan los trabajos relacionados; en la sección III se presenta la propuesta del presente; en la sección IV se presentan los resultados obtenidos y finalmente en la sección V se presentan las conclusiones.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

A lo largo de la historia y con el constante avance tecnológico, las imágenes médicas han tenido un gran impacto en la medicina, en el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades; debido a esto han ido surgiendo diversos métodos de procesamiento de imágenes para el apoyo en el diagnóstico médico a partir de la creciente necesidad de esto en el sector salud, ya que estos darán beneficios en costo, tiempo y calidad de vida para los pacientes.

Uno de los primeros sistemas de visión computacional fue el sistema de detección facial, éste tuvo sus inicios en los años 60, el primer sistema automático necesitaba que se localice rasgos como ojos, cejas, nariz y boca en las imágenes para calcular distancias a determinados puntos de referencia que después serían analizados con datos almacenados en el sistema [3].

En el área de medicina ocular el análisis y procesamiento de imágenes médicas se usa ampliamente para el diagnóstico de diversas enfermedades como: cataratas, ambliopía, desprendimiento de retina, retinoblastoma entre otras [4].

En [5], se expone soluciones para el diagnóstico semi automático de retinopatía de la prematuridad (ROP) a partir de imágenes médicas de retina obtenidas mediante un examen de fondo de ojo.

Sin embargo, una imagen médica no solo puede asistir en el diagnóstico de una sola enfermedad sino de varias, como se muestra en [6], donde se presenta un sistema integrado denominado “Sistema de Análisis masivo de retinas humanas”, el cual puede dar asistencia en el diagnóstico de enfermedades relacionadas con la retina tales como: glaucoma, retinopatía diabética, retinopatía hipertensiva, retinosis pigmentaria y degeneración macular. El sistema realiza un análisis de forma ponderada de los factores de riesgo de los pacientes basados

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.550>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

en lógica difusa. Este sistema analiza imágenes de fondo de ojo obtenidas mediante un oftalmoscopio, para luego procesarlas, analizarlas y poder dar asistencia en el diagnóstico.

En el área de medicina ocular, hay cada vez más herramientas disponibles de gran calidad tecnológica, las cuales prestan mayor beneficio y comodidad para los usuarios. Una de estas herramientas es PeekRetina, una herramienta que se instala encima del lente del teléfono móvil para obtener un oftalmoscopio portátil de bajo costo. Por medio de un software instalado en el teléfono PeekRetina puede procesar las imágenes del fondo de ojo del usuario y realizar un examen del estado de la retina para enviarlo a cualquier lugar del mundo para su análisis [7].

En la actualidad con el gran crecimiento tecnológico, los enormes resultados que se viene obteniendo con los métodos de procesamiento de imágenes e investigaciones recientes ya no es prescindible de tener un equipo especializado como un oftalmoscopio para la detección de algunas enfermedades oculares, basta con una cámara fotográfica tal como se muestra en [8], en donde hacen un análisis colorimétrico y longitudinal de la leucocoria en fotografías recreativas de niños con retinoblastoma.

III. PROPUESTA

El presente trabajo trata de cubrir el vacío de la asistencia en el diagnóstico de enfermedades oculares mediante el procesamiento de imágenes digitales. Para este fin el presente trabajo se dividió en dos fases: la primera incluye las etapas de pre procesamiento y la etapa de segmentación, la segunda fase incluye la etapa de extracción de características y la etapa de clasificación. Para una mejor comprensión se presenta un esquema general con sus respectivas fases etapas ver Fig.1 y Fig.2.

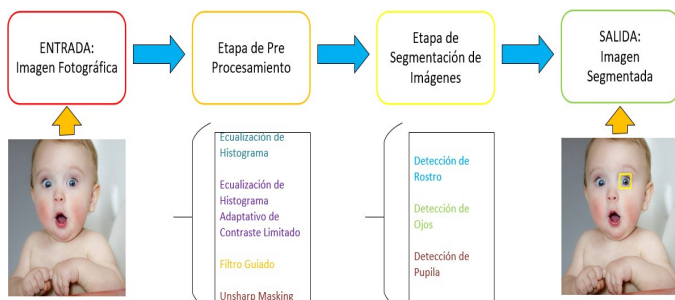


Fig. 1. Primera fase que comprende las etapas de pre-procesamiento y segmentación.

