



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática

Escuela Profesional de Ingeniería de Software

**Sistema para diagnosticar la catarata mediante el uso
de redes neuronales convolucionales**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Software

AUTOR

Isaac Elias ÑUFLO GAMARRA

Franco Samuel MECCA PAREDES

ASESOR

Dra. Lenis Rossi WONG PORTILLO

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Ñuflo, I. & Mecca, F. (2022). *Sistema para diagnosticar la catarata mediante el uso de redes neuronales convolucionales*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Escuela Profesional de Ingeniería de Software]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Isaac Elias Ñuflo Gamarra
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	75328398
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-3435-8225
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Franco Samuel Mecca Paredes
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	48221588
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-8173-4385
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Lenis Rossi Wong Portillo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10438282
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5032-3233
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Ciro Rodriguez Rodriguez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06020241
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Juan Gamarra Moreno
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	20039857

Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Lenis Rossi Wong Portillo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10438282
Datos de investigación	
Línea de investigación	No aplica
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos Edificio: Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Cercado de Lima Calle: Av. Carlos Germán Amezaga 375 Latitud: -12.0533489 Longitud: -77.085658
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Febrero 2021 – Julio 2021
URL de disciplinas OCDE	Sistemas de automatización, Sistemas de Control https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.03



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática

Escuela Profesional de Ingeniería de Software

Acta de Sustentación Virtual de Tesis

Siendo las quince (15) horas del día 12 (doce) del mes de julio de 2022, se reunieron en la sala virtual meet.google.com/hwu-zvxf-tvs, presidido por el Dr. *Ciro Rodriguez Rodriguez*, Mg. *Juan Gamarra Moreno* (Miembro) y la Dra. *Lenis Rossi Wong Portillo* (Miembro Asesor), para la sustentación virtual de la Tesis intitulada **“SISTEMA PARA DIAGNOSTICAR LA CATARATA MEDIANTE EL USO DE REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES”**, por el Bachiller *Isaac Elias Ñuflo Gamarra*, para optar el Título Profesional de Ingeniero de Software.

Acto seguido de la exposición de la Tesis, el Presidente invitó al bachiller a dar respuesta a las preguntas establecidas por los Miembros de Jurado.

El bachiller en el curso de sus intervenciones demostró pleno dominio del tema, al responder con acierto y fluidez a las observaciones y preguntas formuladas por los señores miembros del Jurado.

Finalmente habiéndose efectuado la calificación correspondiente por los miembros de Jurado, el bachiller *Isaac Elias Ñuflo Gamarra* obtuvo la nota de 16(Dieciséis).

A continuación, el Presidente del Jurado, Dr. *Ciro Rodriguez Rodriguez*, declara al bachiller **Ingeniero de Software**.

Siendo las 15:45 horas, se levantó la sesión.

Dr. *Ciro Rodriguez Rodriguez*
Presidente

Mg. *Juan Gamarra Moreno*
Miembro

Dra. *Lenis Rossi Wong Portillo*
Miembro Asesor



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática

Escuela Profesional de Ingeniería de Software

Acta de Sustentación Virtual de Tesis

Siendo las quince (15) horas del día 12 (doce) del mes de julio de 2022, se reunieron en la sala virtual meet.google.com/hwu-zvxf-tvs, presidido por el Dr. **Ciro Rodriguez Rodriguez**, Mg. **Juan Gamarra Moreno** (Miembro) y la Dra. **Lenis Rossi Wong Portillo** (Miembro Asesor), para la sustentación virtual de la Tesis intitulada **“SISTEMA PARA DIAGNOSTICAR LA CATARATA MEDIANTE EL USO DE REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES”**, por el Bachiller **Franco Samuel Mecca Paredes**, para optar el Título Profesional de Ingeniero de Software.

Acto seguido de la exposición de la Tesis, el Presidente invitó al bachiller a dar respuesta a las preguntas establecidas por los Miembros de Jurado.

El bachiller en el curso de sus intervenciones demostró pleno dominio del tema, al responder con acierto y fluidez a las observaciones y preguntas formuladas por los señores miembros del Jurado.

Finalmente habiéndose efectuado la calificación correspondiente por los miembros de Jurado, el bachiller **Franco Samuel Mecca Paredes** obtuvo la nota de 16(Dieciséis).

A continuación, el Presidente del Jurado, Dr. **Ciro Rodriguez Rodriguez**, declara al bachiller **Ingeniero de Software**.

Siendo las 15:45 horas, se levantó la sesión.

Dr. **Ciro Rodriguez Rodriguez**
Presidente

Mg. **Juan Gamarra Moreno**
Miembro

Dra. **Lenis Rossi Wong Portillo**
Miembro Asesor

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi Señor
Jesucristo, que le pertenece toda gloria.

A mi familia, que supo apoyarme en todo
tiempo.

AGRADECIMIENTOS

A la profesora Lenis Wong, por su orientación y dedicación para que este trabajo cumpla con los objetivos trazados.

A nuestros padres por su sacrificio, preocupación y ánimo para perseverar en el desarrollo de nuestra carrera profesional.

A los profesores de la UNMSM, principalmente al profesor Bartra por demostrarnos la calidad de profesionalismo que debemos tener de forma integral.

A todas aquellas personas que indirectamente nos ayudaron para culminar este trabajo y que muchas veces constituyen un invalorable apoyo.

Y por encima de todo damos gracias a Dios.

Contenido

LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	13
1.1 Antecedentes del problema	13
1.2 Formulación del problema	14
1.2.1 Problema general	14
1.2.2 Problemas específicos	14
1.3 Justificación	14
1.4 Objetivos	16
1.4.1 Objetivo general	16
1.4.2 Objetivos específicos	17
1.5 Organización de la tesis	17
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	18
2.1 Revisión de la literatura sobre el diagnóstico de catarata	18
2.1.1 Planificación de la revisión	18
2.1.2 Desarrollo de la revisión	19
2.1.3 Resultados de la revisión	20
2.1.3.1 Tendencias de las publicaciones	20
2.1.3.2 Fuente de datos	21
2.2 Análisis de los estudios	22
2.2.1 Métodos	24
2.2.1.1 Automático	24
2.2.1.2 Manual	51
2.2.2 Características	57
2.2.2.1 Disco óptico y mácula	57
2.2.2.2 Propiedades de la imagen	59

2.2.2.3	Cristalino: núcleo y corteza	65
2.2.2.4	Pupila	67
2.2.2.5	Vasos Sanguíneos	67
2.2.3	Clasificación	69
2.2.3.1	Grados de catarata	69
2.2.3.2	Ubicación de la catarata	73
2.2.3.3	Catarata congénita	76
2.2.4	Obstáculos	76
2.2.4.1	Falta de recursos	77
2.2.4.2	Falta de experiencia	80
2.2.4.3	Demora en el diagnóstico	83
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA		85
3.1	Metodología de la investigación	85
3.2	Fases de la metodología de investigación	85
CAPÍTULO 4: SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE CATARATA		87
4.1	Justificación	87
4.2	Descripción del Modelo de red neuronal convolucional	88
4.2.1	Conjunto de datos	88
4.2.2	Arquitectura	88
4.2.3	Pasos del Entrenamiento	89
4.2.3.1	Preprocesamiento	89
4.2.3.2	Entrenamiento del modelo Resnet-18	91
4.2.3.3	Entrenamiento del clasificador SVM	92
4.2.3.4	Estadísticas y exportación	92
4.3	Descripción del Sistema de Diagnóstico de Catarata	93
4.4	Desarrollo del sistema	94
4.4.1	Documento de Especificación de Requisitos	95
4.4.2	Documento de Análisis del Sistema	96
4.4.3	Documento de Diseño y Arquitectura	102
4.4.4	Documento de Plan de Pruebas	104
4.4.5	Documento de Especificación de Pruebas	105
4.5	Uso del sistema	106

4.5.1	Diagnóstico de Catarata	106
4.5.2	Verificación del diagnóstico	107
CAPÍTULO 5: VALIDACIÓN Y RESULTADOS		108
5.1	Población y Muestra	108
5.2	Validación del modelo	108
5.3	Validación del sistema	110
5.4	Métricas de calidad	111
5.5	Resultados	112
5.6	Discusión	114
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO		115
6.1	Conclusión	115
6.1.1	Conclusión general	115
6.1.2	Conclusiones específicas	115
6.2	Trabajo futuro	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		117
ANEXOS		121
Anexo A		121
Anexo B		131
Anexo C		148
Anexo D		161
Anexo E		169

Lista de tablas

Tabla 1. Criterios de selección y exclusión	19
Tabla 2. Estudios seleccionados	21
Tabla 3. Publicaciones sobre el diagnóstico de catarata por tipo de fuente	22
Tabla 4. Clasificación de los estudios basados en la revisión sistemática de la literatura sobre el diagnóstico de catarata	23
Tabla 5. Clasificación de métodos para el diagnóstico de catarata	24
Tabla 6. Comparación de performance entre métodos de clasificación de cataratas nucleares (Gao et al., 2015)	26
Tabla 7. Comparación de características de las técnicas de imagenología (Morales et al., 2016)	56
Tabla 8. Clasificación de características para el diagnóstico de catarata	57
Tabla 9. Clasificación de resultados para el diagnóstico de catarata	69
Tabla 10. Clasificación de obstáculos para el diagnóstico de catarata	77
Tabla 11. Riesgos y contingencias	105
Tabla 12. Población, muestra y unidad de análisis	108
Tabla 13. Matriz de confusión	112
Tabla 14. Resultados de la métrica de precisión	113
Tabla 15. Resultados de la métrica de recall	113
Tabla 16. Resultados de la métrica de F1-Score	114
Tabla 17. Tabla resumen de los resultados	114

Lista de figuras

Figura 1. Estimaciones globales del número de ojos con <math><6/60</math> debido a catarata (OMS).	15
Figura 2. Personas de 50 y más años que recibieron el diagnóstico de cataratas, según sexo y grupo de edad, 2014-2018 (INEI).	16
Figura 3. Proceso de revisión sistemática de literatura.	20
Figura 4. Estudios sobre diagnóstico de catarata en el periodo (2015 - 2020).	21
Figura 5. Taxonomía propuesta.	22
Figura 6. Etapas del Aprendizaje Profundo (Gao et al., 2015).	25
Figura 7. Proceso general del sistema (Fuadah et al., 2015).	29
Figura 8. Marco de trabajo de un sistema de clasificación y graduación de catarata asistido por computadora (Guo et al., 2015).	31
Figura 9. Aplicación en el mundo real de un sistema aplicado por computadora para la clasificación de cataratas (Guo et al., 2015).	32
Figura 10. Sistema automático de clasificación de catarata (Harini et al., 2016).	33
Figura 11. Diagrama general del sistema de diagnóstico y clasificación de catarata (Shaheen et al., 2017).	36
Figura 12. Diagrama de componentes del sistema de diagnóstico y clasificación de catarata (Shaheen et al., 2017).	36
Figura 13. Diagrama de flujo del modelo propuesto (Rana et al., 2017).	39
Figura 14. Estimación de bordes usando lógica difusa (Dixit et al., 2018).	43
Figura 15. Localización de iris usando la Transformación de Hough Circular (Dixit et al., 2018).	44
Figura 16. Resultado de la segmentación de los vasos sanguíneos en un ojo normal (Xiong et al., 2018).	45
Figura 17. Función boceto en una imagen del fondo de catarata (Song et al., 2019).	49
Figura 18. Modelo propuesto de atención conjunta (Zhang et al., 2020).	51

Figura 19. Fotografías estándares del Sistema de Clasificación de Cataratas de Wisconsin (Gao et al., 2015).	52
Figura 20. Cámara con lámpara de hendidura (Patange et al., 2015).	53
Figura 21. Ultrasonido para detectar la catarata (Morales et al., 2016).	54
Figura 22. Imágenes de fondo de ojo con auto fluorescencia (Morales et al., 2016).	55
Figura 23. Representación en tercera dimensión usando Pentacam (Morales et al., 2016).	55
Figura 24. Sistema CATRA (Morales et al., 2016).	56
Figura 25. Porcentaje de precisión respecto al conjunto de características usadas (Fuadah et al., 2015).	61
Figura 26. Clasificación de Cataratas con Imágenes de Fondo de Ojo (Yang et al, 2016).	62
Figura 27. Clasificación de catarata usando una imagen de fondo de ojo. (Qiao et al., 2017).	70
Figura 28. Diferentes grados de catarata. (Zhou et al., 2019).	72
Figura 29. Catarata congénita (Morales et al., 2016).	74
Figura 30. Morfología de las cataratas seniles (Morales et al., 2016).	74
Figura 31. Lens Opacities Classification System (Morales et al., 2016).	75
Figura 32. Formación de la catarata dentro del lente ocular. (Shaheen et al., 2017).	75
Figura 33. Metodología de investigación.	85
Figura 34. Arquitectura de la Red neuronal convolucional Resnet-18.	89
Figura 35. Arquitectura del modelo propuesto.	89
Figura 36. Imagen de fondo original.	90
Figura 37. Imagen de fondo con filtro color verde.	90
Figura 38. Imagen de fondo con filtro de color verde y con la región de interés.	91
Figura 39. Imagen de fondo que pasará al entrenamiento.	91

Figura 40. Mejores parámetros para el clasificador SVM.	92
Figura 41. Sistema para diagnosticar la catarata propuesto.	94
Figura 42. Diagrama de casos de uso para la Sistema.	96
Figura 43. Arquitectura general del sistema.	103
Figura 44. Diagrama de estados.	103
Figura 45. Diagrama de despliegue.	104
Figura 46. Proceso de validación del modelo propuesto.	109
Figura 47. Flujo del proceso de validación.	110

Resumen

La catarata es una condición degenerativa del cristalino que se evidencia por el opacado de la visión. Este puede ser tratada en su edad temprana; sin embargo, en la mayoría de centros poblados no cuentan con los recursos económicos y médicos para poder realizar el diagnóstico necesario. Por este motivo, se propone una Aplicación Móvil que, a través del uso de la Inteligencia Artificial, diagnostique la presencia de catarata analizando imágenes de fondo usando una arquitectura de red neuronal convolucional (CNN), con el objetivo de brindar una solución confiable, accesible y portable, que beneficie a la comunidad médica. Así mismo, se consideran los resultados del estado del arte: Métodos (Automático y Manual), Características (Disco óptico y mácula, propiedades de la imagen, cristalino: núcleo y corteza, pupila, vasos sanguíneos), Clasificación (Grados, Ubicación y Congénita) y Obstáculos (Falta de recursos, falta de experiencia y demora en el diagnóstico). El sistema propuesto se realizó en 4 fases: Pre procesamiento de imágenes, Entrenamiento del modelo, Diseño del aplicativo móvil y Validación. Los resultados obtenidos demostraron que se puede diagnosticar la catarata con un 87% de precisión. Al integrarlo con una aplicación móvil permite que se puedan realizar estos diagnósticos de manera portable y de fácil acceso, especialmente en los lugares alejados de la ciudad.

Palabras Claves: Catarata, Redes Neuronales, Oftalmología, Diagnóstico.

Abstract

Cataract is a degenerative condition of the lens that is evidenced by cloudy vision. This can be treated at an early age; however, in most populated centers they do not have the financial and medical resources to be able to carry out the necessary diagnosis. For this reason, a Mobile Application is proposed that, through the use of Artificial Intelligence, diagnoses the presence of cataract by analyzing background images using a Convolutional Neural Network (CNN) architecture, with the aim of providing a reliable, accessible solution. and portable, benefiting the medical community. Likewise, the results of the study of the state of the art are considered: Methods (Automatic and Manual), Characteristics (Optical disc and macula, image properties, lens: nucleus and cortex, pupil, blood vessels), Classification (Degrees, Location and Congenital) and Obstacles (Lack of resources, lack of experience and delay in diagnosis). The proposed system was carried out in 4 phases: Pre-processing of images, Training of the model, Design of the mobile application and Validation. The results obtained showed that cataract can be diagnosed with 87% accuracy. By integrating it with a mobile application, it allows these diagnoses to be carried out in a portable and easily accessible way, especially in places far from the city.

Key words: Cataract, Machine Learning, ophthalmology, Diagnosis.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Antecedentes del problema

La catarata es una condición degenerativa que opaca la lente perdiendo su transparencia. Esto ocasiona una pérdida gradual y sin dolor de la visión. En las etapas tempranas de la formación de la catarata se experimenta cambios en la percepción del color, sensibilidad mayor al deslumbramiento y visión borrosa. La pérdida de la visión va a depender del tamaño y ubicación de la catarata. Las cirugías de cataratas son exitosas pero la prevención se puede lograr teniendo un buen estilo de vida. (Jamison, 2003).

La velocidad con la que se desarrollan las cataratas y su extensión siguen siendo muy variables de persona en persona. (Sodeman y Sodeman, 2005). Sin embargo, es en las personas de edad avanzada que se presenta con más frecuencia esta degeneración que provoca cataratas. Según estadísticas, en todo el mundo, aproximadamente el 51% de la ceguera es por personas de edad avanzada que no se trataron las cataratas (Erdumus, Simavli y Aydin, 2014).

Entre otros factores identificados existe: medicaciones, el cigarro, exceso de alcohol, obesidad, mala nutrición, hereditario o genético, trauma, diabetes, deficiencias vitamínicas, uso prolongado de aspirinas, exposición a los rayos UV, etc. Estos factores mencionados contribuyen, en distintas proporciones, a la formación de cataratas. Siendo la diabetes la más destacada entre estas (Abel, 2018).

Para poder clasificar la catarata existen esquemas como The Oxford Clinical Cataract Classification and Grading System o The Lens Opacities Classification System III. Generalmente, se clasifican en dos grandes grupos: cataratas congénitas y cataratas adquiridas. Para diagnosticar la catarata, los médicos pueden detectar la opacidad de la lente al examinar los segmentos anteriores del ojo mediante biomicroscopia con lámpara de hendidura. La dilatación pupilar puede proporcionar información adicional sobre el sitio y la extensión de las opacificaciones dentro de la lente, y se puede determinar su relación con el eje óptico del ojo. El paciente también debe someterse a pruebas de agudeza visual, refracción y sensibilidad al contraste mejor corregidas; medición de la presión intraocular; examen de las estructuras de otros segmentos anteriores, incluidos el iris y la córnea; y examen de fondo de ojo para posibles lesiones retinianas, que pueden

interferir con la agudeza visual final después de la cirugía (Erdumus, Simavli y Aydin, 2019).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Es posible implementar un sistema que pueda diagnosticar la catarata usando redes neuronales convolucionales?

1.2.2 Problemas específicos

- *PE1*: ¿Cuáles son las investigaciones recientes sobre la catarata?
- *PE2*: ¿Qué modelo de redes neuronales convolucionales podrá diagnosticar la catarata?
- *PE3*: ¿Es posible usar la ingeniería de software para crear este sistema?
- *PE4*: ¿Cómo poder validar la eficacia de este sistema?

1.3 Justificación

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), se estima que 1300 millones de personas viven con alguna deficiencia de visión de lejos o de cerca. En cuanto a la deficiencia de visión de lejos, 188,5 millones de personas tienen una deficiencia visual moderada, 217 millones tienen una deficiencia visual de moderada a grave y 36 millones son ciegas. A su vez, 826 millones de personas padecen deficiencia de la visión de cerca. Siendo la catarata la segunda causa principal de deficiencia visual.

Según su Visión 2020 de la OMS, por el incremento de la población y la longevidad tanto en países menos desarrollados como en los industrializados, incrementarán también los casos de cataratas.

En la Figura 1, observamos que estiman, para el 2020, más de 150 millones de personas con una deficiencia visual grave (<6/60) causadas por la catarata.

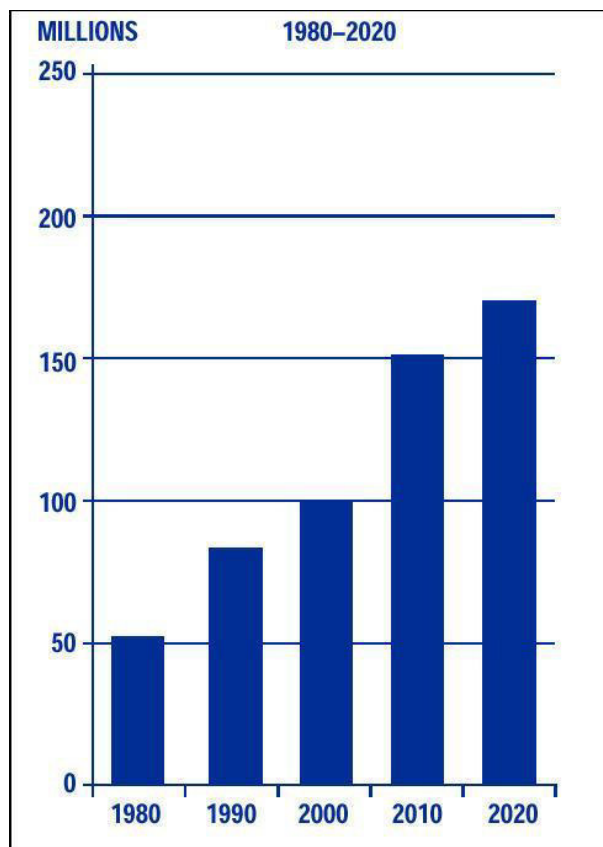


Figura 1. Estimaciones globales del número de ojos con $<6/60$ debido a catarata (Community eye health, 2000).