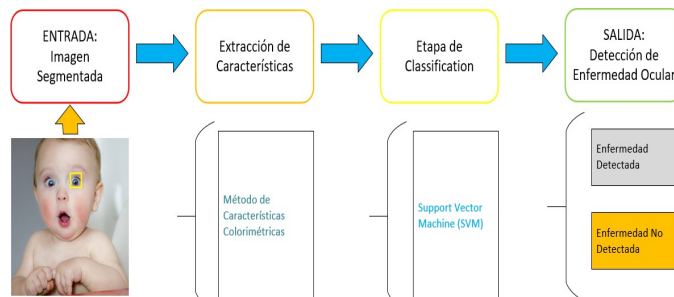


Fig. 2. Segunda fase que comprende las etapas de extracción de características y la etapa de clasificación

A. Etapa de Pre-procesamiento

El objetivo principal de esta etapa es: mejorar la calidad de la imagen digital y/o facilitar la búsqueda de información; realzar el contraste, incrementar la nitidez y corregir deficiencias en la adquisición de las imágenes debido principalmente a factores no controlados como: equipos de imágenes, oclusión de la imagen y condiciones de captura, que hacen que la imagen no tenga una calidad adecuada para poder ser procesada.

La etapa de pre-procesamiento del presente trabajo se basa en la combinación de tres métodos que han demostrado resultados satisfactorios en la eliminación de ruido, mejora de contraste y preservación de bordes. Estos métodos son: ecualización de histograma de contraste limitado (CLAHE) con la finalidad de mejorar el contraste de la imagen, enmascaramiento de desenfoque (Unsharp Masking) para mejorar los bordes y otros componentes de alta frecuencia de la imagen y por último el filtro guiado (Guided Filter) para la eliminación de ruido en la imagen. En la Fig.3, se muestra un esquema general de la etapa de pre-procesamiento.

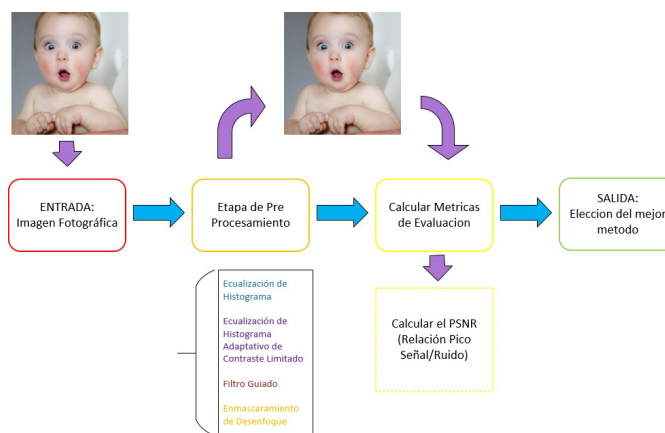


Fig. 3. Etapa de pre procesamiento

En el presente trabajo antes de aplicar cualquiera de los métodos antes mencionados en la imagen digital, ésta es convertida del espacio de color RGB (espacio de color original de la imagen) al espacio de color HSV, ya que esta puede

separar el color de la intensidad y tiene un mayor rango dinámico de saturación. Los métodos antes mencionados serán aplicados solo al componente de intensidad (valor), quedando así invariante los canales de matiz y saturación, ya que estos mantienen la información de color.

A continuación, se presentan con más detalle el uso de cada uno de los métodos utilizados en la presente etapa.

1) Ecualización de Histograma de Contraste Limitado: Este método aplica ecualización de histograma a regiones contextuales en la imagen, el histograma original es recortado y los píxeles son distribuidos para cada nivel de gris. El nuevo histograma es diferente al original porque cada píxel de intensidad está limitado por un margen o frontera máxima que facilita mejorar el contraste de la imagen [9].