En el Perú, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el documento “PERU: ENFERMEDADES NO TRANSMISIBLES Y TRANSMISIBLES” del año 2019 (Proyectos INEI: Enfermedades No Transmisibles y Transmisibles, 2019), que fue elaborado con información recopilada en el Cuestionario de Salud de la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar, con una muestra de 36760 viviendas del país, con 33396 personas entrevistadas entre mujeres y hombre de 15 a más años de edad, muestra que el 16,7% de las personas encuestadas de 50 y más años de edad manifestó haber recibido el diagnóstico de catarata. En la Figura 2 se observa que este porcentaje ha incrementado levemente a través de los años. También se observa que el grupo de personas con 70 a más años tienen el mayor porcentaje de diagnóstico de catarata.

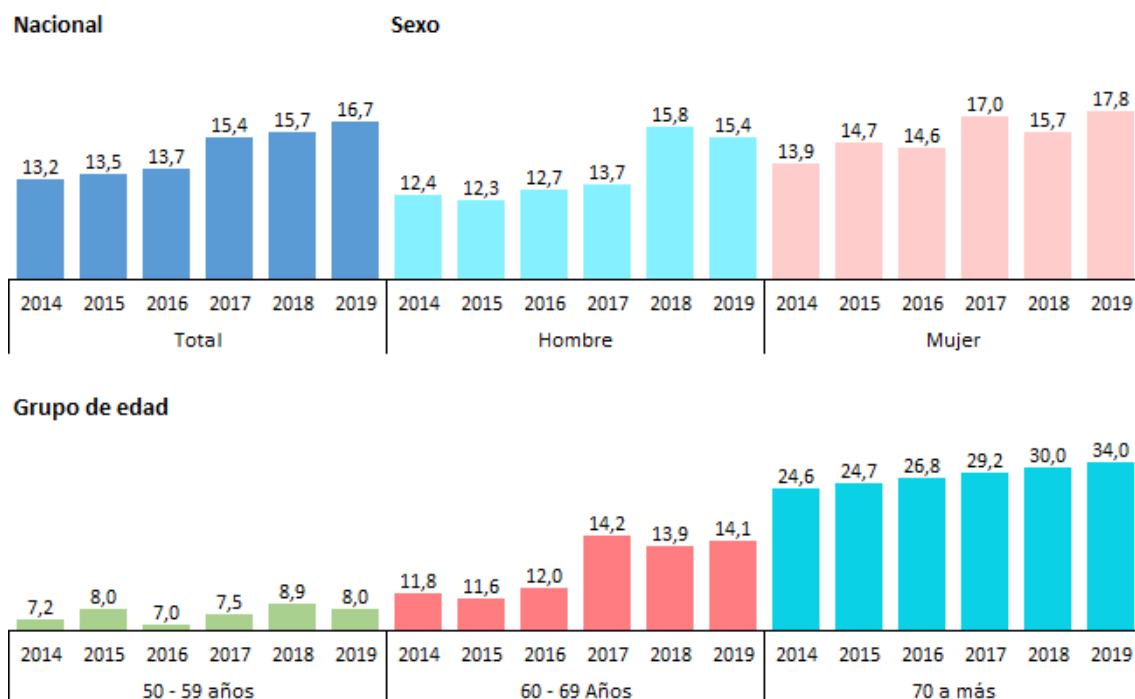


Figura 2. Personas de 50 y más años que recibieron el diagnóstico de cataratas, según sexo y grupo de edad, 2014-2019 (INEI, 2019).

En el informe de investigación titulado “La salud ocular en el Perú”, presentado por el Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria del Congreso de la República del Perú, describe la falta de servicios oftalmológicos y de profesionales para cubrir la demanda en las zonas que no sean Lima y Callao. Por lo que resaltan que es una tarea pendiente por resolver y de esa forma aumentar el acceso a este servicio dado al incremento previsto de la deficiencia visual. Por eso, desde el 2013 es tomada como una prioridad dentro de las políticas nacionales dadas por el Ministerio de Salud (Congreso del Perú, La Salud Ocular en el Perú, pp. 1 – 16).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

El objetivo de la presente tesis es implementar un sistema para el diagnóstico de catarata haciendo uso de redes neuronales convolucionales, con la finalidad de reducir los costos incurridos en esta evaluación e incrementar su acceso en los lugares donde no hay presencia de oftalmólogos o que no tienen la experiencia suficiente.

1.4.2 Objetivos específicos

Para poder cumplir con el objetivo general del presente trabajo se plantean los siguientes objetivos específicos:

- *OE1: Analizar las investigaciones recientes sobre el diagnóstico de catarata.*
- *OE2: Diseñar el modelo de Redes Neuronales Convolucionales para el diagnóstico de catarata.*
- *OE3: Crear el sistema siguiendo el ciclo de desarrollo de software y aplicando la ingeniería.*
- *OE4: Definir un proceso y métricas para validar la eficacia del sistema para diagnosticar la catarata.*

1.5 Organización de la tesis

La organización de la tesis será la siguiente: En el Capítulo 2 se abordará el estado de arte llevada a cabo sobre una metodología de investigación. El Capítulo 3 se centrará en la metodología de investigación para lograr los objetivos específicos. En el Capítulo 3 se desarrollará el aporte en base al análisis del estado del arte. En Capítulo 5 mostrará el proceso de validación y los resultados obtenidos. Finalmente, el Capítulo 6 resumirá las conclusiones.

Capítulo 2: Estado del arte

En este capítulo se presenta la revisión de la literatura aplicando una metodología de investigación. Las fases: planificación de la revisión, desarrollo de la revisión y análisis de la revisión. Además, se presenta una taxonomía aplicada para analizar los resultados obtenidos.

2.1 Revisión de la literatura sobre el diagnóstico de catarata

La revisión sistemática de literatura reciente sobre el diagnóstico de catarata se realiza aplicando los lineamientos de Wong et al (2017), compuesta por tres fases: planificación de la revisión, desarrollo de la revisión y análisis de la revisión.

2.1.1 Planificación de la revisión

Se formulan las siguientes preguntas con el fin de lograr el propósito de la investigación:

- P1: ¿Qué métodos existen para diagnosticar la catarata?
- P2: ¿Cuáles son las características que se consideran en el diagnóstico de catarata?
- P3: ¿Cuáles son las clasificaciones que se logran obtener tras los resultados encontrados?
- P4: ¿Cuáles son los obstáculos que se presentan al diagnosticar la catarata?

Los siguientes repositorios fueron usados con el fin de definir el protocolo de búsqueda: SCIENCE DIRECT, IEEE Xplorer Digital Library y ACM Digital Library. La investigación cubre el periodo desde enero del 2015 a diciembre de 2020.

La siguiente búsqueda fue utilizada usando el patrón TITLE-ABS-KEY (“Cataract diagnosis”) que aplica en el título, el resumen y las palabras clave. Luego, se aplicaron criterios de selección y exclusión mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios de selección y exclusión

<i>Criterios de selección</i>	<i>Criterios de exclusión</i>
Estudios que apliquen Máquinas de Aprendizajes en el diagnóstico de catarata.	Estudios que se encuentren en documentos que no sean Journals o Proceedings.
Factores que se consideran en el diagnóstico de catarata.	Estudios hechos en un idioma que no sea español o inglés.
Métodos para diagnosticar cataratas.	Estudios de cataratas en humanos.
Obstáculo al diagnosticar cataratas.	

2.1.2 Desarrollo de la revisión

Siguiendo los criterios establecidos en la Tabla 1, se realizó un proceso de selección entre los estudios resultantes de la búsqueda. Para conseguir esto, se evaluó previamente si el contenido era relevante y estaba de acorde a la finalidad. En la Figura 3 encontramos el flujo del proceso de revisión.

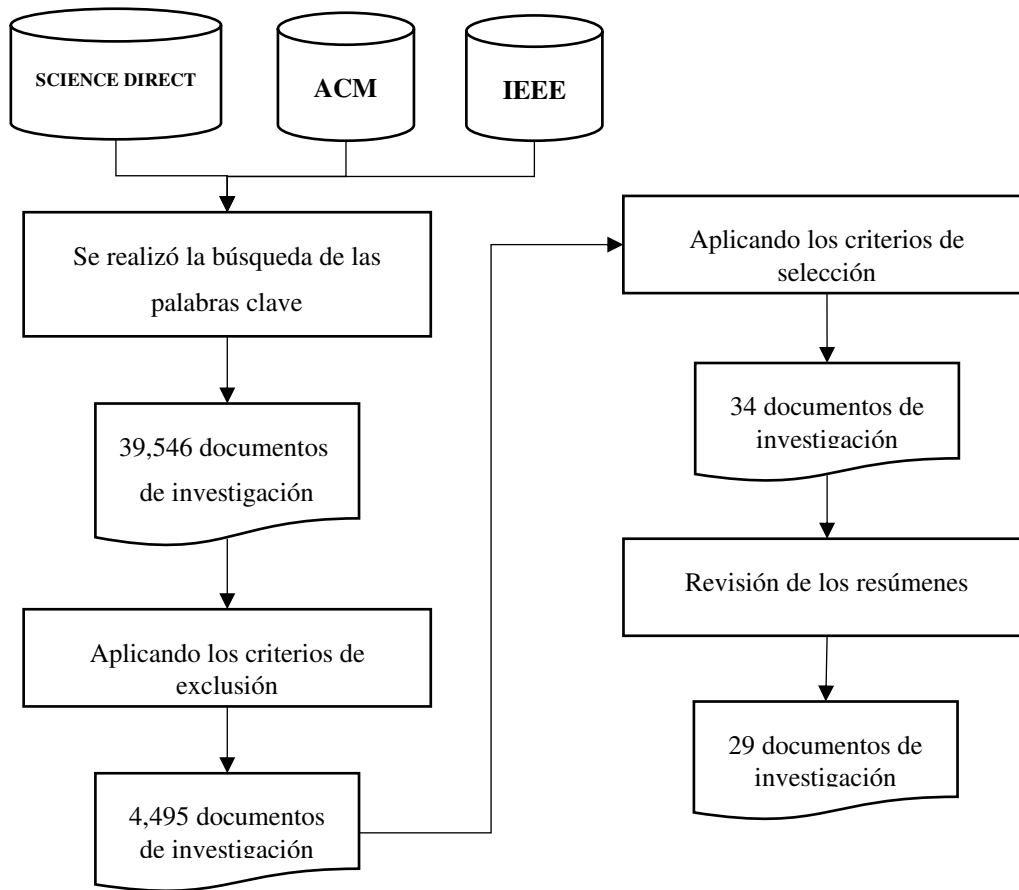


Figura 3. Proceso de revisión sistemática de literatura.

2.1.3 Resultados de la revisión

2.1.3.1 Tendencias de las publicaciones

El resultado del proceso de revisión sistemática fue de 39,546 estudios, de los cuales, 31 fueron seleccionados según los criterios de selección y exclusión. En la Tabla 2, es posible ver la cantidad de estudios seleccionados por repositorio.

Tabla 2. Estudios seleccionados

<i>Repositorio</i>	<i>Estudios potencialmente elegibles</i>	<i>Estudios seleccionados</i>
Science Direct	39240	6
IEEE	55	21
ACM	251	2
TOTAL	39546	29

Además, en la Figura 4 se presenta el número de estudios relacionados al diagnóstico en los años (2015 – 2020)

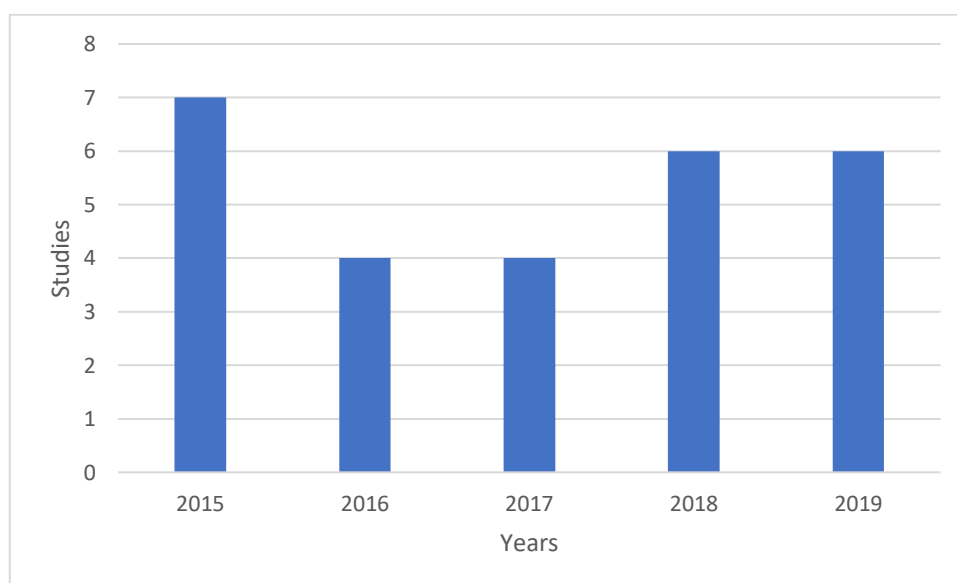


Figura 4. Estudios sobre diagnóstico de catarata en el periodo (2015 - 2020).

2.1.3.2 Fuente de datos

La Tabla 3 muestra las publicaciones hechas sobre el diagnóstico de catarata por tipo de fuente (Journal y Proceeding) de diferentes repositorios. Se observa que la mayoría de los estudios en Journals son de IEEE; sin embargo, solo se tienen 2 estudios en Proceedings. Lo que da como resultado que el 94% de estudios ha sido publicados en Journals.

Tabla 3. Publicaciones sobre el diagnóstico de catarata por tipo de fuente

	<i>Science Direct</i>	<i>IEEE</i>	<i>ACM</i>	<i>Total</i>	<i>Porcentaje</i>
Journal	6	10	2	28	96%
Proceeding	0	1	0	1	4%
TOTAL	6	21	2	29	100%

2.2 Análisis de los estudios

En esta sección, extraemos de la revisión de la literatura una taxonomía, mostrada en la Figura 5. Esta taxonomía está compuesta por 4 categorías: “Métodos”, “Características”, “Clasificación” y “Obstáculos”. Cada una de estas partes se relacionan a las preguntas de investigación hechas.

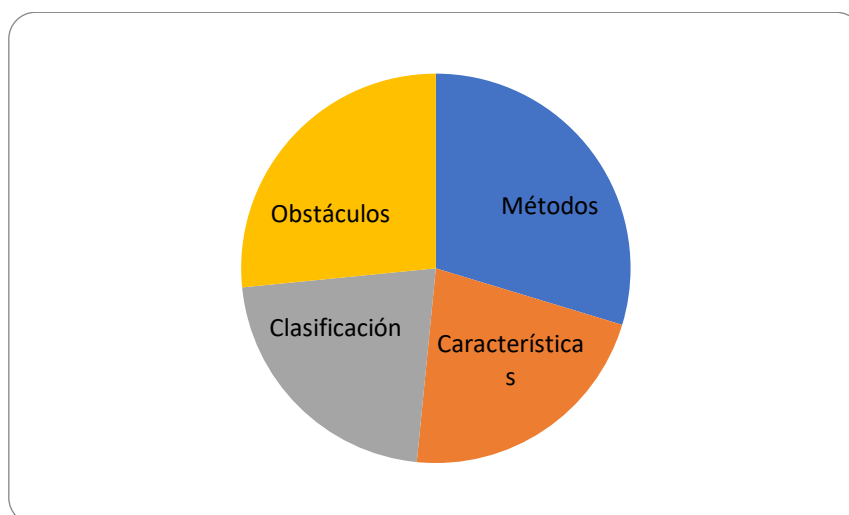


Figura 5. Taxonomía propuesta.

La clasificación “Métodos” nos permitirán conocer hasta ahora, qué métodos son usados para el diagnóstico de catarata. “Características” nos permitirá conocer qué características se consideran para diagnosticar la catarata. “Clasificación” nos permitirá conocer la clasificación de los resultados obtenidos. Finalmente, “Obstáculos” no permitirá conocer qué obstáculos existen hasta ahora en el diagnóstico de la catarata.

La Tabla 4 muestra los estudios encontrados en la revisión sistemática de la literatura de acuerdo con la clasificación del Marco de Trabajo propuesto y los repositorios usados.

Tabla 4. Clasificación de los estudios basados en la revisión sistemática de la literatura sobre el diagnóstico de catarata

<i>Clasificación</i>	<i>Fuentes</i>	<i>Total</i>
Métodos	Zheng, Guo y Peng. (2014), Gao, Lin, y Wong (2015), Patange y Jagadale (2015), Kaur, Kaur y Kaur (2015), Fuadah, Setiawan, Mengko y Budiman (2015), Guo, Yang, Peng, Li y Liang (2015), Harini y Bhanumathi (2016), Patil, Nair, Chavan y Jadhav (2016), Morales, Sanchez y Diaz (2016), Shaheen y Akram (2017), Qiao, Zhang Dong y Yang (2017), Rana y Galib (2017), Li, Hu, Imran, Zhang, Yang y Wang (2018), Cheng (2018), Dixit, Pathak, Raj, Naveen y Satpute (2018), Xiong, He, Niu, Zhang y Song (2018), Pratap y Kokil (2019), Song, Cao, Qiao, Wang y Yang (2019), Zhang, Lv, Zheng y Sang (2020)	19
Características	Zheng et al. (2014), Gao et al. (2015), Patange et al. (2015), Fuadah et al. (2015), Palomo y Puell (2015), Yang, Li, Shen y Zeng (2016), Erichsen, Mensah y Kessel (2017), Li et al. (2018), Xiong et al (2018), Li et al (2018), Sigit, Kom, Bayu, Kurnia y Si (2018), Zhou, Li y Li (2019), Zhang y He (2019)	13
Clasificación	Zheng et al. (2014), Patange et al. (2015), Chen, Tsai, Cheng, Lee y Chang (2015), Morales et al. (2016), Patil et al. (2016), Yang et al. (2016), Shaheen et al. (2017), Erichsen et al. (2017), Qiao et al. (2017), Lin, Li, Liu, Chen, Yang, Chen, Lin, Lai, Long, Wu, Lin, Zhu, Chen, Wu, Yu, Cao, Li, Li, Li, Wang, Yang, Hu, Zhang, Yu, Chen, Hu, Zhu, Jiang, Huang, Tan, Huang, Lin, Zhang, Luo, Liu, Liu, Cheng, Zheng, Wu, Chen y Liu (2019), Sigit et al (2018), Yusuf, Theophilous, Adejoke, Hassan, (2019), Zhou et al. (2019), Zhang et al. (2019)	14
Obstáculos	Zheng et al. (2014), Patange et al. (2015), Gao et al. (2015), Kaur et al. (2015), Fuadah et al. (2015), Guo et al. (2015), Morales et al. (2016), Patil et al. (2016), Erichsen et al. (2017), Xiong et al. (2018),	16

Li et al. (2018), Song et al. (2019), Zhou et al. (2019), Pratap et al. (2019), Yusuf et al (2019), Zhou et al. (2019)

2.2.1 Métodos

Esta clasificación nos dirá los métodos usados para el diagnóstico de catarata y que está relacionada con la primera pregunta de investigación P1. Esta clasificación está compuesta por dos partes: Manual y Automático (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de métodos para el diagnóstico de catarata

<i>Métodos</i>	<i>Fuentes</i>
Automático	Zheng et al. (2014), Gao et al. (2015), Patange et al. (2015), Kaur et al. (2015), Fuadah et al. (2015), Guo et al. (2015), Harini et al. (2016), Patil et al. (2016), Shaheen et al. (2017), Qiao et al. (2017), Rana et al. (2017), Li et al. (2018), Cheng et al. (2018), Dixit et al. (2018), Xiong et al.(2018), Pratap et al. (2019), Song et al. (2019), Zhang et al. (2020)
Manual	Gao et al. (2015), Patange et al. (2015), Morales et al. (2016), Rana et al. (2017)

2.2.1.1 Automático

- **Gao et al. (2015)**

Los autores proponen un aprendizaje automático de características para calificar cataratas nucleares basadas en el aprendizaje profundo, que es empleado en el procesamiento de imágenes médicas para el registro, segmentación y clasificación.

El problema que los autores encontraron es que los Métodos **automáticos** existentes para la clasificación de la severidad de la catarata usan un conjunto de características que podrían dar una representación incompleta, redundante, o hasta ruidosa.

Para solucionar el problema, los autores adoptaron un marco de aprendizaje profundo basado en redes neuronales recursivas convolucionales (CRNN, siglas en inglés) debido a su capacidad de extraer información semántica de alto orden de imágenes de un tamaño

realista. Esto es clave porque, cuando se tratan de imágenes médicas, es complicado obtener una cantidad suficientemente de datos para aprender tantos parámetros de manera efectiva. El CRNN es usado para aprender características automáticamente, y posteriormente aplicar una regresión vectorial de soporte (SVR, siglas en inglés) para obtener estimaciones de clasificación.

El trabajo propuesto por los autores consta de tres componentes: Región de Interés (ROI, siglas en inglés) y detección de estructura, aprendizaje de características y representación de imágenes, y clasificación. En la Figura 6, los autores describen las etapas de su trabajo propuesto: primero, se detecta la estructura del lente ocular y se segmentan sus secciones anatómicas; luego, se aplica el CRNN a cada sección para aprender una representación para esa parte de la lente. Finalmente, la SVR se aplica a las características concatenadas para estimar el grado de catarata.

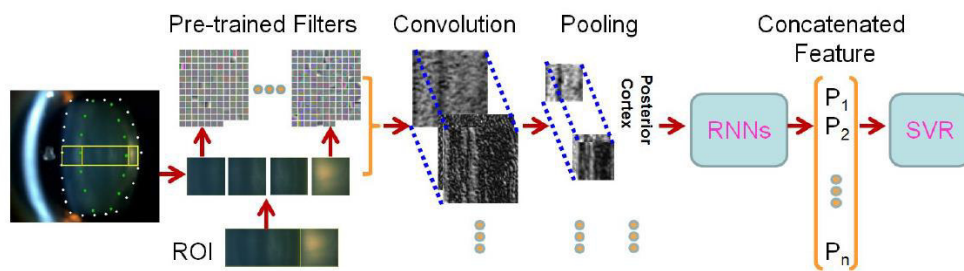


Figura 6. Etapas del Aprendizaje Profundo (Gao et al., 2015).