En el presente trabajo, la imagen fue dividida en sesenta y cuatro regiones contextuales; de tal forma que para cada región contextual se calculó su respectivo histograma teniendo como límite de mejora de contraste 0.0005 (el valor límite para la mejora de contraste fue definido debido a su desempeño en la mejora de la imagen digital al ser comparada a valores normalizados entre 0 y 1)

2) Enmascaramiento de Desenfoque: Es un método de afilado que mejora los bordes y otros componentes de alta frecuencia en una imagen, con la finalidad de mejorar la nitidez y enfoque de la imagen mediante un procedimiento que resta una versión de desenfoque o suavizada de una imagen de la imagen original [10][11]. En el presente trabajo, el enmascaramiento de desenfoque se calculó teniendo como radio (radius) de 1.5, fuerza de efecto de afilado (amount) de 0.8, contraste requerido para que un píxel se considere un píxel de borde (Threshold) de 0.3.

3) Filtro Guiado: Considerado como uno de los métodos de procesamiento más completos para la eliminación de ruido y preservación de bordes de una imagen. Este método permite el suavizamiento de la imagen sin ser propenso a artefactos de inversión de gradiente. Este método se diferencia de los clásicos debido al uso de una imagen guía que le permite un mejor desempeño; de este modo, con la ayuda de la imagen guía se hace que la salida de filtrado sea más estructurada y menos suavizada [12].

En el presente trabajo, los parámetros serán las mismas imágenes fotográficas; es decir tanto la imagen de entrada a ser procesada como la imagen de referencia (imagen guía) serán las mismas. En caso se consideren imágenes distintas, se debe tener en cuenta que ambas imágenes deben tener las mismas dimensiones y el mismo formato de colores. Las imágenes digitales fueron divididas en regiones cuadradas

(también conocidas como ventanas locales) con un tamaño de matriz de vecindario de 5x5.

B. Etapa de Segmentación

La segmentación es el proceso de dividir una imagen en varias partes con características similares (grupo de píxeles), con el objetivo de identificar con precisión las áreas de interés.

En el presente trabajo la etapa de segmentación se dividirá en cuatro partes: detección facial, detección de ojos, detección de iris y detección de pupilas. Para la parte de detección de facial y detección de ojos se hace uso del algoritmo de Viola-Jones el cual presenta resultados alentadores en condiciones controladas, y para la parte de detección de iris y pupilas se hace uso del algoritmo de la transformada de Hough brindando resultados favorables en la detección de círculos como lo es la pupila. A continuación, se presentan con más detalle el uso de cada uno de los métodos utilizados en la presente etapa.

Para la detección facial y ocular se hace uso del método de Viola Jones que se destaca por su bajo coste computacional, lo que permite que sea empleado en tiempo real. El algoritmo se basa en una serie de clasificadores débiles denominados Haar-like features, que se pueden calcular eficientemente a partir de una imagen integral. Estos clasificadores se agrupan en una cascada empleando un algoritmo de aprendizaje basado en AdaBoost para conseguir un alto rendimiento en la detección de rostros y ojos [13][14].

Para la detección de iris y pupilas se hace uso de la transformada de Hough. La transformada de Hough es una técnica que permite descubrir formas en una imagen, se basa en transformar puntos de la imagen en un espacio de parámetros. La idea es encontrar curvas parametrizables (círculos). En esta etapa se aplicará la transformada de Hough en la imagen recortada (solo ojos), que será brindada al finalizar la etapa de detección facial y de ojos [15].

En Fig.4., se muestra un esquema de la etapa de segmentación.