Para el experimento, los autores hicieron uso del conjunto de datos ACHIKO-NC compuesto por 5378 imágenes con puntajes de clasificación decimal que varían de 0.1 a 5.0. Estos puntajes fueron determinados por clasificadores profesionales basados en el protocolo Wisconsin. A más alto puntaje, mayor gravedad de catarata. Como las imágenes fueron adquiridas en un entorno controlado y las imágenes de los lentes oculares tienen una escala y estructura similar, el autor usa una escala única para representar las imágenes.

El enfoque propuesto por los autores proporciona evaluaciones objetivas a velocidades comparables a método de vanguardia, lo que lo hace útil para ayudar y mejorar el manejo clínico de la enfermedad en el contexto del cribado de grandes poblaciones.

En cuanto a tiempos de procesamiento, para una computadora de cuatro núcleos de procesador a 2,4 GHz con 24GB de RAM usada por el autor, para el entrenamiento con

100 imágenes fue de aproximadamente 1899 segundos, y para la predicción de una imagen demora 17 segundos.

Como conclusión de este trabajo, los autores lograron un índice de concordancia exacto (R_0) del 70.7% contra la clasificación integral clínica, un error de clasificación decimal del 88.4% ≤ 0.5 ($R_{e0.5}$), un error de clasificación integral del 99.0% ≤ 1.0 ($R_{e1.0}$) y 0.304 error absoluto medio. Se observa de la Tabla 6 que el método propuesto por los autores obtiene mejoras importantes sobre otros métodos automáticos en cuanto a la performance y la estimación de error.

Tabla 6. Comparación de performance entre métodos de clasificación de cataratas nucleares (Gao et al., 2015)

Method	R_0	$R_{e0.5}$	$R_{e1.0}$	ϵ
Proposed	0.707±0.009	0.884±0.010	0.990±0.001	0.304±0.009
[27]	0.686±0.009	0.865±0.010	0.991±0.001	0.322±0.009
BOF + GSR [26]	0.682±0.004	0.834±0.005	0.985±0.001	0.351±0.004
RBF ϵ -SVR [18]	0.658±0.014	0.824±0.016	0.981±0.004	0.354±0.014
our improvement over [26]	3.7%	6.0%	0.5%	13.4%
our improvement over [27]	3.1%	2.2%	-0.1%	5.6%

- **Patange et al. (2015)**

Los autores proponen un marco para la detección de cataratas y gradación de acuerdo con su gravedad de forma automática. El estudio hecho por los autores tiene como objetivo determinar si uno tiene catarata y, después de la detección, su gradación o severidad.

Su trabajo propuesto, por tanto, ayudará a detectar la catarata fácilmente y el porcentaje de opacidad encontrada en los ojos. Debido a que la catarata cortical tiene características que son fáciles de reconocer, el autor se enfoca solo en la detección de este tipo de catarata. Además, toma esta decisión porque este tipo de catarata solo necesita imágenes frontales del lente; por el contrario, otros tipos de catarata necesitan una vista anterior y posterior del lente.

Los autores proponen los siguientes pasos para la detección y gradación:

1. Adquisición de imágenes: Imágenes adquiridas usando lámparas de hendidura.
2. Extracción de pupila: La imagen obtenida contiene la pupila, que es donde se encuentra la catarata, y el iris. Por esta razón, se extrae de la imagen la pupila para poder detectar fácilmente la catarata, teniendo las características fundamentales

para realizarla. Los autores usaron el método de escaneo, que es efectivo y fácil, para detectar la pupila de la imagen y luego extraerla.

3. Extracción de características: Como ya se tiene el área donde se presenta la catarata, se extraen las características para detectar el tipo de catarata.
4. Detección y gradación de catarata: De acuerdo con la opacidad encontrada en la lente, se determina el grado de severidad (1, 2 y 3). Los autores dan la opción también para usar el protocolo de clasificación de Wisconsin que se basa en la técnica de medición de cuadrículas.

Como conclusión del estudio, los autores dicen que el método propuesto minimizará la variación en el inter e intra graduador en comparación a la detección manual y la gradación.

- **Kaur et al. (2015)**

Los autores, considerando que las tecnologías móviles están tomando lugar en el campo de la atención médica siendo una plataforma prometedora que ofrece soluciones rentables y escalables, dando movilidad para realizar monitoreos de forma remota, proponen diagnosticar la catarata de forma automática usando un teléfono inteligente con un micro lente integrado.

La propuesta de los autores cuenta con las siguientes características:

1. Captura imágenes de alta resolución de la retina con el microscopio conectado al teléfono inteligente.
2. Clasificación de las imágenes haciendo uso de Artificial RGB.
3. Detección en tiempo real para optimizar y exportar la detección de enfermedades de la retina utilizando dispositivos móviles Android.
4. Evaluación de la eficacia de la solución inteligente usando imágenes de dos bases de datos médicas de imágenes de retina.

Los autores hacen uso de redes neuronales para poder clasificar las imágenes de retina tanto normales como anormales. El algoritmo de redes neuronales fue entrenado para alcanzar una solución eficiente en tiempo real, primeramente, para estados sanos e infectados. Luego, los autores usaron un conjunto de datos de imágenes de retina para probar la red neuronal en una computadora. En la etapa de pruebas, los autores usaron el

micro lente para recolectar imágenes de retinas y diagnosticar. El beneficio al usar un micro lente es que le permite al sistema tomar imágenes claras de la retina.

Al usar el sistema operativo Android, los autores tuvieron acceso a modificar los parámetros del sistema operativo con el fin de:

- Ahorrar el consumo de la batería para incrementar la duración.
- Aumentar el ciclo de trabajo de la capacidad computacional
- Al desconectar los sensores para apagarlos, ejecutar la aplicación con la más alta prioridad.
- Aplicar una función de reposo y conservar energía cuando no actividad.

La interfaz de programación de Android puede controlar fácilmente el acceso a las funciones de procesamiento de imágenes y el aparato de micro lente con la cámara externa integrada.

Como conclusión, los autores encuentran esta solución útil, eficiente y de bajo costo para el monitoreo de la salud, y que sus características son muy notables a comparación de la cámara de fondo de ojos.

- **Fuadah et al. (2015)**

Los autores tienen como objetivo de su investigación encontrar la combinación óptima de análisis de características estadísticas que se utiliza para la detección automática de cataratas. Los autores proponen una hacer uso de estas características estadísticas en una aplicación móvil. El proceso general del sistema que proponen se muestra en la Figura 7.

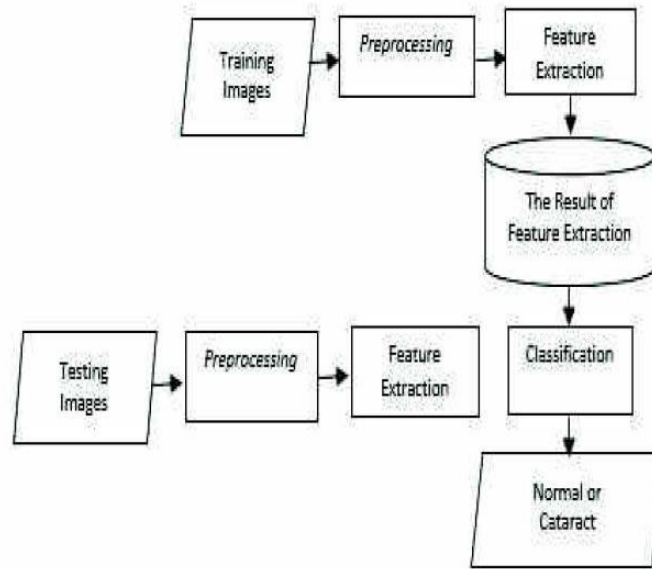


Figura 7. Proceso general del sistema (Fuadah et al., 2015).

En el proceso principal del sistema, los autores lo dividen en dos: Entrenamiento y pruebas. Ambos, tienen los mismos pasos: preprocesamiento, extracción de características, usando el análisis de textura estadísticas y clasificación, usando K-NN.

Para su investigación, los autores utilizaron 160 imágenes de ojos divididas en dos categorías: ojos con cataratas, con 80 imágenes, y ojos normales, igualmente con 80 imágenes. Para la etapa de entrenamiento se usaron 40 imágenes de ojos normales y 40 de ojos con catarata.

Para los autores, la etapa de preprocesamiento es clave porque la información que se necesita para identificar la catarata no se encuentra en los componentes de color en la imagen. Por eso, convierten las imágenes en formato de grises.

Para su estudio, los autores usan la Matriz de Coocurrencia de Nivel de Gris (GLCM, siglas en inglés) dado que este método es capaz de distinguir el ojo normal y el que tiene catarata. Este método puede capturar las características de las texturas, pero es necesario un análisis posterior para saber cuál de las combinaciones son las que tienen mejor rendimiento.

En la etapa de clasificación, los autores aplicaron K-NN debido a su simplicidad y bajo costo computacional. En la etapa de entrenamiento, los datos se proyectan en un espacio multidimensional, donde cada dimensión representa el resultado de extracción de

características de los datos. Este espacio se divide en las clases de ojos normales y con catarata. En la clasificación, el resultado de extracción de características de los datos de prueba también se proyectó en vectores en el espacio multidimensional y calcularon la similitud de los datos de prueba y entrenamiento al encontrar la distancia más cercana usando la distancia euclidiana.

Los autores crearon una interfaz que llamaron MCataract que incluye las funciones de tomar foto o cargar una imagen de la galería, recortar para obtener el área de la pupila, mostrar el área de la pupila obtenida y diagnosticar la condición de la imagen del ojo.

Como conclusión, los autores obtuvieron la combinación óptima para el análisis estadística de características: contraste, disimilitud y uniformidad. Para el clasificador K-NN el valor óptimo 1. Los autores obtuvieron una precisión del 97.5%. Como trabajo futuro, ellos quieren clasificar o detectar varios tipos de cataratas: inmadura, maduras e hiper maduras.

- **Guo et al. (2015)**

Los autores, en su investigación demuestran una posible solución de un sistema de salud asistido por computador para el análisis de imágenes de fondo de ojo y la clasificación de cataratas totalmente automática. El objetivo de los autores es reducir la carga de recursos escasos y mejorar la efectividad y eficiencia de la revisión de imágenes de fondo de ojo permitiendo que los pacientes con cataratas puedan recibir una clasificación preliminar y recibir sugerencias de los oftalmólogos de manera oportuna, conveniente e incluso remota.

Los autores proponen un marco de trabajo (Figura 8) con el fin de que este sistema sea rentable, permitiendo que múltiples tipos de proveedores de servicios de salud se unan de manera flexible y brinden atención médica de alta calidad a los pacientes en regiones remotas. El componente principal del marco de trabajo propuesto por los autores consta de tres partes: preprocesamiento de imágenes de fondo ojo, extracción de características y clasificación automática de cataratas.

El sistema de clasificación y graduación de cataratas propuestas por los autores recupera la imagen del fondo del servidor, realiza el análisis de la imagen y clasifica automáticamente la catarata, y devuelve el informe sobre los resultados, que le da al oftalmólogo una referencia a la condición de los pacientes. Las imágenes que no sean de

cataratas no son enviadas al oftalmólogo para su revisión, reduciendo la carga de trabajo y permitiendo que se dediquen más tiempo a paciente que realmente necesitan sus preocupaciones.

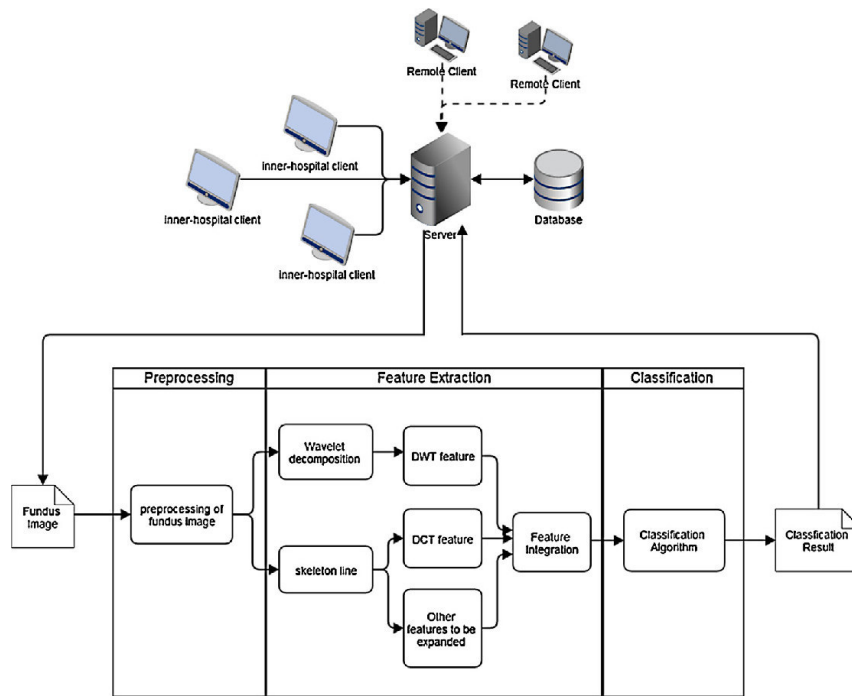


Figura 8. Marco de trabajo de un sistema de clasificación y graduación de catarata asistido por computadora (Guo et al., 2015).

En la clasificación de la imagen, los autores aplicaron la extracción de características para representar diferentes grados de cataratas. Dado que una imagen del fondo del ojo sin catarata muestra detalles claros de la estructura óptica y, en uno con catarata, estos detalles no son muy visibles, los autores aplican un enfoque intuitivo para seleccionar características sensibles a diferentes graduaciones de cataratas utilizando las características localizadas relacionadas con los componentes de alta frecuencia, como los detalles relacionados con bordes o pequeños picos repentinos. Para este análisis, los autores eligen la transformada discreta de wavelet y la transformada discreta de coseno.

Para la etapa de evaluación, los autores, recolectaron 445 imágenes de fondo de ojo – 199 de no catarata, 148 de catarata leve, 71 de catarata moderada y 27 de catarata severa – para construir el conjunto de datos para el entrenamiento y prueba del clasificador. Usaron el 70% de las imágenes para el conjunto de datos de entrenamientos y el otro 30% para la prueba.

Los autores encontraron que la media de la tasa de clasificación correcta para la clasificación de dos clases es del 90.9%. Mientras que la media de la tasa de clasificación correcta para la graduación de cataratas es del 77.1%.

En la Figura 9, apreciamos el piloto que llevaron a cabo los autores que se compone de tres partes: Hospitales comunitarios, centros de optometría y anteojos, o centros de examen físico donde existen enfermeras o médicos que saben operar los instrumentos para el examen oftálmico; hospitales oftalmológicos o departamentos de oftalmología en hospitales donde hay expertos oftálmicos u oftalmólogos que brindan la atención médica como verificación de imágenes de fondo de ojo, el diagnóstico de la enfermedad oftálmica y recomendaciones de tratamiento; centro de revisión de imágenes o laboratorios oftálmicos con el sistema de archivo y comunicación de imágenes donde hay inspectores oftálmicos o técnicos específicos para la verificación de imágenes de fondo de ojo.

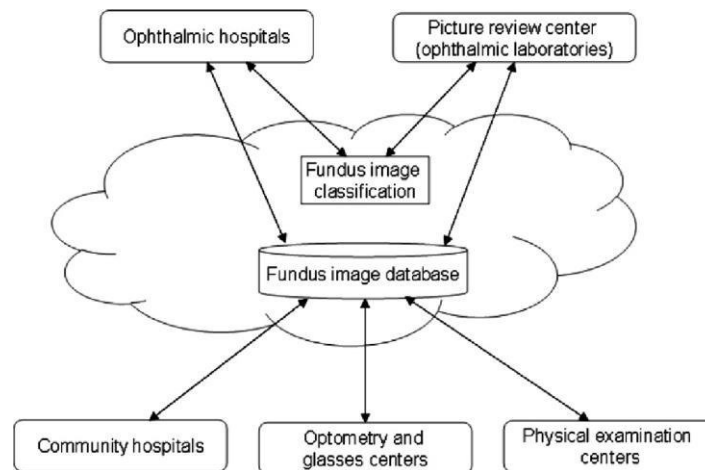


Figura 9. Aplicación en el mundo real de un sistema aplicado por computadora para la clasificación de cataratas (Guo et al., 2015).

En la ejecución del piloto de los autores, cada vez que un paciente se realizaba una revisión oftálmica, las imágenes del fondo de ojo se almacenaban de forma remota en el sistema. Luego, se activa el componente de clasificación de imágenes de fondo de ojo. Cuando la clasificación de dos clases determina que es catarata, se notifica al técnico de laboratorio para su validación. El resultado es correcto, se envía un correo electrónico al paciente potencial para informarle y se le adjunta el contacto de oftalmólogo para obtener instrucción de la intervención temprana.

Los autores rescatan dos ventajas de su solución:

- Eficacia de la revisión de imágenes de fondo de ojo reduciendo la carga de trabajo del oftalmólogo mejorando la atención a los pacientes potenciales logrando una intervención temprana.
- Mejor calidad de la atención médica porque los resultados se validan dos veces mejorando la tasa de corrección del diagnóstico de cataratas, y reducción en el tiempo de respuesta con una mejora en la experiencia médica.

• **Harini et al. (2016)**

Los autores proponen en su investigación un sistema de clasificación y graduación automático basado en el análisis de imágenes de fondo de ojo para todos los tipos de cataratas. En base a que las imágenes de fondo de ojo les permiten visualizar los vasos sanguíneos, si estos son claramente visibles, significa que no hay cataratas. Por ende, si la visibilidad de estos disminuye, aumenta la gravedad de la catarata.

Los autores no contemplan un diagnóstico común para todos los tipos de caratas disponible en las literaturas. En cuanto a la literatura disponible en ese tiempo, se usaban imágenes de lámpara de hendidura y retroiluminación; sin embargo, no son eficiente. En cambio, el sistema automático de clasificación que proponen los autores usa imágenes de fondo de ojo, que es confiable, fácil de usar. En la Figura 10, podemos ver los pasos en el sistema que proponen para el diagnóstico automático: Preprocesamiento, descomposición de Wavelet, detección de bordes, algoritmo de clasificación y el resultado de la clasificación.

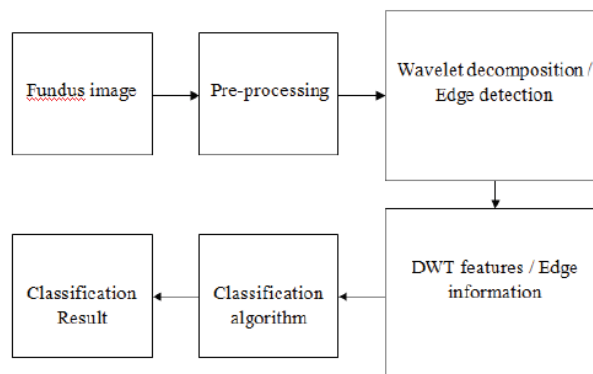


Figura 10. Sistema automático de clasificación de catarata (Harini et al., 2016).

Los autores primero hacen el preprocesamiento de la imagen para mejorar la apariencia visual de las imágenes y para mejorar la manipulación de conjunto de datos. Según ellos, los pasos básicos que se siguen son la eliminación de ruido y las operaciones matemáticas. Sin embargo, dado que las imágenes utilizadas son capturadas por una cámara de alta calidad, no hay ruido en estas. Por lo tanto, para los autores es suficiente aplicar un filtro medio para anular el ruido gaussiano que afecta a la imagen durante la transmisión.

Para el siguiente paso, los autores utilizan la transformación Wavelet para proporcionar un alto contraste entre los vasos sanguíneos y los fondos. Como función madre usan la transformación Wavelet de Haar debido a su fácil implementación con el fin de descomponer la imagen en 3 niveles y distinguir los componentes de alta frecuencia del componente de baja frecuencia que representa el fondo.

Luego, los autores aplican la detección de bordes canny a la imagen preprocesada para luego contar los componentes conectados. Para un ojo normal, hay una continuidad de los objetos presentes, por ende, un número promedio de objetos.

Para la clasificación, los autores separan las imágenes normales y anormales usando el algoritmo clasificador SVM. Con las imágenes anormales, el SVM puede clasificar a su vez si es una catarata moderada o grave. La razón de la elección de los autores de este clasificador es que minimiza el riesgo empírico y evita el problema de sobreajuste; ergo, se consigue un buen rendimiento.

Como conclusión, los autores comprueban la eficacia de su propuesta con un análisis de simulación obteniendo una sensibilidad de 90% y una especificidad del 93,33%. Como trabajo futuro, se proponen hacer una mejora en el sistema para que pueda identificar más trastornos oculares usando clasificadores de clases múltiples como redes neuronales y clasificadoras neuro-difusas.

- **Patil et al. (2016)**

Los autores realizan una revisión de literatura para clasificar varias técnicas **automáticas** establecidas e implementadas hasta ahora en base a tres pasos básicos: preprocesamiento, extracción de características y construcción del clasificador. A su vez, los autores también destacan las ventajas y desventajas de estas técnicas.

Los autores descubrieron que el uso de imágenes de fondo de ojo y del algoritmo Adaboost como clasificador proporcionan los resultados más precisos en comparación a las otras técnicas analizadas.