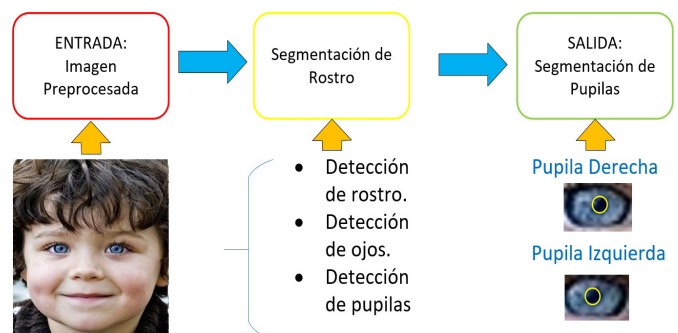


Fig.4. Etapa de segmentación

C. Etapa de extracción de características

Para la etapa de extracción de características se hizo uso de la colorimetría, mediante ella obtendremos información colorimétrica de cada píxel; además al considerar la distribución que tiene todos los píxeles que componen una muestra podremos obtener datos sobre el color dentro del área de interés [16][17] en nuestro caso el área de interés (ROI) es la pupila. Después de obtener los datos colorimétricos sobre las pupilas en las fotografías, tanto en las que se presentaba un tipo de enfermedad ocular como en las que no, se realiza una descomposición en rangos de colores para dichas imágenes digitales.

Para el presente trabajo los colores de importancia son: negro, blanco, rojo, azul, amarillo, verde y magenta. El color negro y rojos descartan algún tipo de enfermedad ocular, mientras los demás colores indican la posible presencia de una enfermedad ocular.

En Fig.5, se muestra un esquema de la etapa de extracción de características.

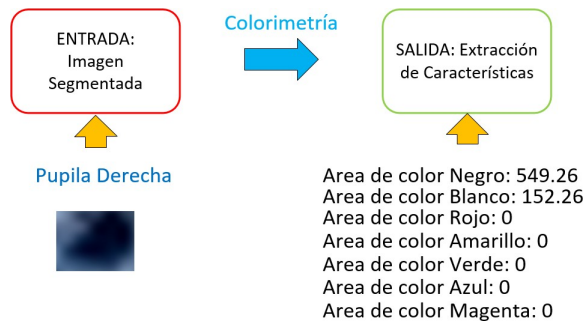


Fig.5. Etapa de extracción de características

Para poder detectar los colores de importancia en este trabajo, se necesitó un rango de dominio para cada color, donde algunos colores verdaderos estarían incluidos en estos colores. Se utilizó el modelo de color HSV para poder realizar el trabajo de una forma más sencilla y familiarizada con el ojo humano. Para todos los colores excepto el negro y blanco se trabajó con un rango de saturación entre [0.5-1] y un rango de valor entre [0.2-1] variando en el rango de matriz para cada color, siendo los rangos para los colores: rojo [30-330], amarillo [30-90], verde [90-150], azul [150-270] y magenta [270-330]. Para el color negro se trabajó con un valor menor a 0.2, con respecto al color blanco se trabajó con un valor mayor a 0.2 y una saturación menor a 0.5

D. Etapa de Clasificación

Para la etapa de clasificación se hizo uso del método Support Vector Machine (SVM) ya que este demostró grandes resultados al clasificar dos tipos de etiquetas o clases. Teniendo como clases: imágenes con presencia de alguna

enfermedad ocular e imágenes sin presencia de alguna enfermedad ocular.

El método Support Vector Machine, es un clasificador binario probabilístico que tiene como finalidad encontrar un hiperplano con un margen máximo para separar puntos de datos de alta dimensión [18].

La etapa de entrenamiento se realizó haciendo uso de 64 imágenes digitales sin presencia de enfermedades oculares y 64 imágenes digitales con presencia de alguna enfermedad ocular. Para esta etapa se tomó como parámetros el tipo de color detectado, el área de cada color en la imagen y el área de color máximo en cada imagen.

Se presenta un esquema de la etapa de clasificación en la Fig.6.

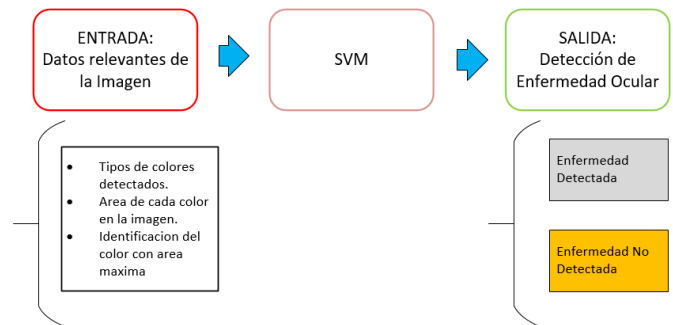


Fig.6. Etapa de clasificación

IV. RESULTADOS

Cabe resaltar que las fotografías capturadas en el presente trabajo fueron tomadas con la luz de flash de la cámara o celular usado.