Los autores concluyen en que pesar de los buenos resultados que se puedan obtener con estas técnicas, la fuente de análisis son las imágenes obtenidas con lámpara de hendidura y las imágenes de fondo de ojo tienen sus desventajas. La primera fuente es costosa y menos precisa puesto que solo se puede clasificar una clase específica de catarata. Por otro lado, la segunda fuente es eficiente pero no portátil y consume tiempo. Por esta razón, los autores ven la necesidad de implementar un sistema que tenga un algoritmo eficiente que también sea portátil y sea utilizado en teléfonos inteligentes por personas remotas con una cantidad mínima de detección.

- **Shaheen et al. (2017)**

Los autores proponen un marco de software para proporcionar una solución fácil de usar para los profesionales de la salud que trabajan en el campo de la detección y clasificación de cataratas. Esta propuesta la hacen en razón que a pesar de que existen investigaciones que proponen técnicas, algoritmos y métodos, tienen un enfoque distinto en lo que es el diagnóstico y clasificación de catarata lo que hay necesidad de que se integren en un marco de aplicación única.

Los autores analizan trabajos previos sobre el diagnóstico y clasificación automático encontrando la necesidad de un sistema totalmente automatizado para clasificar cataratas basadas en los protocolos de clasificación estándar. Ellos identifican que los sistemas de clasificación desarrollada hasta el momento solo podían clasificar solo un tipo de catarata. Por esta razón, el objetivo de la propuesta de los autores es proporcionar una solución de software completa para oftalmólogos y clínicos para la detección y clasificación automática de tres tipos de catarata con múltiples protocolos de clasificación.

El marco propuesto por los autores está diseñado para proporcionar una interfaz fácil de usar para que los profesionales de la salud realicen la tarea de detección y clasificación de cataratas. En la Figura 11 podemos observar el diagrama general del marco propuesto por los autores.

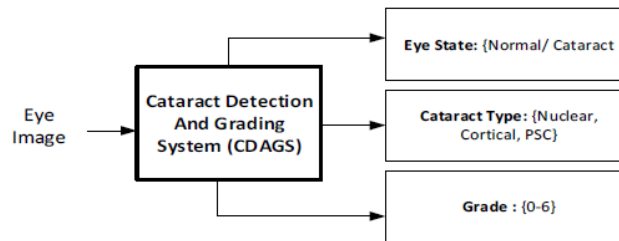


Figura 11. Diagrama general del sistema de diagnóstico y clasificación de catarata (Shaheen et al., 2017).

El sistema tiene las siguientes salidas:

- Detección de cataratas como normal o catarata.
- Detección de tipo de catarata como catarata nuclear, catarata cortical, catarata subcapsular posterior.
- Clasificar la catarata del 1 al 6 en función de los sistemas de clasificación.
- Nivel de gravedad como inmaduro, maduro e hipermaduro.

El marco propuesto por los autores se descompone en tres subsistemas principales (Figura 12): El Sistema de detección de cataratas (CDS), el Sistema de clasificación de cataratas (CGS) y el Sistema de detección de nivel de gravedad (SLDS). Estos subsistemas están diseñados siguiendo el enfoque de Ingeniería de Software basada en componentes (CBSE) en el que todos los componentes son entidades ejecutables independientes y pueden integrarse mediante interfaces bien definidas para realizar una tarea.

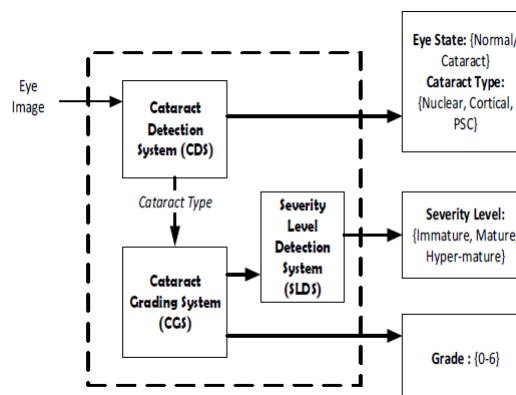


Figura 12. Diagrama de componentes del sistema de diagnóstico y clasificación de catarata (Shaheen et al., 2017).

El Sistema de detección de cataratas (CDS) tiene la responsabilidad primaria de detectar si la imagen del ojo es de uno normal o con presencia de catarata. En caso sea un ojo normal, el resultado es comunicado al usuario; caso contrario, el CDS también tiene la responsabilidad de detectar el tipo de catarata y llamar al Sistema de clasificación de cataratas (CGS) para determinar el tipo de catarata.

El sistema de clasificación de cataratas (CGS) tiene la responsabilidad de clasificar la catarata según el tipo de catarata y protocolo de clasificación: LOCS II, el Sistema de Clasificación Wisconsin y el Sistema de clasificación clínica de la OMS. El usuario puede elegir el protocolo de clasificación de su elección para clasificar la catarata.

Los autores concluyen que su propuesta mejorará la objetividad de la clasificación clínica de cataratas mediante la automatización de sistemas de clasificación universalmente aceptados. Ayudará a los médicos de poca experiencia para poder aprender los procedimientos de diagnóstico de la clasificación de cataratas. Como trabajo futuro, los autores planean agregar otros tipos de imágenes utilizados, mejorar los métodos y técnicas para obtener una mayor precisión.

- **Qiao et al. (2017)**

Los autores proponen un clasificador SVM basado en un algoritmo genético para la ponderación de características aplicado al diagnóstico y clasificación automático de catarata. Los autores hallaron que las investigaciones hechas previamente están enfocadas en el procesamiento de imágenes, pero pocas analizan la información reflejada en las imágenes del fondo de ojo desde la perspectiva de un médico profesional. Con la dirección que le dan a su investigación le dan una gran importancia práctica. Como también aligerar la carga de trabajo de los oftalmólogos, mejorar la eficiencia de su trabajo y ahorrar recursos laborales.

La elección del algoritmo por parte de los autores fue porque cuando se realiza un preprocesamiento de la imagen se descartan muchos detalles, lo que resulta en la pérdida de la autenticidad; a su vez, los pesos de cada característica no son necesariamente idénticos cuando se mezclan varias características.

Una de las partes de su implementación es la segmentación de la imagen. La razón de esto es porque la segmentación de la imagen es insensible a los cambios en la información de los vasos sanguíneos y la iluminación de las imágenes de fondo. Por ende, si la imagen

es dividida y los vectores de características de cada subimagen puede también formar el vector característica completo que representa la imagen completa, la información en la imagen será más completamente utilizada. Otra parte de la implementación es la extracción de características. Los autores usan tres: color, textura y la transformación Wavelet. La importancia de cada característica en la descripción de la información no es la misma. Diferentes pesos resultarán en una precisión de clasificación diferente. Para obtener una mayor precisión, los autores diseñaron un algoritmo de optimización para calcular un conjunto de pesos óptimos.

Para la experimentación, los autores llevaron dos grupos de experimentos. En el primero, las imágenes se clasifican en dos categorías que son normales y anormales. En el segundo, las imágenes se clasifican en cuatro categorías, que son normales, leves, moderadas y severas.

La precisión alcanzada por los autores fue: 95.33% en las dos categorías y 87.52% en las cuatro categorías, obteniendo un avance de 2.13% en las dos categorías y 3.52% en las cuatro categorías comparado con previos trabajos.

Los autores concluyen que se dio un gran paso en la aplicación práctica del clasificador mejorado. El algoritmo omite los pasos tediosos del tradicional que necesita preprocesar las imágenes, extraer y calcular las características directamente. Con esto consiguen que la autenticidad de las imágenes originales se conserve. Por otra parte, los autores encontraron que el cálculo que realizan para el peso óptimo lleva mucho tiempo y el periodo iterativo es largo.

- **Rana et al. (2017)**

Los autores proponen utilizar un teléfono inteligente para que el público en general tenga la capacidad de usar una aplicación móvil para realizar un examen de cataratas sin la ayuda de un profesional terapéutico. Los autores tienen como objetivo desarrollar este software para detectar de manera automática las cataratas en vivo usando la cámara. Esto no supone sustituir la detección de un experto. Lo que los autores quieren es que las personas puedan tener una autoevaluación de manera que, con un descubrimiento temprano, el paciente pueda buscar una evaluación profesional para afirmar.

En la Figura 13, tenemos el diagrama de flujo de la propuesta de los autores. Empieza cuando es ejecutada la aplicación que abre la cámara detectando la cara y los ojos; luego,

la pantalla de la cámara se divide en dos planos con un ojo en cada uno. El siempre paso es cortar la pupila y determinar el color de las pupilas. Una vez determinado, se compara el color con los colores existentes en una base de datos para determinar la presencia o no de la catarata.

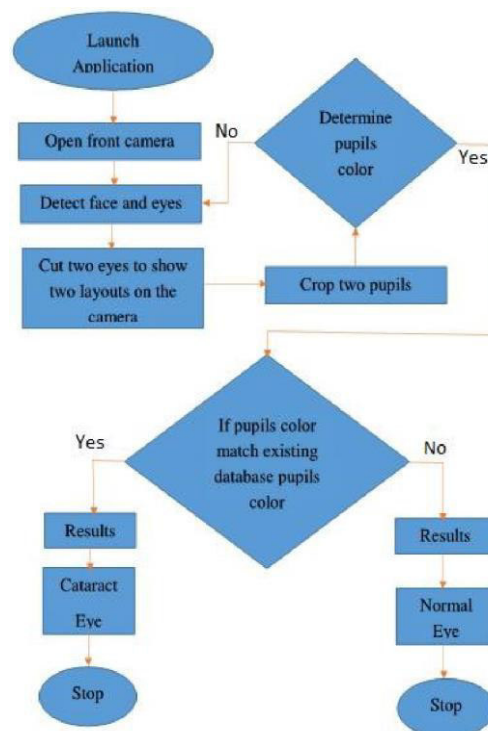


Figura 13. Diagrama de flujo del modelo propuesto (Rana et al., 2017).

A continuación, se listan los parámetros para determinar el resultado considerados por los autores:

- Si el color de pupila es menor o igual al color de la base de datos y menos o igual a 50, el color es gris oscuro y ojo normal.
- Si el color de pupila es menor o igual al color de la base de datos y mayor que 50 pero menor que 120, el color es gris medio y catarata en etapa 1.
- Si el color de pupila es menor o igual al color de la base de datos y mayor que 120 pero menor que 200, el color es gris claro y catarata en etapa 2.
- Si el color de pupila es menor o igual al color de la base de datos y mayor que 200, el color es gris claro y catarata en etapa 3.

Para la experimentación, los autores lo realizaron con 50 personas. 20 de estas tienen cataratas y 30 de estas tienen ojos normales. Su resultado de la evaluación indica que el sistema muestra tasas de precisión competitivas de detección de la enfermedad de la retina superiores al 90%.

Los autores concluyen que el enfoque de desarrollar una aplicación móvil para la detección temprana es posible.

- **Li et al. (2018)**

Los autores proponen un algoritmo de segmentación de imagen de fondo de retina basado en un Red Totalmente Convolutiva (FCN, siglas en inglés). Este método es capaz de un aprendizaje funcional automático e identifica las imágenes del fondo vascular de la catarata.

Los autores analizan los métodos existentes de segmentación de los vasos sanguíneos de la retina: métodos supervisados y no supervisados. En los métodos supervisados, encuentran deficiencias propias de los métodos que les impide detectar pequeños vasos sanguíneos. En los métodos no supervisados, encuentran que su segmentación es sensible al ruido en las imágenes y su rendimiento es bajo.

Los autores explican que los estudios usualmente utilizan un conjunto de características heurísticas que a menudo se extraen manualmente. Por esta razón, los autores proponen usar una red neuronal convolutiva completa para identificar los vasos sanguíneos. Esta red neuronal puede realizar el aprendizaje automático de características y es capaz de lograr un mejor rendimiento. Adicionalmente, lograr clasificación precisa puesto que extiende más la clasificación de imagen a píxel que una red neuronal convolutiva clásica. Esto útil al momento también de trabajar con imágenes borrosas.

Para su desarrollo los autores consideran los siguientes pasos:

- Preprocesamiento

Las imágenes usadas por los autores son imágenes del fondo de ojo a color. Según los autores, el procesamiento de imágenes se basa en una imagen en escala de grises. Por eso en esta etapa convierten la imagen de color a una imagen en escala

de grises. Los autores seleccionan el canal del color verde pues da un mejor contraste, brillo en la imagen, y menos ruido.

➤ Mejora de la imagen

Los autores emplearon el método de ecualización de histograma para mejorar la calidad de la imagen con el fin de que los vasos sanguíneos puedan ser visibles. Este método ajusta automáticamente la calidad de contraste de las imágenes mediante la transformación en escala de grises.

➤ Red neuronal convolucional Completa

Según los autores, esta red neuronal puede aceptar una imagen de cualquier tamaño como entrada final. Esta realiza un muestreo ascendente en el mapa de características de la última capa convolucional para restaurarla al tamaño de la imagen original. A su vez, puede generar predicciones para cada píxel, mientras se conserva la información espacial en la imagen original. Esto permite tener una predicción de categoría para cada píxel; por lo tanto, mejorar la precisión del reconocimiento del límite de los vasos y así mejorando en grandemente la precisión del reconocimiento de los vasos sanguíneos, especialmente para las imágenes de fondo de ojo.

Para la etapa de experimentación, los autores tuvieron una base de datos de imágenes de fondo de ojo con 5620 casos de pacientes con cataratas, que fueron clasificadas por oftalmólogos en un intervalo de 5 a seis años. La clasificación es de cuatro tipos: normal, leve, moderada y severa. Estas son representadas como grado 0, 1, 2 y 3.

Para la etapa de implementación, los autores estuvieron equipados con un procesador E5-2609, una memoria RAM de 8GB, una tarjeta gráfica Quadro K620 y el sistema operativo Ubuntu 16.

Para su conclusión, los autores descubrieron que el método propuesto ha mostrado un efecto de segmentación decente con las imágenes de grado 1 y 2. En cambio, para las imágenes de grado 3 tuvo un efecto adverso. Esto se debe a que tuvieron menor cantidad de imágenes para este grado (catarata severa) y anotaciones manuales no necesariamente precisas.

- **Cheng (2018)**

Los autores, inspirados por el proceso de clasificación manual por parte de los médicos, propusieron un algoritmo de aprendizaje disperso para la clasificación de imágenes. El aprendizaje disperso es un método de aprendizaje de representación que tiene objetivo encontrar una representación dispersa de los datos de entrada en forma de una combinación lineal de elementos básicos.

Los autores con su investigación tuvieron las siguientes contribuciones:

- Un nuevo término de regularización llamado restricción de rango para regularizar el cálculo de los grados de las imágenes médicas.
- Un nuevo método, que es una combinación entre la restricción de rango y el aprendizaje disperso, llamado SRCL.
- El método SRCL tiene dos aplicaciones: cálculo de la relación copa-disco y la clasificación de cataratas. El método mejora la precisión de cada uno.
- El método tiene un enfoque general y puede ampliarse para otras aplicaciones de clasificación de imágenes médicas.

Como primer paso, los autores tuvieron que reconstruir las imágenes de pruebas. El segundo paso fue calcular la clasificación basada en los coeficientes de reconstrucción.

Los autores usaron el conjunto de datos ACHIKO-NC, que contiene 5378 imágenes con puntajes de clasificación decimal basados en el protocolo de Wisconsin: 94 imágenes de puntaje integral 1, 1874 imágenes con puntaje integral 2, 2476 imágenes de puntaje integral 3, 897 imágenes de puntaje integral 4 y 37 imágenes de puntaje integral 5. De este conjunto de datos, los autores usaron 340 imágenes seleccionadas aleatoriamente, conteniendo imágenes de los grados 1 al 5 con las cantidades de 20, 100, 100, 100 y 20 respectivamente. El número restante de imágenes fueron usadas para las pruebas.

Como conclusión, los autores obtuvieron resultados favorables para el método propuesta en efectividad y rendimiento. Sin embargo, tiene la limitante de ser altamente costosa computacionalmente y que el ruido en la imagen afecta el rendimiento lo que haría

necesario aplicar algoritmos para eliminar el ruido antes o durante la extracción de características.

- **Dixit et al. (2018)**

Los autores propusieron un algoritmo de localización de iris que utiliza la estimación de bordes basada en lógica difusa como entrada para el algoritmo de transformación de Hough. Los autores declaran que es de suma importancia un algoritmo de localización de iris robusto, automatizado y confiable para lograr una detección automática de catarata.

Para el preprocesamiento de la imagen, los autores utilizan el filtrado 2D-Gaussiano para obtener una imagen suavizada. El gradiente de la imagen produce un componente de detalle horizontal y un componente de detalle vertical de la imagen para definir las funciones de pertenencia del modelo de estimación de bordes basado en lógica difusa. En la Figura 14 podemos observar el resultado de aplicar la lógica difusa.

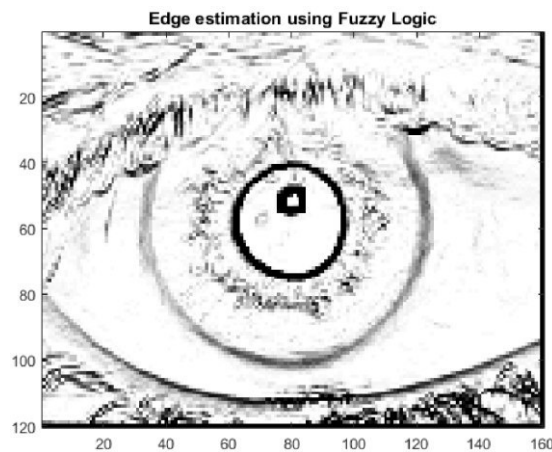


Figura 14. Estimación de bordes usando lógica difusa (Dixit et al., 2018).

Para la localización y posterior extracción de la pupila, los autores usan la transformación de Hough circular, que es una especialización de la transformación de Hough para detectar círculos. En la Figura 15 podemos observar el resultado de aplicar la transformación de Hough circular. La imagen original usada era de 24 bits que es convertida inicialmente a una escala de grises de 8 bits de tamaño 160x120 píxeles.

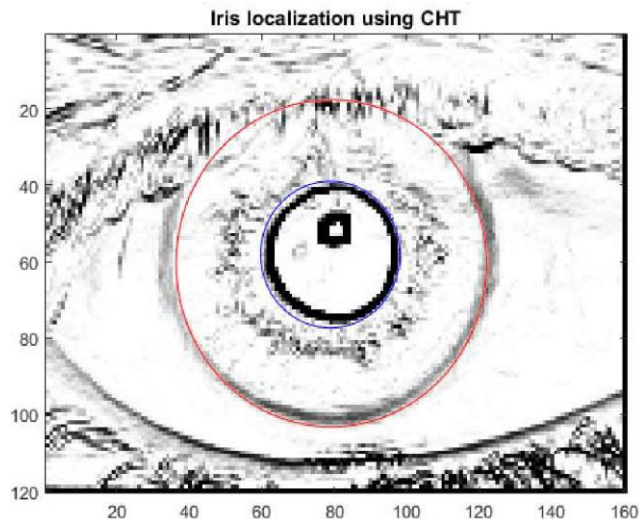


Figura 15. Localización de iris usando la Transformación de Hough Circular (Dixit et al., 2018).

Los autores usan la base de datos MMU1 con 450 imágenes oculares de tamaño de 320x240 píxeles en formato de mapa de bits y la base de datos UTIRIS de 792 imágenes de ojos en escala de grises Near Infra-Red (NIR) de tamaño 1000x776 píxeles en mapa de bits. Para poder reducir la carga computacional, los autores redimensionaron a un formato de mapa de bits de 160x120 píxeles las imágenes.

Los autores obtuvieron como resultado de localización de iris en 434 imágenes de 450 de la primera base de datos logrando una precisión de 96.44% y 762 imágenes de 792 de la segunda logrando una precisión de 96.21%. A su vez, algunas fallas en la localización se debieron a imágenes tomadas inapropiadamente.

- **Xiong et al. (2018)**

Los autores proponen un esquema basado en SVM para clasificar la catarata en seis clasificaciones (0 al 5, donde 0 no es catarata), las cuales le ayudarían a los doctores a dar una propuesta de tratamiento más específico. Para los autores la característica clave para determinar el grado de la catarata es la visibilidad de los vasos sanguíneos de las imágenes de fondo.

Como primer paso, los autores aplicaron un filtro medio a gran escala en el canal verde para obtener el fondo de la imagen, que contiene el componente de baja frecuencia de la imagen original, para luego sustraer la imagen original del fondo de la imagen para

obtener el componente de alta frecuencia. Luego, eliminan el anillo blanco multiplicando la imagen obtenida y la imagen preliminar de los vasos sanguíneos por píxel. Los resultados de la segmentación de los vasos sanguíneos en un ojo normal se muestran en la Figura 16.

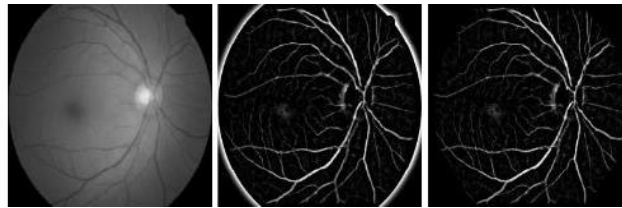


Figura 16. Resultado de la segmentación de los vasos sanguíneos en un ojo normal (Xiong et al., 2018).

La clasificación propuesta por los autores se basa en la fusión de dos tipos de características: textura, que refleja la homogeneidad de la imagen, y de alto nivel o abstractas. Los autores utilizan la matriz de coincidencia de nivel de grises (GLCM) para extraer las características de textura y el modelo ResNet-18 pre entrenado para obtener las características de alto nivel. Al extraer estas dos características, se combinan y luego se aplica el clasificador SVM. El conjunto de datos que usan los autores consta de 1352 imágenes de fondo de ojo y se redimensionaron a 512 x 512.

Los resultados obtenidos de este trabajo fue que pudo clasificar en seis clasificaciones con una precisión promedio de 91.5% y con una clasificación en cuatro clasificaciones una precisión promedio de 93.5%.

- **Pratap et al. (2019)**

Los autores centran su investigación en la clasificación automática de catarata a partir de imágenes digitales de fondo. La metodología que ellos aplican se divide en cuatro pasos: selección de calidad de imagen, preprocesamiento, extracción de características y clasificación.

En la selección de calidad de imagen, los autores resaltan el papel importante de la calidad de la imagen en los algoritmos de aprendizaje porque puede existir una degradación en el rendimiento de un clasificador cuando hay una diferencia en la calidad de las imágenes en el conjunto de entrenamiento y el conjunto de prueba. Los autores hacen uso de un módulo que filtra las imágenes de fondo con una buena calidad para un diagnóstico

posterior, aplicando evaluadores de calidad de imagen sin referencia como el de naturalidad (NIQE) y basado en la percepción (PIQE). Estos evaluadores cuando tienen una puntuación baja significan que la imagen es de buena calidad y cuando tienen una puntuación alta significan que la imagen es de baja calidad. Los autores solo usaron las imágenes que lograron un puntaje menor o igual a 5 para el evaluador NIQE y un puntaje menor o igual a 50 para el evaluador PIQE para la fase de entrenamiento y prueba.

En el preprocesamiento, los autores extraen el canal del color verde de la imagen ya que es usada ampliamente como técnica de preprocesamiento en sistemas computarizados para diagnóstico de enfermedades de la retina. Las ventajas que ellos encuentran al usar este canal son:

- La extracción del canal verde es simple y efectiva.
- El canal verde proporciona más detalles de luminancia.
- El tiempo de procesamiento se reduce en un tercio del tiempo real.

Para la extracción de características, los autores utilizan el modelo pre entrenado AlexNet para llevar a cabo el aprendizaje de transferencia en la clasificación de imágenes de catarata del fondo. Según los autores, este aprendizaje logra la mejor precisión de precisión de clasificación en comparación con los métodos existentes.

En la etapa de clasificación, los autores hacen uso del clasificador SVM para obtener mejores resultados de clasificación. Este clasificador fue escogido luego que los autores lo comparan con otros y este funcionó bien en la clasificación de diferentes etapas de la catarata como también, en términos del sobreajuste, obtuvo un menor efecto.

Los autores implementan los algoritmos de Redes Neuronales en Matlab R2018a en una computadora personal con un procesador Intel (R) core (TM) i7-7500U, con una memoria RAM de 8GB y el sistema operativo Windows10 de 64 bits.

Los autores seleccionaron diferentes bases de datos de libre acceso para el entrenamiento efectivo del modelo de clasificación:

- Base de datos de imágenes de fondo de alta resolución (HRF)
- Análisis estructurado de la retina (STARE)

- Base de datos estándar de retinopatía diabética (DIARETDBO)
- E-ophtha: base de datos de imágenes de fondo de color.
- Métodos para evaluar las técnicas de segmentación e indexación en el campo de la base de datos de Oftalmología de la retina (MESSIDOR)
- Base de datos de imágenes digitales de la retina para la extracción de vasos (DRIVE)
- Conjunto de datos de registro de imágenes de fondo de ojo (FIRE)
- Imágenes digitales de la retina para la base de datos de segmentación del nervio óptico (DRIONS-DB)
- Conjunto de datos de imágenes de retinopatía diabética (IDRiD)
- Conjunto de datos disponibles del Dr. Hossein Rabbani.

De todas las imágenes recolectadas por los autores de estas bases de datos, se recopilaron 200 imágenes de cataratas en estadio normal, 200 leves, 200 moderadas y 200 en estadio severo. El objetivo principal de los autores es que el método propuesto es aprender las características discriminatorias que distinguen a una clase de la otra.

Los autores concluyen, luego de los resultados en su experimento, que su método propuesto muestra superioridad sobre los métodos existentes. El método propuesto obtuvo una precisión de 100% en una clasificación de dos clases y una precisión de 92.91% en una clasificación de cuatro clases. De los resultados también concluye que el aprendizaje de transferencia es efectivo cuando el conjunto de entrenamiento es relativamente pequeño proporcionando una mayor precisión en el caso de la detección de cataratas por imágenes de fondo de ojo.

- **Song et al. (2019)**

Los autores proponen el uso de un algoritmo de aprendizaje de máquina semi supervisado para la clasificación automática de cataratas. Los autores aclaran que el método tradicional de aprendizaje de máquina es el supervisado que conlleva entrenar modelos con una gran cantidad de datos etiquetados y aún cuando se lleguen a recopilar fácilmente puede llegar a ser muy costoso puesto que la mayoría de los datos suele estar sin etiquetar.

Por esta razón, el uso de un algoritmo semi supervisado supone mejorar el rendimiento utilizando datos etiquetados y sin etiquetar para entrenar el clasificador.

Los autores desarrollan su trabajo realizando un preprocesamiento a la imagen. Las imágenes utilizadas por los autores tenían una resolución de 2048 x 2048 x 1 y estaban en una escala de grises. El tamaño de la imagen original conllevaría un gran costo en la extracción de características y tuvieron que realizar un redimensionamiento a 512 x 512 x 1, y se aplicó una ecualización del histograma en las imágenes redimensionadas.

Luego del preprocesamiento, los autores extraen como característica la textura de la imagen, que es un conjunto de métricas para cuantificar la textura percibida en una imagen que nos da información sobre la disposición espacial del color de las intensidades o una región seleccionada de una imagen. Para esto, los autores eligieron dos matrices: la matriz de coincidencia de nivel de gris (GLCM) y la matriz de coincidencia de gradiente de gris (GGCM)

Como siguiente característica, los autores extraen la wavelet usando la transformada de wavelet discreta (DWT) para obtener la muestra discreta. Esta transformada captura la información de frecuencia como de ubicación. La parte alta de la frecuencia puede representar el vaso sanguíneo de la retina debido a los cambios dramáticos en el valor de píxeles grises alrededor del borde del vaso sanguíneo, mientras que la parte baja de la frecuencia puede representar la capa de fondo en las imágenes del fondo del paciente. Los autores extraen los coeficientes de las direcciones horizontal, vertical y diagonal en la parte de la alta frecuencia de la transformación de wavelet de segundo y tercer nivel.

La tercera característica que los autores extraen es la de boceto que consiste en dibujar 18 diámetros de líneas amarillas y 5 círculos concéntricos que vendría a ser líneas de croquis en la imagen del fondo de catarata después del preprocesamiento (Figura 17). Al tener esto, los autores calculan la coordenada de cada píxel en estos radios y círculos concéntricos en las imágenes redimensionadas. Luego, obtuvieron el valor del píxel de cada coordenada a partir de las imágenes grises, y aplican la transformada discreta de coseno (DCT) que les da la comprensión del valor del píxel de cada línea de boceto. Finalmente, los autores combinan la desviación estándar de estos resultados del DCT como el vector con el vector de características del boceto. Con esto, los autores consiguen

distinguir fácilmente entre la característica media, severa y la combinación de normal y ligera de boceto.

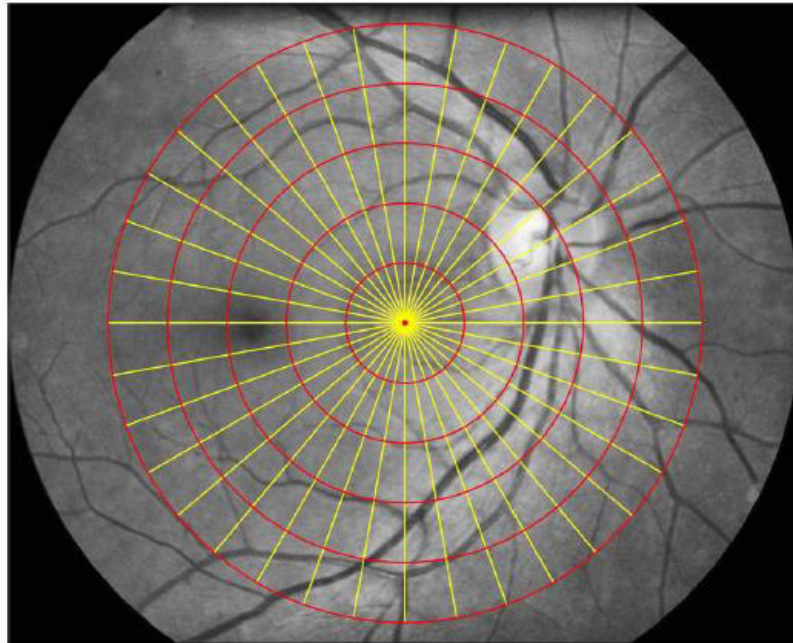


Figura 17. Función boceto en una imagen del fondo de catarata (Song et al., 2019).

Los autores, como conjunto de datos, recolectan 7851 imágenes de fondo de las cuales 4000 imágenes fueron marcadas por un oftalmólogo profesional. Este conjunto de datos fue dividido en un subconjunto para el entrenamiento, la validación, la prueba y uno sin etiquetar. Para el conjunto de entrenamiento, los autores decidieron que fueran 2000 imágenes que incluyen 676 imágenes de ojos normales, 588 de catarata leve, 382 de catarata medias, 254 de cataratas severas donde las proporciones de cada categoría son similares a las de la vida real. Para el conjunto de validación y prueba estuvieron formadas por 1000 imágenes y lo restante, 3851, para el conjunto sin etiquetar.

En un primer experimento comparativo, los autores entrenaron un clasificador binario con el conjunto de entrenamiento. Este clasificador divide las imágenes en dos categorías: ojo sin catarata y con catarata.

En un segundo experimento comparativo, los autores entrenaron cuatro clasificadores binarios con el conjunto de entrenamiento y luego combinaron los cuatro clasificadores en un clasificador de cuatro categorías con la estrategia de uno contra el resto.

En los experimentos realizados por los autores, obtuvieron la precisión más alta en el experimento de dos categorías de 96% en el modelo base SVM, y en el experimento de cuatro categorías del 88.6% en el mismo modelo base.

Los autores concluyen que su método propuesto evita un sobreajuste efectivo en comparación con otros. Sin embargo, el extraer características de forma artificial, se puede perder información importante para la clasificación contenida en las imágenes originales. Adicionalmente, el procedimiento de combinar varios clasificadores binarios débiles en un clasificador multicategoría fuerte. Como futura investigación, los autores planean utilizar el método de aprendizaje profundo, como la red de confrontación generativa (GAN), para tratar el problema semi supervisado.

- **Zhang et al. (2020)**

El trabajo propuesto por los autores consta de un modelo de atención conjunta. Ellos encontraron que los diseños previos de los modelos de detección con Deep Learning no consideran enteramente las características de la data de entrada, y solo usa algunas capas de una Red Convolutacional. Además, a pesar de que los métodos previos han conseguido buenos resultados en las imágenes de lámpara de hendidura y de fondo de ojo, solo pueden ver la superficie del fondo, no puede detectar lesiones profundas, y el equipamiento es difícil de operar. Por esta razón, los autores eligen las imágenes de ultrasonido-B. Estas sí pueden detectar lesiones profundas.

Los autores encontraron dos dificultades al clasificar la catarata usando este tipo de imágenes: El tamaño del globo ocular solo ocupa una pequeña parte de la imagen, y las imágenes contienen mucha complejidad y diversidad lo que causa que existan similitudes entre las muestras positivas y negativas. La primera fue resuelta usando un método de detección de objetos para cortar el globo ocular. La segunda, aplicando aprendizaje conjunto para lograr una mejor performance de generalización en el mismo modelo.

Primero de obtener el globo ocular con una Red de Detección de Objeto (YOLOv3). Luego, pasar la imagen obtenida por un conjunto de 3 redes de clasificación: DenseNet-161, ResNet-152 y ResNet-101. Los autores tuvieron un conjunto de imágenes de 1894 de ojos normales y 3615 de ojos con cataratas. Mas se usaron 1877 de ojos normales y, de forma aleatoria, 1896 de ojos con catarata. Obtuvieron una precisión de 97.5%, el cual es superior al resultado de cada modelo base.

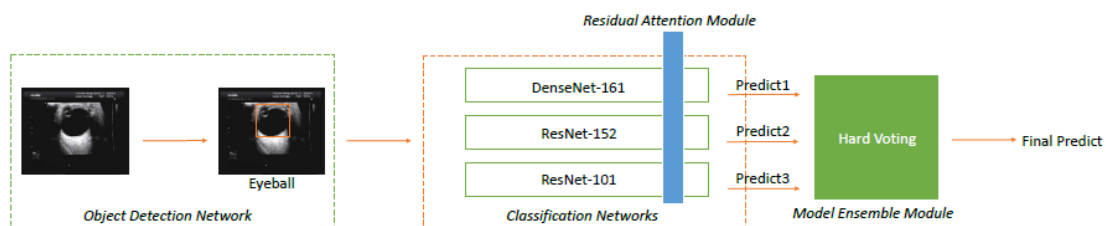


Figura 18. Modelo propuesto de atención conjunta (Zhang et al., 2020).

Los autores concluyen el modelo presentado poner mayor atención a las lesiones en el lente y que equivale a sintetizar el diagnóstico de múltiples oftalmólogos para obtener resultados de clasificación más confiables.

- **Hu et al. (2020)**

Los investigadores desarrollaron un método de clasificación de cataratas usando imágenes lámpara de hendidura basada provista por smartphone con el objetivo de mejorar la accesibilidad al proceso de detección temprana de cataratas.

Según su investigación, el principio básico es extraer características globales o características locales de la imagen para usar la máquina de vectores de soporte (SVM) o la regresión vectorial (SVR) para completar las tareas de clasificación. La precisión de los algoritmos es de hasta el 90%, donde la tarea principal del algoritmo es clasificar automáticamente la gravedad de las cataratas en función de la apariencia fotométrica del cristalino.

El procedimiento realizado fue el siguiente:

1. Detección de ruido de la imagen usando el algoritmo de Tenenbaum (Tenengrad)
2. Localización de la región nuclear por Yolov3
3. Clasificación mediante ShuffleNet V1 y SVM.

2.2.1.2 Manual

- **Gao et al. (2015)**

Los autores describen tres métodos manuales que se están usando actualmente para el diagnóstico de catarata.

El primero de ellos es usando un microscopio con lámpara de hendidura sea directamente o comparando su apariencia con un conjunto de fotografías de referencia estándar, evaluando la presencia y la gravedad de la catarata. Estas fotografías son proporcionadas por protocolos de clasificación de catarata como el Sistema de Clasificación de Opacidades de Lente III (LOCS III, siglas en inglés) y el Sistema de Clasificación de Cataratas de Wisconsin.

En la Figura 19, vemos cómo el Sistema de Clasificación de Cataratas de Wisconsin define fotos estándares que sirven de guía para el médico. La severidad de la catarata nuclear incrementa como se muestra en las imágenes de izquierda a derecha. Muestran que a mayor severidad se observa un mayor brillo y un color amarillo en el núcleo y la corteza posterior.

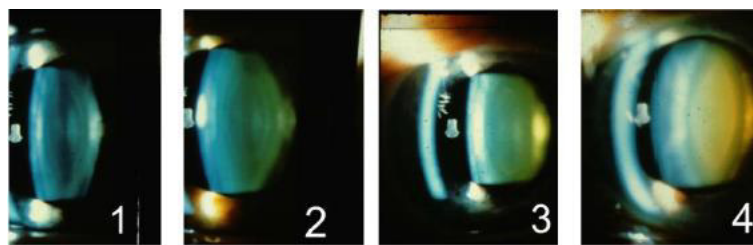


Figura 19. Fotografías estándares del Sistema de Clasificación de Cataratas de Wisconsin (Gao et al., 2015).

El segundo método manual es usando imágenes oculares obtenidas por medio de una Tomografía de Coherencia Óptica (OCT, siglas en inglés). Se utilizan las imágenes OCT 2D para medir la densidad en regiones nucleares especificadas manualmente. La densidad media dentro del núcleo se utiliza para la evaluación de cataratas nucleares. En comparación con la imagen obtenida con lámpara de hendidura, tiene una curva de aprendizaje más corta. Sin embargo, aún se encuentra en investigación, y no existe un protocolo de clasificación de cataratas para esta forma de imagen.

El tercer método manual es usando imágenes tridimensionales a través de dispositivos de imagen Scheimpflug como Oculus Pentacam para la clasificación de cataratas nucleares, determinando la densidad óptica de la lente. Sin embargo, debido a que los protocolos

actuales se basan en imágenes 2D, las técnicas en 3D carecen de una verdad fundamental directa con la que comparar. Además, la catarata nuclear es homogénea dentro del núcleo de la lente, por lo que las imágenes 3D no brindan ventajas significativas sobre las imágenes de lámpara de hendidura 2D.

- **Patange et al. (2015)**

Los autores explican que la forma de diagnosticar la catarata es que los médicos analicen el ojo usando una lámpara de hendidura. Este método manual consiste en dilatar la pupila y un haz de luz se enfoca para obtener una imagen de lente precisa. Entre las cámaras con lámpara de hendidura existentes son: TOPOCON DC3, TOPOCON DC4 y TOPOCON DV3. Un ejemplo de cámara de lámpara de hendidura se aprecia en la Figura 20.



Figura 20. Cámara con lámpara de hendidura (Patange et al., 2015).

- **Morales et al. (2016)**

Los autores realizaron una revisión de literatura con el fin de poder analizar los métodos que existen para detección y diagnóstico de catarata, y proponer un método experimental con el mismo propósito.

De los métodos que los autores encontraron se emplea mucho la imagenología, pero con distintas técnicas manuales. Ellos encuentran que el ultrasonido, la imagenología por fluorescencia y la biomicroscopia por retroiluminación son los menos costosos y más rápidas. Cada una de estas se utiliza para un propósito diferente.

De acuerdo con los autores, el ultrasonido es utilizado para precisar cuán duro es la catarata. Sin embargo, esta técnica no provee de imágenes con una buena resolución y es difícil identificar la región de interés (Figura 21). Por esta razón, este método se vuelve subjetivo tanto por el análisis del médico como por la nitidez de la imagen la cual puede variar según los parámetros utilizados.

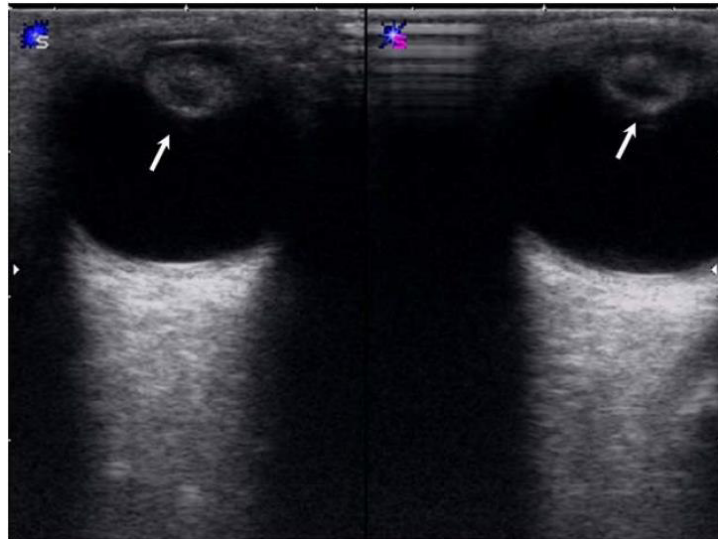


Figura 21. Ultrasonido para detectar la catarata (Morales et al., 2016).

En la técnica de imagenología por auto fluorescencia, que es una técnica emergente, se produce una excitación en el tejido. Esta técnica se compone del uso de láseres de banda estrecha de 488 y 532 nm y una cámara para imágenes de fondo de ojo. Una vez obtenido la imagen, puede ser clasificada con un sistema estándar (Figura 22).

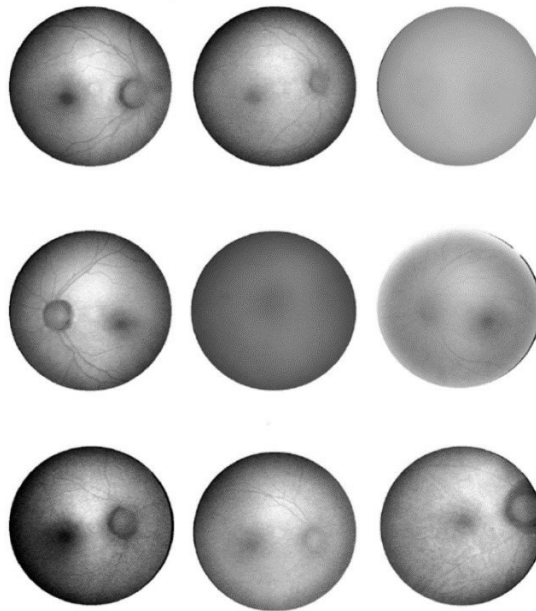


Figura 22. Imágenes de fondo de ojo con auto fluorescencia (Morales et al., 2016).

Los autores también mencionan la imagenología Scheimpflug, que permite obtener un cuadro en tres dimensiones con el apoyo de un dispositivo llamado “Pentacam”. Los autores encuentran que esta técnica, según muchos médicos, es indispensable para diagnosticar y planear una cirugía de catarata (Figura 23). Sin embargo, para un diagnóstico adecuado se necesita de varias tomas.