Los resultados obtenidos en la etapa de pre-procesamiento del presente trabajo son los presentados en la tabla I. evaluando los métodos individualmente y teniendo como métrica de evaluación PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) se obtuvo:

TABLA I
EVALUACIÓN EN LA ETAPA DE PRE-PROCESAMIENTO

Pre-procesamiento	PSNR con ruido Gaussiano	PSNR con ruido Poisson
Método EH (Ecuador de histogramas)	16.0178	17.7174
Método CLAHE	17.6838	26.8141

Método Enmascaramiento de Desenfoque	17.4124	27.8909
Método Filtro Guiado	18.4516	30.3421

En la tabla I, podemos observar que el método de filtro guiado (Guided Filter) fue quien obtuvo los mejores resultados con un PSNR de 18.4516 para el ruido Gaussiano y un PSNR de 30.3421 para el ruido de Poisson.

En la tabla II, con el uso combinado de los métodos histograma de contraste limitado (CLAHE), enmascaramiento de desenfoque (Unsharp Masking), y el filtro guiado (Guided Filter) se obtuvo:

TABLA II
EVALUACIÓN EN LA ETAPA DE PRE-PROCESAMIENTO COMBINADO

Pre-procesamiento combinado	PSNR con ruido Gaussiano	PSNR con ruido Poisson
Método CLAHE- Enmascaramiento de desenfoque- Filtro guiado	18.8470	30.5824

Como se puede observar en la tabla II, el uso del método combinado produjo mejores resultados que aplicar los métodos individualmente, obteniendo así un PSNR de 18.8470 para el ruido Gaussiano y un PSNR de 30.5824 para el ruido de Poisson. Cabe aclarar que mientras más elevado sea el PSNR obtenido, la imagen será de mayor calidad.

En la etapa de segmentación se obtuvo los siguientes resultados: detección correcta de rostro 91.25%, detección de ojos correcta 91.28% y detección de pupilas correcta 76.25%.

En la etapa de clasificación se obtuvo un 86.67% de precisión al clasificar imágenes con presencia y sin presencia de enfermedades oculares. En la tabla III, se muestra los resultados con un alto índice de verdaderos positivos.

TABLA III
EVALUACIÓN EN LA ETAPA DE PRE-PROCESAMIENTO COMBINADO

	Ojo con presencia de enfermedad (método)	Ojo sin presencia de enfermedad (método)
Ojo sin presencia de enfermedad (método)	54	6
Ojo sin presencia de enfermedad (método)	10	50

IV. CONCLUSIONES

Después del desarrollo de las etapas antes descritas y luego analizar los resultados podemos concluir que:

Es posible dar asistencia en el diagnóstico de enfermedades oculares mediante el procesamiento de imágenes digitales utilizando los métodos del área de visión computacional.

En método de pre-procesamiento combinado CLAHE-Enmascaramiento de desenfoque- Filtro guiado, proporcionó mejores resultados a diferencia de emplear cada método individualmente. Obteniendo así un PSNR de 18.8470 frente al ruido Gaussiano y un PSNR de 30.5824 frente al ruido de Poisson.

En la etapa de clasificación se obtuvo resultado satisfactorio obteniendo: detección correcta de rostro 91.25%, detección de ojos correcta 91.28% y detección de pupilas correcta 76.25%.

En la etapa de clasificación los resultados fueron muy alentadores obteniendo un 86.67% de precisión al clasificar imágenes con presencia y sin presencia de enfermedades oculares.

El presente trabajo tiene resultados favorables solo con imágenes capturadas con flash activo y sin ningún tipo de filtro, debido a que éstas al emitir el haz de luz hacen que la pupila se dilate y permite el reflejo con algún tipo de color ya mencionado del fondo de ojo.

REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud, "Ceguera y discapacidad visual". Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud, 2017.
- [2] American Optometric Association, "Evidence-based clinical practice guideline". Lindbergh, Estados Unidos: American Optometric Association, 2017.
- [3] V. Alvear-Puertas, P. Rosero-Montalvo, D. Peluffo-Ordóñez, and J. Pijal-Rojas, "Internet de las cosas y visión artificial, funcionamiento y aplicaciones: Revisión de literatura," *Enfoque UTE*, vol. 8, pp. 244–256, 2017.
- [4] D. S. Kermany, M. Goldbaum, W. Cai, C. C. Valentim, H. Liang, S. L. Baxter, A. McKeown, G. Yang, X. Wu, F. Yan, et al., "Identifying medical diagnoses and treatable diseases by image-based deep learning," *Cell*, vol. 172, no. 5, pp. 1122–1131, 2018.
- [5] M. Intrigo and J. Crespo del Arco, "Diagnóstico semiautomático de la retinopatía de la prematuridad," *Revista Digital de la Facultad de Ingeniería de Sistemas, Escuela Politécnica Nacional*, vol. 1, no. 1, 2012.
- [6] I. Ríos Hernández, "Desarrollo de un sistema de análisis de retinas humanas," tech. rep., Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Computación, 2007.
- [7] A. Bastawrous, M. E. Giardini, S. Jordan, et al., "Peek: Portable eye examination kit. the smartphone ophthalmoscope," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 55, no. 13, pp. 1612–1612, 2014.
- [8] A. Abdolvahabi, B. W. Taylor, R. L. Holden, E. V. Shaw, A. Kentsis, C. Rodriguez-Galindo, S. Mukai, and B. F. Shaw, "Colorimetric and longitudinal analysis of leukocoria in recreational photographs of children with retinoblastoma," *PloS one*, vol. 8, no. 10, p. e76677, 2013.
- [9] G. Yadav, S. Maheshwari, and A. Agarwal, "Contrast limited adaptive histogram equalization based enhancement for real time video system,"

- in 2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), pp. 2392–2397, IEEE, 2014.
- [10] R. Guan and Y. Wan, “An improved unsharp masking sharpening algorithm for image enhancement,” in Eighth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2016), vol. 10033, p. 100332A, International Society for Optics and Photonics, 2016.
 - [11] S. Lin, C. Wong, G. Jiang, M. Rahman, T. Ren, N. Kwok, H. Shi, Y.-H. Yu, and T. Wu, “Intensity and edge based adaptive unsharp masking filter for color image enhancement,” *Optik*, vol. 127, no. 1, pp. 407–414, 2016.
 - [12] S. Lin, C. Wong, G. Jiang, M. Rahman, T. Ren, N. Kwok, H. Shi, Y.-H. Yu, and T. Wu, “Intensity and edge based adaptive unsharp masking filter for color image enhancement,” *Optik*, vol. 127, no. 1, pp. 407–414, 2016.
 - [13] Z. Lu, B. Long, K. Li, and F. Lu, “Effective guided image filtering for contrast enhancement,” *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 25, no. 10, pp. 1585–1589, 2018.
 - [14] K. D. Pandya, “Face detection—a literature survey,” *International Journal of Computer Techniques*, vol. 3, no. 1, 2017.
 - [15] P. Viola, M. Jones, et al., “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features,” *CVPR (1)*, vol. 1, no. 511–518, p. 3, 2001.
 - [16] R. G. Bozomitu, A. Pașărica, V. Cehan, C. Rotariu, and C. Barabas, “Pupil centre coordinates detection using the circular hough transform technique,” in 2015 38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), pp. 462–465, IEEE, 2015.
 - [17] J. R. M. Sandoval, M. E. M. Rosas, E. M. Sandoval, M. M. M. Velasco, and H. C. De Ávila, “Color analysis and image processing applied in agriculture,” *Colorimetry and Image Processing*, p. 61, 2018.
 - [18] M. Melgosa, M. Rivas, L. Gomez, and E. Hita, “Towards a colorimetric characterization of the human iris,” *Ophthalmic and Physiological Optics*, vol. 20, no. 3, pp. 252–260, 2000.
 - [19] G.-S. Fu, Y. Levin-Schwartz, Q.-H. Lin, and D. Zhang, “Machine learning for medical imaging,” *Journal of healthcare engineering*, vol. 2019, 2019.