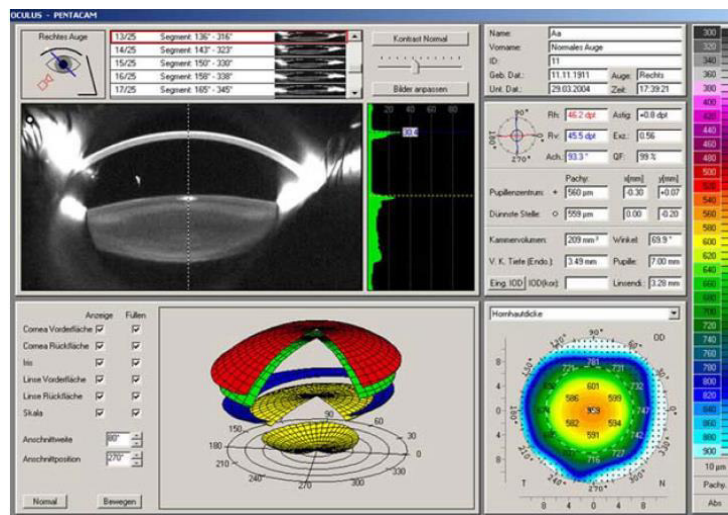


Figura 23. Representación en tercera dimensión usando Pentacam (Morales et al., 2016).

Los autores encontraron un sistema llamado CATRA (Figura 24). Este adapta a un teléfono inteligente diversos sistemas ópticos para lograr determinar el grado de la

afección ocular y calcular cuánto ha sido el área perjudicada en el tejido. Los beneficios de este sistema son su portabilidad y el bajo entrenamiento necesario para poder utilizarlo. No obstante, el análisis puede llegar a contener un resultado subjetivo dado al necesario involucramiento del paciente en el proceso para conseguir un preciso diagnóstico.



Figura 24. Sistema CATRA (Morales et al., 2016).

Luego de analizar las técnicas de imagenologías, los autores realizaron una tabla comparativa (Tabla 7) de las características: Mapa de Opacidad, Mapa de atenuación, Mapa de contraste, Dispersión y Nivel de entrenamiento. Según observamos, la técnica de ultrasonido no cumple con las 3 primeras características y su nivel de entrenamiento es alto. En cambio, la técnica reciente del sistema CATRA cumple con todas las características y requiere un nivel de entrenamiento bajo.

Tabla 7. Comparación de características de las técnicas de imagenología (Morales et al., 2016)

<i>Técnica</i>	<i>Características</i>				
	Mapa de Opacidad	Mapa de atenuación	Mapa de Contraste	Dispersión	Nivel de entrenamiento
<i>Lámpara hendidura</i>	Si	No	No	Retro	Alto
<i>Scheimpflug (pentacam)</i>	Si	No	No	Retro	Alto
<i>Retro-iluminación</i>	Si	Si	No	Retro	Medio
<i>Autofluorescencia</i>	Si	No	No	Retro	Medio
<i>Ultrasonido</i>	No	No	No	Frontal	Alto
<i>CATRA</i>	Si	Si	SI	Frontal	Balo

Como conclusión, los autores, al analizar los métodos existentes, planearon redes neuronales para procesar las imágenes y determinar anticipadamente si una persona sufre de catarata.

- **Rana et al. (2017)**

Los autores, describen un enfoque manual para el diagnóstico de catarata utilizando un examen de luz de apertura, reflejo rojo y técnicas de aleatorización de la luz. Para este enfoque, el oftalmólogo coloca un oftalmoscopio a 30 cm o 1 pie de la retina del ojo y observa el reflejo anaranjado rojizo de la luz. Según el reflejo rojo es definida la gravedad de la catarata. Esto es posible por la transmisión de luz desde el oftalmoscopio a través de todas las partes típicamente directas del ojo. Cualquier factor que obstaculice u obstruya esta vía óptica, provocará una variación de la norma del reflejo rojo.

2.2.2 Características

Esta clasificación nos dirá las características que se consideran al realizar el diagnóstico de catarata y que está relacionada con la segunda pregunta de investigación P2.

Tabla 8. Clasificación de características para el diagnóstico de catarata

<i>Características</i>	<i>Fuentes</i>
Disco Óptico y Mácula	Kugamourthy et al. (2014) Li et al (2018),
Propiedades de Imágenes	Zheng et al. (2014), Palomo y Puell (2015), Fuadah et al. (2015), Yang et al (2016), Sigit et al. (2018), Zhou et al. (2019)
Cristalino: Núcleo y Corteza	Gao et al. (2015), Erichsen et al (2017)
Pupila	Patange et al. (2015)
Vasos Sanguíneos	Xiong et al (2018), Li et al (2018), Zhang et al (2019)

2.2.2.1 Disco óptico y mácula

- **Li et al. (2018)**

Los autores analizan las imágenes de fondo de retina puesto que estas han sido estudiadas por muchos años y por diversos investigadores. Dentro de este grupo, debido a los amplios estudios, ellos profundizan en el análisis de las siguientes características: el disco óptico, las lesiones de retina, y los aneurismas y vasos.

El análisis de estas características es importante ya que, según una investigación citada por ellos, hasta el 2010, hay 32.4 millones de personas ciegas y 191 millones de personas con discapacidad visual en todo el mundo, en las que el 33,4% de todas las cegueras y el 18,4% de todas las discapacidades visuales se deben a cataratas. Además, es probable que la cantidad de personas que han perdido la visión causada por cataratas alcance los 40 millones en 2025 en el mundo. De esta manera, basándose en las características mencionadas, y la información de imágenes con la que se realiza esta investigación, una catarata puede ser clasificada en cuatro clases relacionadas al grado de claridad de las imágenes de fondo de retina, estos grupos serían: sin catarata, leve, moderada y severa.

Adicionalmente, hacen una importante mención respecto a las características tomadas en cuenta para su diagnóstico: "Para proteger la privacidad del paciente, se adoptan las funciones de MATLAB, intercepción de Elipse y corte de rectángulo, para de esta manera borrar el carácter del paciente y al mismo tiempo conservar la información original de la imagen". Así pues, podemos denotar que el carácter de una persona puede influir, en cierto grado, tanto en las características a ser estudiadas, así como en los resultados médicos en este campo. Desde esta perspectiva podríamos inferir, erróneamente tal vez, que características como el carácter de una persona pueden influir en algún resultado médico de esta.

Los investigadores desarrollan un modelo de redes neuronales residuales basado en una red neuronal convolucional de 18(50) capas, la cual utiliza el canal verde de la imagen de fondo y finalmente brinda un veredicto junto a un mapa de calor para localizar las diferentes áreas que contienen diferentes niveles de cataratas.

La motivación, que conlleva a los investigadores a brindar una solución en este campo, se basa en resolver la limitación de la localización de atributos o características de la enfermedad aplicando algoritmos de aprendizaje profundo para obtener una precisión significativa.

Para alcanzar la precisión que se desea, la red se entrenó con una base de datos del Hospital de Beijing que contenía un total de 8030 imágenes de fondo previamente clasificadas por los expertos en 4 clases de cataratas.

Dentro de esta base de datos, se uniformó cada imagen que sería input para red mediante la eliminación de la iluminación desigual para poder lograr una mejor precisión, de la misma manera, como se mencionó anteriormente, se utilizó el canal verde debido a ser el componente más claro que los otros dos componentes, para finalizar con la escala de la imagen en un tamaño de 256 por 256 píxeles.

Para su propuesta agregaron a cada capa estudiada no solo la información de la capa anterior a esta, sino que adicionalmente se le agregó la información de la penúltima capa relacionada a esta capa estudiada. De esta manera los investigadores sacaron ventajas para poder brindar un alto nivel de precisión en su propuesta.

Consecuentemente, para lograr entrenar su modelo, primero aplicaron el entrenamiento “normal”, asignando la tasa de aprendizaje a 0.01 con 100 épocas. Posteriormente se “congeló” y se transfirió la red residual pre entrenada para usarla como input para la siguiente red.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron satisfactorios con un notable rendimiento. Se confirmó lo buscado, el modelo alcanzó la precisión valida de 97.2% y 87.7% para detectar y clasificar cataratas respectivamente. Y la validación fue hecha por los expertos en el campo, concluyendo que su modelo tendría mucha importancia en el diagnóstico temprano de cataratas y un gran potencial para ser aplicado en diferentes enfermedades.

2.2.2.2 Propiedades de la imagen

- **Palomo y Puell (2015)**

Estos autores centran su presentación en las **características** relacionadas a la aureola del iris. Esto debido a que, según exponen, cuando la visión se somete a una fuente de deslumbramiento, se puede cuantificar la calidad de la visión, de esta manera se puede diagnosticar, junto a un conjunto de procesos, el estado de la visión en función a las cataratas.

Los autores exponen esto debido a que los pacientes con cataratas son más propensos a mostrar dificultades para conducir durante noche ya que el deslumbramiento altera mucho su visión en comparación con la luz del día.

La solución de los investigadores radica en la medida hecha por una maquina (MonCv3, Metrovision) la cual entrega un valor que es evaluado junto a características como la luz solar, diferenciándolas mediante discriminantes matemáticas. Cabe resaltar que los mismos investigadores indican que ningún estudio ha evaluado aún el impacto de la catarata en el tamaño de la aureola del iris. Para lograrlo, los ojos fueron clasificados en dos grupos, con cataratas y normales, por una discriminante lineal. Se introdujeron 3 variables al modelo para, según sus valores dados por la función discriminante propuesta, poder realizar las predicciones.

De los 84 pacientes estudiados, 53 tenían cataratas relacionadas a la edad y 31 pacientes tenían signos normales antes de la evaluación. Posteriormente, la investigación los clasificó en 30 cataratas nucleares, 16 núcleo corticales y 7 en la región subcapsular posterior nuclear.

Finalmente, el análisis de la aureola del iris fue el único parámetro que significativamente indicó diferencias entre los ojos normales y los ojos con cataratas. Teniendo este un 95% de confianza para la investigación

- **Fuadah et al. (2015)**

Los autores, que propusieron una solución móvil para la detección de catarata, consideraron las siguientes características para la detección:

- **Contraste:** Medida de la variación entre los niveles de gris en la imagen con un aumento exponencial.
- **Disimilitud:** Media de variación entre el nivel de gris en una imagen con aumento lineal.
- **Uniformidad:** Medida de las propiedades de intensidad uniforme de una imagen.
- **Correlación:** Medida del grado de dependencia lineal de los niveles de gris que da la indicación de una estructura lineal de imagen.
- **Homogeneidad:** Medida de homogeneidad de variaciones de la imagen.

Los autores muestran el rendimiento de las características haciendo combinaciones entre ellas: usando una, dos, tres, cuatro y cinco características. Como la Figura 25 muestra, los autores logran un rendimiento igual usando las cinco características que usando tres de ellas – disimilitud, contraste y uniformidad. Los autores concluyen que la correlación entre las características de textura y la homogeneidad no son influyentes al proporcionar características específicas para clasificar si existe o no catarata.

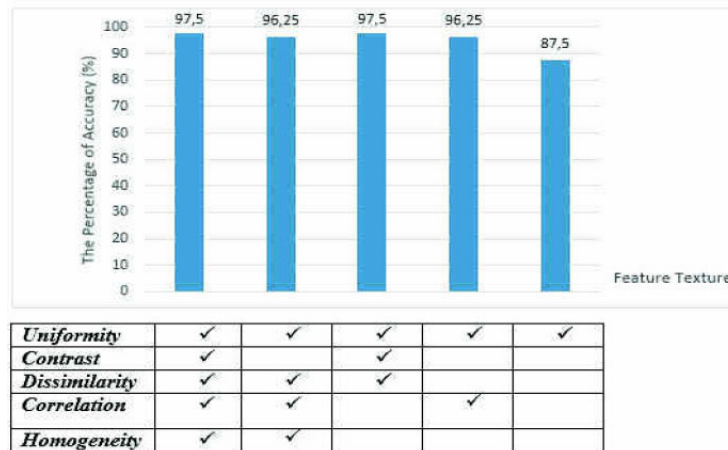


Figura 25. Porcentaje de precisión respecto al conjunto de características usadas (Fuadah et al., 2015).

- **Yang et al. (2016)**

Los autores hacen su introducción con la imagen anterior, en la cual nos muestran la clasificación que genera una máquina de imágenes de fondo. Esta clasificación se agrava desde la figura (a) a la (d) respectivamente de la Figura 26.

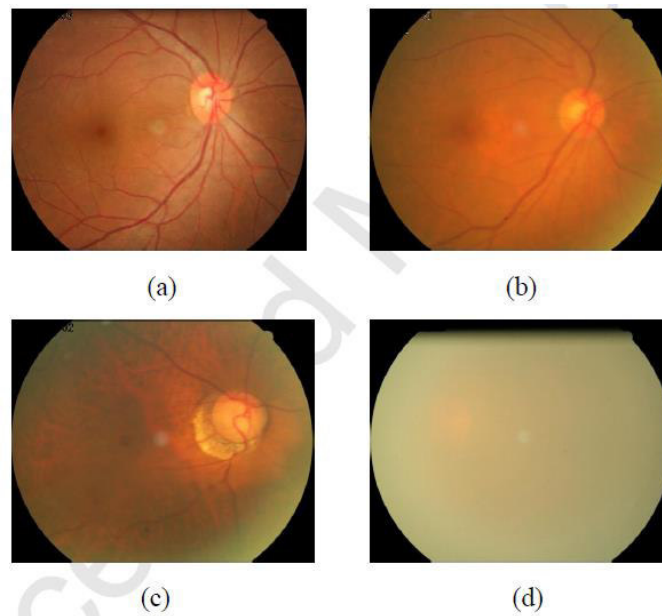


Figura 26. Clasificación de Cataratas con Imágenes de Fondo de Ojo (Yang et al, 2016).

Ellos, motivados por el ayuda a las personas con problemas en la vista, debido a los altos costos de estos exámenes en diferentes centros médicos oftálmicos del mundo, toman las características en estas imágenes para poder estudiarlas.

Dentro de las características existen propiedades en las que ellos se centran, como la textura y el bosquejo que tiene el área afectada. Además, ellos buscan ser imparciales con la forma en la que solucionan este problema, y es por eso que ellos deciden usar dos métodos probados en modelos de aprendizajes, los cuales son las Maquinas de Vectores de Soporte y las Redes Neuronales de Retro Propagación.

Su proceso está guiado por la construcción de múltiples modelos de aprendizaje, los cuales posteriormente serán vistos como un sistema experto independiente. Así, multiples “expertos” pueden brindar un mejor diagnóstico, combinando ideas, de una enfermedad en comparación con un solo experto.

Como se mencionó, ellos utilizarán dos modelos los cuales se registrarán por los siguientes pasos:

- 1) Procesamiento de la imagen de fondo: este paso uniformiza el tamaño la imagen, extrae el canal verde y borra la información personal del paciente para la protección de su privacidad.

- 2) Extracción de características: se extraen tres conjuntos de características independientes basadas en forma de ondas, bosquejo y textura, de cada imagen de fondo; Esto es importante para crear diversidad en los clasificadores básicos para el aprendizaje conjunto.
- 3) Construcción del modelo de aprendizaje base: los dos diferentes modelos propuestos, Maquinas de Vectores de Soporte y Red Neuronal de Retro Propagación, son las fuentes de diversidad.
- 4) Combinar los múltiples modelos base: se utilizan dos métodos populares de combinación, los cuales son el voto por mayoría y el voto por peso, los cuales ayudarán a dar el veredicto en la clasificación final.

El estudio centrado en estas características, así como los procesos aplicados similares a los de los expertos, hace posible que los resultados de muchos estudios como este, tengan un alto grado de aceptación.

La base de datos usada para el estudio de esta enfermedad fue recogida del Sistema de Archivo y Comunicación de Imágenes (PACS), la cual contenía 1239 imágenes de fondo que fueron manualmente etiquetadas por un oftalmólogo en las siguientes: 767 sin catarata, 246 con catarata media, 128 con catarata moderada y 98 con catarata severa.

Los criterios de evaluación buscados por los investigadores fueron dos, la detección y la clasificación de cataratas. Dentro de los cuales, los resultados pudieron corroborar, mediante los diferentes resultados de los métodos en base a las diferentes características estudiadas, que, en promedio, se logró un 93.2% y 84.5% de precisión respectivamente.

Finalmente, los autores proponen que, para lograr una mejor clasificación en la predicción de los diferentes modelos de aprendizaje, estos combinen sus diferentes enfoques, así se tendrá una un veredicto final, como ellos lo mencionan, de diferentes “expertos”.

- **Sigit et al. (2018)**

Para su presentación, los autores basan sus resultados en las **características** de intensidad y uniformidad. Estas características son causadas por la presencia de proteínas en el cristalino de forma anormal y que gradualmente crecen hasta interferir con la visión por bloquear el acceso de la luz.

Adicionalmente, ellos resaltan la interpretación basada en el método circular de Hough para encontrar la localización de las pupilas y poder extraer la intensidad y uniformidad sobre esta región, con el fin de que se le facilite al sistema la clasificación buscada.

Ellos definen estas características de la siguiente manera; la intensidad es el promedio de valores grises presentes en el área de la pupila, mientras que la uniformidad es el valor de la similaridad de píxeles presentes en la pupila.

Además, ellos exponen de forma matemática, la relación que existe entre la intensidad con la uniformidad, presentándolas como inversamente proporcionales. Las cuales son validadas con los resultados obtenidos.

Para lograr esto ellos utilizan los siguientes pasos:

1. Cargar la imagen: la imagen se obtiene de la imagen de lampara de hendidura y posteriormente es ajustada para tomar la posición del área fuera de la pupila.
2. Procesarla: al procesarla se elimina el ruido, se lleva a una escala de grises y posteriormente se aplica un filtro medio en el cual se reemplaza cada valor de un pixel con los valores medios de los píxeles vecinos.
3. Segmentarla: aquí se aplica el método circular de Hough ya mencionado.
4. Extraer las **características**: en este paso se extraen la intensidad y la uniformidad de la imagen de pupila mediante un histograma gris que contiene el valor gris de cada pixel.
5. Aplicar el algoritmo de aprendizaje de maquina: se aplica el método single perceptrón para entrenar el modelo, el cual finalmente produce 3 categorías.
6. Clasificarlo: esta clasificación incluye cataratas normales, medias, severas e indeterminadas.

Finalmente, basados en 30 imágenes de prueba, el sistema clasificó 29 de éstas correctamente, logrando un 96.6% de precisión.

- **Zhou et al. (2019)**

Los autores tienen como objetivo desarrollar algoritmos automáticos para la clasificación de cataratas. La contribución de su trabajo son: las estrategias de Transición de Estado Discreto (DST, siglas en inglés) y la Transición de Estado Discreto Exponencial (EDST,

siglas en inglés) para evitar el sobreajuste y reducir el consumo computacional durante el entrenamiento del modelo y su implementación; el clasificador con conocimiento previo perceptrón discreto multicapa con DST (DST-MLP) o EDST (EDST-MLP) y la red neuronal residual profunda con DST (DST-ResNet) EDST (EDST-ResNet) sin conocimiento previo.

Los autores se centran en las características tradicionales usando la transformada de Haar mejorada que descompone la imagen en capas y aumenta el contraste, y en base a las estructuras visuales que en total recuperan 9 de ellas. Los tipos de estructuras son: el porcentaje de las estructuras visibles, el valor medio de la estructura reinal visible segmentada y el valor promedio de la desviación estándar local.

En su estudio usaron 1355 imágenes de retina de ojo, donde 433 son de ojos normales y 922 imágenes con cataratas (415 leve, 217 moderada y 290 graves). Los dos clasificadores superaron el rendimiento de otras propuestas tanto en la clasificación de catarata y en la detección de catarata. Los autores concluyen que los métodos de clasificación con conocimiento previo son más adecuados para la clasificación de imágenes médicas complejas y que combinando características pueden mejorar el rendimiento de la clasificación.

2.2.2.3 Cristalino: núcleo y corteza

- **Gao et al. (2015)**

Los autores, cuyo método ya fue descrito, menciona un método propuesto por el grupo Wisconsin con el fin de incrementar la objetividad y eficiencia de la clasificación de catarata nuclear detectan el arco corneal y la corteza anterior mediante la detección de bordes Canny y el ajuste del método circular. Además, utilizan el perfil de intensidad a lo largo del eje visual para ubicar los puntos de referencia o las estructuras del lente ocular. De estos puntos de referencia se extraen diez características que incluyen la intensidad, la desviación estándar y las proporciones de estas estas características entre pares puntos de referencia. Luego, se reducen el número de características a través de un modelo de regresión lineal resultando en dos de las características más importantes: la intensidad del surco y la relación entre la parte anterior y posterior del lente ocular.

En el trabajo de los autores, adoptan el método de detección de estructura que separa el lente ocular en tres partes: corteza anterior, núcleo y corteza posterior. Usando un modelo de forma activa ubica la región de la lente ocular y la región del núcleo. A través del análisis del perfil a lo largo del eje visual, la estructura anatómica se refina. Finalmente, la parte central de la lente ocular a lo largo del eje visual se extrae como la región de interés.

- **Erichsen et al. (2017)**

Los autores lo mencionan que la colección de materiales para poder trabajar contiene como características a analizar el núcleo y la región cortical, las cuales son las partes que toman en cuenta para proponer su solución.

Ellos hacen una pequeña explicación de algunos pasos importantes para la detección normal de cataratas indicando que una vez que el paciente está conectado al láser, el primer paso realizado por el dispositivo es analizar la densidad de cataratas. La catarata se clasifica de manera personalizada y se asocia un patrón de fragmentación de núcleo predefinido a cada caso.

La capsulorrexis anterior se realiza luego con el láser de femtosegundo, seguido de una fragmentación del núcleo personalizada. El núcleo fragmentado se aspira consecutivamente usando una punta con la energía de ultrasonido mínima.

La solución propuesta por los autores está en función de un triptófano, el cual es un amino ácido presente en la región estudiada. Este amino ácido fue medido, arrojando un valor numérico, para posteriormente clasificar las cataratas encontradas en cuatro diferentes grupos ya definidos.

Estas características fueron extraídas de 16 ojos de 14 pacientes, de los cuales 13 fueron de mujeres y 3 de hombres. La edad media fue de 71.7 años y los resultados fueron clasificados en las categorías 1, 2 y 3, con las cantidades de 3, 7 y 6 respectivamente. Ninguno fue clasificado en la categoría 4.

Se encontró que la cantidad de afectados en la zona nuclear fue mayor, en total 11, mientras que 3 fueron en la región subcapsular y 2 en la región cortical. Lo cual validó la

investigación respecto a las mediciones de fluorescencia del triptófano, indicando que, a mayor medición, mayor el grado de la catarata.

- **Hu et al. (2020)**

En su estudio, los autores evalúan la capacidad de clasificación del algoritmo automatizado de detección de cataratas nucleares utilizando imágenes oculares capturadas por una lámpara de hendidura basada en teléfonos inteligentes.

De esta manera, la tarea del algoritmo es detectar automáticamente la gravedad de las cataratas en términos de la apariencia fotométrica de la región nuclear del cristalino de los ojos.

Posteriormente, se utilizó la combinación de una red de aprendizaje profundo, ShuffleNet, y un clasificador de máquina de vectores de soporte (SVM) para graduar la gravedad de las cataratas, evaluando las características conjugadas grises de la región nuclear.

2.2.2.4 Pupila

- **Patange et al. (2015)**

Los autores, como parte de su método para diagnosticar la catarata de forma automática, que fue descrito previamente, extraen características presentes en la pupila para detectar el tipo de catarata. Entre estas características menciona los radios, sombras, textura, tamaño, intensidad, localización espacial y la forma.

2.2.2.5 Vasos Sanguíneos

- **Li et al. (2018)**

Los autores, cuya investigación ya fue mencionada, toman como características para el diagnóstico de catarata son los vasos retinianos debido a que se pueden observar anomalías en ellas que son indicadores importantes para evaluar el riesgo tanto de catarata como de otras enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares. Según los autores, esta es una importante referencia para poder medir la severidad de la catarata.

- **Xiong et al. (2018)**

Para los autores, una característica clave a considerar para clasificar cataratas es la visibilidad de los vasos sanguíneos. Los autores, eligen el canal verde de la imagen para poder identificar las segmentaciones de los vasos sanguíneos porque alcanza un mayor

contraste entre los vasos sanguíneos y el fondo de la retina. No obstante, la extracción de esta característica se dificulta cuando la calidad de la imagen es baja porque ha sido afectada por la luz desigual, el equipo de imágenes, el físico personal, etc.

- **Zhang et al. (2019)**

Estos autores desarrollan un algoritmo y una plataforma para diagnosticar y clasificar automáticamente las cataratas en función de las imágenes de fondo de los pacientes estudiados con el objetivo de que su método ayude a su gobierno a ayudar a la población pobre ofreciendo una mayor precisión. La clasificación de las imágenes de fondo de ojo toma las características principalmente de la visibilidad de los tejidos como los vasos sanguíneos y los discos ópticos.

Para elaborar su investigación, los autores emplean un nuevo método de clasificación de cataratas de seis niveles el cual se centra en la fusión de múltiples funciones basadas en el apilamiento de resultados. Extrayendo estas características se pueden distinguir efectivamente diferentes niveles de cataratas. De estas características se pueden tomar resultados de alto y bajo nivel extraídas de una red residual (ResNet18) y una matriz de nivel de grises respectivamente.

Como parte del resultado, la investigación logró clasificar los resultados en 6 categorías, sin cataratas, levemente pequeña, leve, moderada, levemente severa y severa. Dichas categorías sacadas de las características mencionadas, las cuales fueron extraídas de un conjunto de datos de un total de 1352 imágenes, las cuales se categorizaron en 478, 317, 124, 154, 135, 135 respectivamente a lo ya mencionado. Adicionalmente, cada imagen fue etiquetada por dos oftalmólogos y revisadas por tres calificadores experimentados.

Como parte del método, estas imágenes fueron preprocesadas para unificar la forma rectangular de las imágenes de fondo. Posteriormente, se extrajeron las características de alto y bajo nivel en donde se pudieron observar las evidencias de catarata en función de los vasos sanguíneos y el disco óptico.

Finalmente, sus resultados arrojaron un nivel de precisión, en los seis niveles identificados, del 92.66% en promedio, el cual es el más alto que otros clasificadores de 4 niveles, por lo que ellos recomiendan usar las redes de aprendizaje profundo para extraer más características importantes.

2.2.3 Clasificación

Esta clasificación nos dirá cuáles son las clasificaciones que se logran obtener tras los resultados encontrados y que está relacionada con la segunda pregunta de investigación P3.

Tabla 9. Clasificación de resultados para el diagnóstico de catarata

<i>Clasificación</i>	<i>Fuentes</i>
Grados de Catarata: Normal, Leve, Moderado y Severo	Zheng et al. (2014), Yang et al (2016), Qiao et al. (2017), Sigit et al (2018), Yusuf et al (2019), Lin et al (2019), Zhou et al. (2019), Zhang et al (2019)
Ubicación de la Catarata: Cortical, Nuclear y Subcapsular	Patange et al. (2015), Patil et al. (2016), Morales et al. (2016), Shaheen et al. (2017), Erichsen et al (2017)
Catarata congénita	Chen et al (2015),

2.2.3.1 Grados de catarata

- **Yang et al. (2016)**

Los investigadores, ya presentados, expusieron la forma en la que clasifican sus resultados como ojos con cataratas normales, leves, moderadas y severas.

Esto debido a que ellos atendieron a la clasificación de los expertos frente a las imágenes de fondo de ojo, las cuales se basaron en las características que los mismos expertos toman en cuenta para diagnosticar esta enfermedad.

- **Qiao et al. (2017)**

Los autores, mencionados previamente, explican que los oftalmólogos profesionales diagnostican la catarata y clasifica el nivel de gravedad según su propia experiencia. En la Figura 27, clasifican una imagen de fondo de ojo: en (a), un ojo sin catarata, donde el disco óptico y los vasos sanguíneos grandes y pequeños son claramente visibles; en (b),

un ojo con catarata leve, con menos vasos sanguíneos; en (c), ojo con catarata moderada, con solo vasos sanguíneos grandes y el disco óptico visible; en (d), ojo con catarata severa, con vasos sanguíneos y el disco óptico poco visibles.

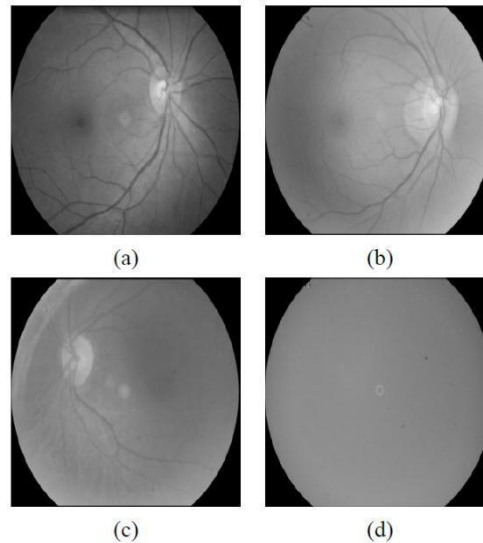


Figura 27. Clasificación de catarata usando una imagen de fondo de ojo. (Qiao et al., 2017).

- **Sigit et al. (2018)**

Los autores, para lograr su clasificación, utilizan los métodos de escala de grises, de filtros, el método canny y el método circular de Hough. Posteriormente, con la segmentación de la pupila, extraen las características, expresadas anteriormente, de intensidad y uniformidad.

Tras el procesamiento de las imágenes, ellos clasifican sus resultados como ojos con cataratas normales, medias, severas e indeterminadas. En este procesamiento se encuentra que el promedio de la intensidad va a ser diferente para cada clase. En el ojo normal la intensidad tenderá a ser pequeña y la uniformidad de los píxeles tenderá a acercarse a 1. En las clases media y severa la intensidad tenderá a ser más larga y la uniformidad de los píxeles serán pequeñas.

- **Yusuf et al. (2019)**

Estos autores utilizan la técnica de transferencia de aprendizaje, esto gracias a un modelo pre entrenado, para posteriormente entrenar nuevos datos. Esta transferencia de

conocimiento es empleada para clasificar las nuevas imágenes en las categorías propuestas, las cuales son normales y con catarata.

El modelo pre entrenado usó la cantidad de 1.2 millones de imágenes, y esto realizó con la intención de reducir el gran conjunto de datos y los requisitos de hardware pesados necesarios para desarrollar un modelo que sea preciso. Esta técnica logra que la información de otro modelo se use junto con otros conjuntos de datos para aumentar el rendimiento del nuevo modelo y reducir los requisitos necesarios para el cálculo del nuevo modelo.

Para lograr su objetivo, los investigadores resaltan que las imágenes utilizadas para la prueba de este sistema fueron resultados los de búsqueda en Google con las etiquetas "imagen del ojo humano" e "imagen del ojo de catarata", por lo que el entrenamiento del modelo basado en las 100 imágenes obtenidas del resultado de búsqueda de Google no producirá un modelo muy preciso. Debido a esto, para ahorrar tiempo y obtener un alto nivel de precisión, se descargó el modelo Google Inception, el cual fue creado luego de entrenar millones de imágenes, y de esta forma poder lograr una clasificación con mucha más precisión.

Finalmente, los resultados arrojaron una precisión del 78%, junto a un grado de sensibilidad de 69% y un grado de especificidad de 86%. Donde los autores afirman que las redes neuronales convolucionales pueden ser usadas ampliamente para detectar la formación temprana de cataratas.

- **Lin et al. (2019)**

Los autores ya presentados realizan una clasificación muy particular para su investigación. Como ellos mismos lo describen, sus resultados están en función de si los ojos tienen cataratas, su gravedad, y la recomendación para su tratamiento. Estos resultados fueron agrupados en las siguientes características: sexo, antecedentes familiares, síntomas oculares, pacientes con cataratas (considerando cataratas normales, monoculares y bilaterales), ojos con cataratas, área de opacidad (extensiva y limitada), densidad (denso y no denso), localización (central y periférica) y recomendaciones de tratamiento (cirugía y seguimiento).

De acuerdo a lo expuesto en su presentación, y acorde al fin de la investigación, esta clasificación de los autores fue contrastada con especialistas en la materia, la cual tuvo

como resultado un alto grado de asertividad, diferenciándose en no más del 5%, lo que significa que se realizó una clasificación de alta precisión sin requerir de muchos recursos.

Es importante mencionar que existieron motivos para descartar información (imágenes) que no se podría evaluar, los autores mencionaron algunos de estos, siendo los principales: falta de cooperación del paciente y la falta de claridad en la imagen. Esto se debió a que, tanto para los expertos, como para el sistema, esta información pudo haber **clasificado** recomendaciones o tratamientos erróneos para los pacientes, lo cual podría provocar el empeoramiento del problema ocular o, como ya mencionado, lesiones físicas o problemas mentales.

- **Zhou et al. (2019)**

Los autores previamente descritos, mencionan 4 diferentes grados de catarata (Figura 28). En la imagen (a) se muestra un ojo normal, sin catarata, donde los vasos sanguíneos y el disco óptico se pueden ver muy claramente. En la imagen (b) se muestra una catarata leve donde los vasos principales y el disco óptico son visibles, mientras que los vasos coroides y capilares son apenas visibles. En la imagen (c) se muestra una catarata moderada donde solo son visibles los vasos sanguíneos grandes alrededor del disco óptico. En la imagen (d) se muestra una catarata grave donde las estructuras retinianas apenas se observan.

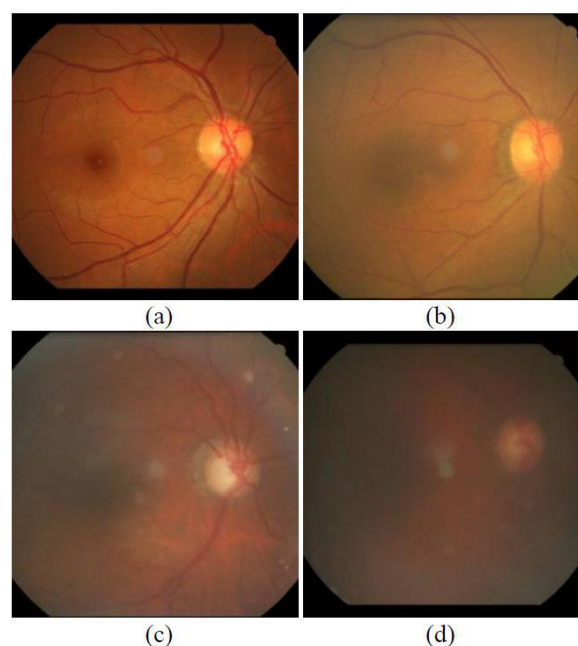


Figura 28. Diferentes grados de catarata. (Zhou et al., 2019).

- **Zhang et al. (2019)**

Como se mencionó en su presentación, los autores clasificaron sus resultados en 6 niveles o categorías, estas fueron sin cataratas, levemente pequeña, leve, moderada, levemente severa y severa.

De la misma manera, los autores tuvieron este objetivo por el motivo de proveer un sistema con mayor precisión que los sistemas actuales. Este método supera las limitaciones de la clasificación de características únicas y tiene un mejor rendimiento que algunos de los métodos existentes de clasificación de cataratas.

2.2.3.2 Ubicación de la catarata

- **Patange et al. (2015)**

Los autores, previamente mencionados, describen la clasificación de catarata según la región donde se encuentre en el ojo. En esta clasificación existen tres tipos:

- Catarata cortical: presencia en la corteza del lente con una estructura radial.
- Catarata nuclear: presencia en el núcleo del lente.
- Catarata subcapsular: presencia en la parte posterior de la lente.

- **Patil et al. (2016)**

Los autores, previamente mencionados, dan una clasificación de la catarata en tres tipos: catarata nuclear, catarata cortical, catarata subcapsular posterior. La catarata nuclear se desarrolla en el núcleo cristalino, cuya presencia se encuentra normalmente en las personas de edad avanzada. La catarata cortical se desarrolla en la corteza de la lente que rodea la lente. La catarata subcapsular posterior se desarrolla en la parte posterior de la lente y que los diabéticos o quienes consumen esteroides son más propensos a desarrollar estas cataratas.

- **Morales et al. (2016)**

Los autores, en su revisión de literatura previamente descrita, divide los tipos de cataratas en tres: congénitas, traumáticas y seniles. Según los autores, la carta congénita tiene una forma característica de una “Y” y otra invertida como podemos apreciar en la Figura 29.



Figura 29. Catarata congénita (Morales et al., 2016).

En las cataratas seniles o causadas por la edad, los autores hacen una subclasificación dependiendo de su localización: nuclear, cortical y subcapsular posterior. Los autores resaltan que según la forma de cada una de ellas se tiene un tratamiento de imágenes diferente debido a su morfología (Figura 30).

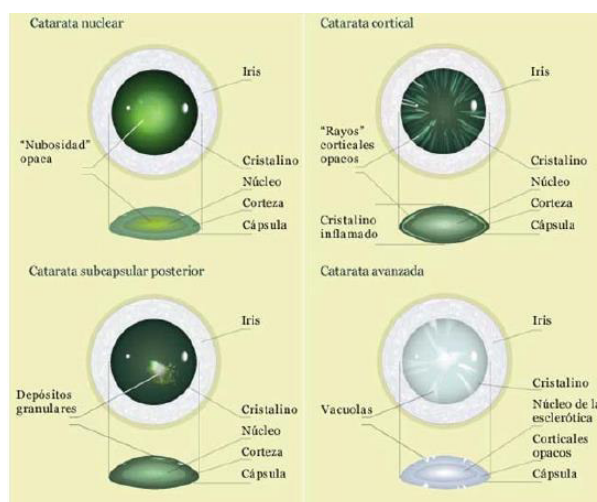


Figura 30. Morfología de las cataratas seniles (Morales et al., 2016).

Para la clasificación y graduación de las cataratas, los autores observan que se utiliza un conjunto de fotografías estándar que sirven de punto de referencia y ser comparadas con la imagen obtenida. Los autores mencionan dos sistemas de clasificación de uso común: The Oxford Clinical Cataract Classification and Grading System (OCCCGS) y Lens Opacities Classification System III (LOCS III). En la Figura 31 muestra el LOCS III con la escala que define los límites para una opacidad.

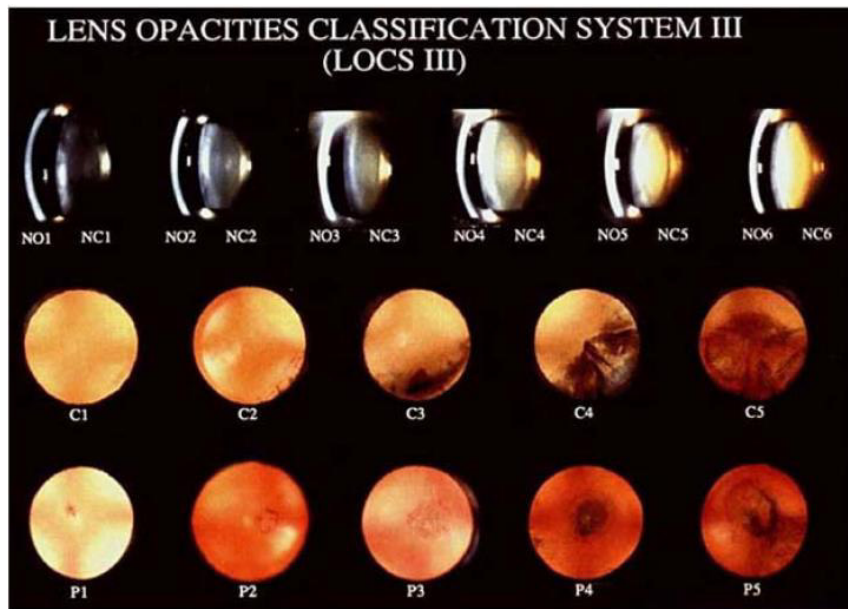


Figura 31. Lens Opacities Classification System (Morales et al., 2016).

- Shaheen et al. (2017)

Los autores, cuya propuesta de un marco de trabajo para la detección de cataratas fue descrito previamente, mencionan que la catarata tiene una clasificación dependiendo de la ubicación y formación dentro del lente ocular. Esta tiene tres tipos: Catarata Nuclear (NC), Catarata Cortical (CC) y catarata subcapsular posterior (PSC). La Figura 32 muestra la formación de la catarata dentro del lente ocular junto con sus efectos en este.

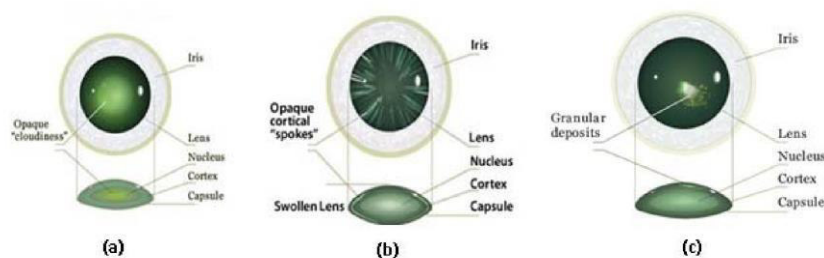


Figura 32. Formación de la catarata dentro del lente ocular. (Shaheen et al., 2017).

Según los autores, la detección y clasificación de catarata se realiza para determinar los tipos y el nivel de gravedad, lo que ayuda al oftalmólogo en la planificación del tratamiento. También afirman que la clasificación se realiza comparando la imagen de la lámpara de hendidura con un conjunto estándar de fotografías de acuerdo con protocolos de clasificación estándar, entre los cuales los autores mencionan los siguientes: Sistema

de Clasificación de Opacidades de Lentes (LOCS III), el Sistema de Clasificación de Wisconsin (WGS), el Estudio de enfermedades oculares relacionadas con la edad (AREDS), Sistema de Clasificación de la OMS y el Sistema de clasificación de cataratas clínicas de Oxford (OXCGS).

- **Erichsen et al. (2017)**

Los autores, ya presentados, también exponen la forma en la que clasifican sus resultados los cuales están relacionados a la ubicación de las características encontradas siendo estas, cataratas corticales, nucleares y subcapsulares.

Cabe resaltar que tuvieron una clasificación óptima preoperatoria la cual asignó las cataratas de 1 a 4 categorías según la densidad de la catarata. Para las cuales los resultados obtenidos no se agruparon en la cuarta categoría de acuerdo con los valores medios propuestos por los investigadores. Además, dentro de su discusión mencionan que en un futuro los estudios podrían sacar ventaja de analizar la región cortical y nuclear de formas separadas.

2.2.3.3 Catarata congénita

- **Chen et al. (2015)**

Los autores se presentan brevemente, y en su investigación hacen resaltar que las cataratas pueden ser congénitas causadas por algunas enfermedades en particular. Ellos clasifican a las cataratas congénitas como causa de enfermedades como trisomía en el par 21, 13 y 18, así como diabetes, hipoparatiroidismo, etc.

Terminan mencionando que una vez detectadas estas anomalías congénitas se deben buscar otras posibles anomalías fetales sistemáticamente y con cuidado.

2.2.4 Obstáculos

Esta clasificación nos dirá los obstáculos que se presentan para realizar el diagnóstico de catarata y que está relacionada con la tercera pregunta de investigación P4. Esta clasificación está compuesta por dos partes: Falta de recursos, falta de experiencia y demora en el diagnóstico (Tabla 10).

Tabla 10. Clasificación de obstáculos para el diagnóstico de catarata

<i>Obstáculos</i>	<i>Fuentes</i>
Falta de recursos	Zheng et al. (2014), Kaur et al. (2015), Fuadah et al. (2015), Guo et al. (2015), Morales et al. (2016), Patil et al. (2016), Xiong et al. (2018), Pratap et al. (2019), Lin et al (2018), Erichsen et al (2017)
Falta de experiencia	Gao et al. (2015), Morales et al. (2016), Xiong et al. (2018), Yusuf et al (2019) , Erichsen et al (2017), Zhou et al. (2019)
Demora en el diagnóstico	Zheng et al. (2014), Patange et al. (2015), Guo et al. (2015), Xiong et al. (2018) Song et al. (2019), Li et al (2018)

2.2.4.1 Falta de recursos

- **Kaur et al. (2015)**

Los autores, mencionados previamente, identifican la falta de recursos de las regiones remotas en cuanto al diagnóstico y monitoreo de enfermedades oculares. Por esto, enfatizan su solución en que permita el monitoreo a distancia para que de esta forma un médico no tenga que estar presente y los exámenes de diagnóstico puedan ser de bajo costo.

- **Fuadah et al. (2015)**

Los autores, cuya investigación fue mencionada con anterioridad, explican la problemática en Indonesia. Siendo este un país en desarrollo no cuenta con oftalmólogos o instalaciones de salud necesarias para cubrir la necesidad de un diagnóstico temprano de la catarata para dar el tratamiento indicado y evitar la ceguera. Esta falta de recursos se evidencia más en las zonas rurales. Es por esta razón que los investigadores ponen su atención en este problema para desarrollar herramientas con técnicas de procesamiento de imágenes y ayudar a la detección temprana de cataratas.

- **Guo et al. (2015)**

Los autores, que propusieron un sistema de salud asistido por computadora para la clasificación y graduación de cataratas, descrito previamente, identifica que uno de los obstáculos para el diagnóstico se ubica en las áreas subdesarrolladas dado a que

diffícilmente pueden tener la oportunidad de recibir tratamiento en un hospital. La razón es la falta de recursos: atención médica, información médica y economía. Esto motiva su propuesta porque posibilitaría a los pacientes a recibir un diagnóstico oportuno y poder obtener sugerencias de tratamiento de los médicos.

- **Morales et al. (2016)**

Los autores, cuyo aporte fue descrito previamente, explican que en los países en desarrollo se incrementarán los casos de catarata puesto que no cuentan con oftalmólogos, complejos médicos y esencialmente de equipamiento necesario para su detección. Ante esta falta de recursos, es inevitable que la catarata se convierta en un padecimiento común y que se desarrolló a una edad temprana.

- **Patil et al. (2016)**

Los autores, cuya revisión de literatura ya explicada con anterioridad, encuentran en un informe de la OMS del 2015 que el 60% de las personas que sufren de cataratas moderadas a crónicas pertenecen a países subdesarrollados y en desarrollo. Lo que da como evidencia que la detección y diagnóstico de catarata es una tarea desafiante en esos países. Los autores mencionan la falta de recursos como en la disponibilidad de médicos y en avances tecnológicos. También explican que, a pesar de los esfuerzos realizados por parte de la OMS en estas áreas remotas en establecer campamentos de revisión ocular, ha sido ineficiente y no asequible debido al alto costo y tamaño voluminoso de los equipos médicos.

- **Erichsen et al. (2017)**

Los autores mencionan que es esencial priorizar los **recursos** de atención médica y que una clasificación objetiva de la catarata puede ayudar a decidir cuándo es el momento óptimo para la cirugía.

Así mismo hacen hincapié en la falta de recursos mencionando que en la mayoría de los países occidentalizados, la extracción de cataratas seguida de la implantación de lentes intraoculares es el segundo procedimiento quirúrgico electivo realizado con mayor frecuencia, solo superado en número por las inyecciones intravítreas de anti-VEGF en los cuales se gastan grandes recursos en el monitoreo y tratamiento de las cataratas.

Finalmente mencionan que la intervención quirúrgica anterior y la creciente población de ciudadanos mayores ejercen una presión considerable sobre los sistemas de atención

médica en todo el mundo y los desafíos serán aún más pronunciados en los próximos años debido a los cambios demográficos, demandando así muchos más recursos a futuro.

- **Xiong et al. (2018)**

Los autores, ya mencionados, muestran que en China existen millones de personas, que en su mayoría tienen sesenta años a más, sufren de cataratas. En este país también existen la falta de recursos con una distribución desigual y personal limitado. Esto causa que la mayoría de los pacientes no puedan recibir un tratamiento efectivo y, por lo tanto, desarrollan ceguera.

- **Lin et al. (2018)**

Estos autores presentan la escena actual donde exponen que la implementación de la inteligencia artificial en campos como la cirugía robótica o el diagnóstico automatizado se ha vuelto cada vez más popular en la industria moderna. También mencionan que la modalidad del servicio médico tradicional se ha limitado a atender, en la capacidad de proveer servicios de salud de alta calidad, a grandes poblaciones por no poder capacitar ampliamente a sus médicos. Este problema de falta de recursos se origina por la capacidad de acceder a estos servicios de las diferentes personas.

Ellos a su vez revelan que la eficacia de la inteligencia artificial médica en el diagnóstico de enfermedades y la toma de decisiones terapéuticas no ha sido evaluada utilizando datos clínicos sin filtrar a gran escala en un ensayo comparativo del mundo real, lo que se traduce en una falta de precisión de estos nuevos sistemas. Esto se evidencia en las decisiones de tratamiento inapropiadas, especialmente con pacientes con enfermedades raras, lo cual en algunos casos está determinado por insuficientes recursos médicos en hospitales no especializados.

Finalmente, con la ayuda de algunos resultados, los investigadores resaltan la importancia de reducir los falsos positivos ya que indican que los más altos de estos pueden aumentar la carga y el costo de los recursos médicos y pueden provocar lesiones físicas o mentales a los pacientes.

- **Pratap et al. (2019)**

Los autores mencionados previamente, muestran que en la India existen 8 millones de casos de caratas. El 90% de los casos están presente en zonas rurales. No obstante, existe la problemática que los oftalmólogos – disponibles en una cantidad minúscula – tienen

una carga excesiva de trabajo en los chequeos generales de los ojos y tienen poco tiempo para realizar cirugías de prevención de ceguera. A esta falta de recursos se suman los desafíos de una accesibilidad limitada, el alto costo del tratamiento y los malos resultados quirúrgicos.

- **Hu et al. (2020)**

Como resultado de su investigación, los autores mencionan que su método es especialmente adecuado para ayudar al diagnóstico de cataratas en las zonas subdesarrolladas o zonas con escasez de recursos oftálmicos. También puede mejorar la accesibilidad del tratamiento médico oftálmico.

El diagnóstico automático de cataratas puede mejorar la accesibilidad del examen de cataratas y proporcionar una referencia importante para áreas subdesarrolladas con escasos recursos médicos para prevenir la ceguera causada por cataratas.

2.2.4.2 Falta de experiencia

- **Gao et al. (2015)**

Los autores mencionan que los métodos manuales, mencionados previamente, pueden ser subjetivos, lentos y costosos. En un estudio referenciado, los autores dan evidencia que se demostró que la reproducibilidad de estas evaluaciones con métodos manuales es solo del 65% y la concordancia entre ellos es entre 70% y 80%. Según esto, la falta de experiencia en estas evaluaciones guiaría a un diagnóstico inadecuado o que el diagnóstico sea lento y costoso. Por esta razón, los autores proponen que una clasificación precisa y automatizada de la presencia y gravedad de las cataratas ayudaría a mejorar el manejo clínico de la enfermedad, así como proporcionar una base objetiva para estudios epidemiológicos.

- **Morales et al. (2016)**

Los autores también encuentran que en los métodos actuales de diagnóstico de catarata – a través de imágenes médicas – existe mucha subjetividad. Dado que son analizadas por clasificadores humanos, si existe una falta de experiencia, significa una baja confiabilidad en el diagnóstico que se dé. Debido a esto las investigaciones actuales buscan que este análisis sea asistido por computador y que podría ayudar a reducir la subjetividad.

- **Xiong et al. (2018)**

Los autores también mencionan que hay posibilidad que se den tratamientos inadecuados a los pacientes por un mal diagnóstico dado por médicos con falta de experiencia. Los autores explican que la forma tradicional de diagnosticar cataratas es que los médicos leen las imágenes de fondo, pero su juicio puede verse afectado al momento de clasificar las cataratas debido a diversos ruidos ambientales como la iluminación y los ángulos de disparo.

- **Yusuf et al. (2019)**

Los investigadores, previamente presentados, se presentan alegando que los casos alarmantes de catarata en la última década y la proyección de casos de catarata en las próximas décadas requieren una intervención urgente por diagnóstico temprano, y a su vez aclaran la necesidad de un proceso automatizado citando los métodos formales de detectar cataratas, como el examen físico, las pruebas y el diagnóstico, son vinculantes para la clínica y el profesional; de ahí la necesidad de un proceso de automatización.

Esto motiva a los investigadores a desarrollar su sistema web de detección de cataratas mediante un diagnóstico asistido por computadora que utiliza las redes neuronales convolucionales, que podrá ser utilizado por cualquier no profesional fuera del entorno clínico, lo cual ayudará a las personas sin experiencia a poder tener un diagnóstico confiable frente a las restricciones de acceso en los sistemas oftalmológicos tradicionales.

Cabe mencionar que las redes neuronales convolucionales se implementaron gracias a los métodos de aprendizaje de máquina, los cuales agregan la capacidad de aprender sin la necesidad de programar el conocimiento.

A su vez, los investigadores dejan entrever el problema de la falta de experiencia mencionando que el problema con algunos de los métodos utilizados es la restricción que le da al sistema, citando como ejemplo que un sistema experto es un software que funciona a través de la toma de decisiones lógica basada en una base de conocimiento extraída de un experto en el campo específico; tal sistema no puede realizar análisis o cálculos complejos y solo puede evaluarse por la autenticidad de la información en su base de conocimiento.

De tal manera que cuando se acceden a los sistemas informáticos tradicionales, se accede a una base de conocimiento previamente extraída, y en contra parte los investigadores

lograrían, con su propuesta, que las personas "no profesionales" no necesiten de experiencia para poder acceder a un diagnóstico confiable.

Finalmente, debido a sus afirmaciones es que su propuesta llega a utilizar la técnica de transferencia de aprendizaje, la cual se utiliza posteriormente como input para aumentar el rendimiento de su modelo y reducir los requisitos necesarios para el cálculo de uno nuevo.

- **Erichsen et al. (2019)**

Los investigadores ya presentados, mencionan la importancia de la experiencia de los doctores especialistas ya que su investigación recrea en cierto grado parte del proceso que ellos realizan para diagnosticar cataratas.

Los doctores analizan manualmente la condición de las pupilas en función de las imágenes de fondo para determinar su estado. Ellos consideran el nivel de opacidad en el ojo y el área cubierta. Es en este punto donde, por la falta de experiencia, los autores proponen los métodos expuestos en su presentación con la finalidad de ayudar a los doctores a ser más precisos y facilitar el proceso de diagnóstico.

- **Zhou et al. (2019)**

Los autores ya mencionados, expresan que los protocolos actuales como LOCS III o la clasificación de cataratas clínicas de Oxford son complejos que pueden ser operados por oftalmólogos con experiencia. En las zonas rurales hay una falta de experiencia por lo que existe una dificultad para realizar estos diagnósticos. Por esta razón, los autores observan que hay una gran necesidad de que se adquieran imágenes universales, convenientes y rentables. Por lo tanto, los autores hacen uso de imágenes de fondo de ojo porque se puede obtener más fácilmente con la ayuda de técnicos que son más accesibles para estas zonas. Estas imágenes han sido usadas recientemente para la propuesta de varias soluciones que permiten realizar un diagnóstico de la catarata.

- **Hu et al. (2020)**

Los investigadores mencionan que especialmente en las áreas menos desarrolladas con escasos oftalmólogos, el sistema de clasificación automática puede permitir a los médicos ordinarios examinar las cataratas y proporcionar a los médicos experiencia en el tratamiento de diagnóstico asistido por inteligencia artificial.

2.2.4.3 Demora en el diagnóstico

- **Patange et al. (2015)**

Los autores expresan la necesidad de un diagnóstico preciso y un tratamiento quirúrgico oportuno para la catarata para poder prevenir la pérdida de visión y mejorar la calidad de vida. No obstante, actualmente la clasificación la realiza un médico ajustando una lámpara de hendidura, el cual es un proceso que lleva mucho tiempo. Los autores enfocan su investigación para superar este problema que ocasiona una demora en el diagnóstico.

- **Guo et al. (2015)**

Otro obstáculo que los autores identifican es que la actual forma de diagnosticar cataratas es compleja para la mayoría de los pacientes y solo pueden ser operados por oftalmólogos con experiencia. Para que puedan realizarse el diagnóstico basado en la imagen del fondo de ojo, el oftalmólogo con experiencia debe estar físicamente con el paciente. Esto ocasiona que el oftalmólogo sea un recurso escaso y cuello de botella que hace imposible la detección a gran escala de la catarata en la etapa inicial por la demora en el diagnóstico.

- **Xiong et al. (2018)**

Los autores identifican otro obstáculo que, debido a la gran cantidad de pacientes, los médicos invierten un gran tiempo y energías para analizar las imágenes del fondo de ojo para determinar la clasificación de cataratas en lugar de realiza una cirugía, lo que ocasiona una demora en el diagnóstico y retrasa el proceso de tratamiento.

- **Song et al. (2019)**

Los autores resaltan que en los últimos años los oftalmólogos sufren de una gran carga de trabajo debido a la escasez de estos. La consecuencia más grave de esto es que por la demora en los diagnósticos, las cataratas se desarrollan en las personas que viven en áreas remotas. En estos lugares, las enfermedades oftálmicas no pueden lograr la detección y tratamiento temprano lo que ocasiona que la ceguera se continúe expandiendo. Por esto mismo, los autores proponen un sistema de clasificación para la detección automática de cataratas.

- **Li et al. (2018)**

En su presentación, los autores resaltan que "El diagnóstico y el tratamiento tempranos pueden reducir el sufrimiento de los pacientes y evitar que la discapacidad visual se

convierta en ceguera", y, de la misma manera, que "Recientemente, el diagnóstico de catarata que aplica el reconocimiento de patrones está en un período creciente". Por esa razón los autores centran sus estudios en el análisis de las imágenes de fondo de retina, las cuales actualmente demandan personas altamente calificadas y mucho esfuerzo, lo que se traduce en una demora de un diagnóstico.

Es por este motivo que los autores, además de entregar un diagnóstico, proporcionan detalles adicionales mediante la localización de áreas las cuales revelan el grado de cataratas, en la imagen, para poder tener una mejor comprensión del estado del paciente.

Además, los autores mencionan un obstáculo dentro de los métodos actuales empleados por los oftalmólogos, el cuál es la información de entrada, y está relacionada con los especialistas. Ellos hacen referencia a la forma de emplear los métodos algorítmicos tradicionales exponiendo que estos dependen de la extracción de la representación que se basa en la experiencia de los oftalmólogos, generando demoras, tanto para el empleo de esos métodos como para el diagnóstico final del paciente.

Cabe resaltar que los autores hacen hincapié en los resultados negativos que podrían tener estos métodos, citando: "Si un oftalmólogo escoge accidentalmente una característica de clasificación incorrecta, es difícil entrenar clasificadores con un rendimiento significativo".

- **Hu et al. (2020)**

Como quedó demostrado en su investigación, este estudio puede mejorar la precisión del examen, reducir la tasa de diagnósticos erróneos y la dificultad del examen del médico. La adición de un sistema de puntuación puede mejorar la calidad de las imágenes obtenidas por no oftalmólogos.

Especialmente en las áreas menos desarrolladas con escasos oftalmólogos, el sistema de clasificación automática puede permitir a los médicos ordinarios examinar las cataratas y proporcionar a los médicos experiencia en el tratamiento de diagnóstico asistido por inteligencia artificial.

Debido a la alta precisión de yolov3, puede reducir eficazmente la dificultad de los médicos para tomar fotografías y facilitar a los médicos la obtención de imágenes con lentes de los sujetos, de modo que, a través de la optimización del marco, la dificultad de examinar de las cataratas se puede reducir.

Capítulo 3: Metodología

En el presente capítulo se describe la metodología de investigación aplicada al estudio y sus fases: pregunta de investigación, modelo, sistema de diagnóstico de catarata y validación. Esta metodología se aplicará el siguiente capítulo.

3.1 Metodología de la investigación

La metodología de investigación para el presente trabajo consta de 4 fases: Preprocesamiento, Entrenamiento del modelo, Diseño de la Aplicación Móvil y Validación (Ver Figura 33).

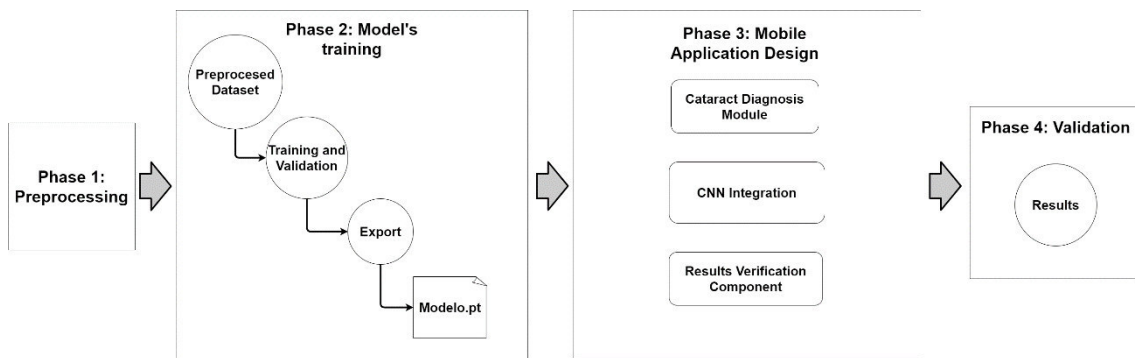


Figura 33. Metodología de investigación.

3.2 Fases de la metodología de investigación

En la Fase 1 de preprocesamiento consta de una serie de trabajos al conjunto de imágenes original con el fin de que se pueda obtener una mejor performance durante el entrenamiento del modelo y mejores resultados. Primero, aplicamos la técnica de aumento para incrementar el volumen del conjunto de imágenes. Seguido, realizamos una segmentación para las imágenes de prueba y entrenamiento. Finalmente, se aplica una técnica de filtrado a las imágenes seleccionadas.

En la Fase 2 de entrenamiento del modelo, en base a lo analizado en la revisión sistemática de literatura, se diseña el modelo de red neuronal convolucional. Una vez realizado el entrenamiento y la validación, con las imágenes ya procesadas previamente, se recogen

las estadísticas de ambos pasos para un análisis posterior, y se exporta el modelo para ser usando en el sistema.

En la Fase 3 se describe el Diseño del aplicativo móvil en una serie de pasos y mediante un diagrama general mostrando los componentes del sistema que son el Componente de Diagnóstico de Catarata, que usará el modelo exportado en la Fase 2, el Componente de vigilancia oftálmica y el Componente de Verificación de Resultados. Además, se define la metodología para el desarrollo de software, los artefactos que se van a generar, y una descripción del uso del sistema.

En la fase 4 se define la población, muestra y unidad de análisis; el proceso de validación para el modelo y el Sistema de Diagnóstico de Catarata, explicado mediante un diagrama de flujo; las métricas de calidad, con sus respectivas fórmulas, para evaluar el rendimiento de modelo de red neuronal convolucional. También se analizan los resultados de las métricas de calidad, comparando los resultados y calculando los promedios. Finalmente, una discusión de los resultados comentando las razones o comentarios sobre los resultados obtenidos de los dos casos de estudio.

Capítulo 4: Sistema de Diagnóstico de Catarata

En este capítulo se desarrollará el aporte que se hará por medio de esta tesis. Primero, dando una justificación del aporte; segundo, dando un esquema general del aporte y describiendo cada parte y su funcionamiento; tercero, dando la metodología para el desarrollo del aporte que se aplicará y detallando los artefactos resultantes; cuarto, dando una descripción del uso del sistema y finalmente, definiendo las métricas de calidad.

4.1 Justificación

En la taxonomía de **obstáculos** nos dio el panorama actual de la problemática que se vive en las zonas rurales, remotas o en países en desarrollos con poco acceso a servicios de salud. Si bien es cierto, diversos autores identificaron esto y fueron de motivación para el desarrollo de sus investigaciones y aportes. Sin embargo, la mayoría de estos se enfocan en la técnica de clasificación automática que ayuda y aligera la carga laboral del oftalmólogo, no acerca la solución a la persona que viven en los lugares mencionados. Se necesita portabilidad, que se obtiene al hacer uso de teléfonos inteligentes como propusieron Kaur et al. (2015) y Rana et al. (2017).

Esto posibilita que se pueda tener un diagnóstico oportuno de catarata. Además, el marco de trabajo que proponen Guo et al. (2015) no solo permite que las personas que viven en lugares remotos tengan la posibilidad de recibir un diagnóstico temprano sino también que este sea verificado por un oftalmólogo y reciba instrucciones o sugerencias sobre un tratamiento de manera remota. De esta forma se logra aligerar la carga trabajo del oftalmólogo atendiendo solo a las personas que ameriten una intervención.

Sin embargo, la precisión del clasificador que utilizaron no logra que compita con otros métodos propuesto. Por eso, se integrará con el marco de trabajo para la clasificación de catarata propuesto por Xiong et al. (2018) que alcanzaron una precisión promedio de 91.5% para una clasificación de seis clases y una precisión promedio de 93.5% en una clasificación de cuatro clases. Además, según revisamos su trabajo, logrando mayor clasificación permite a los doctores dar una propuesta más específica en el tratamiento de los pacientes. Los autores hacen uso de imágenes de fondo de ojos que según Harini et al. (2016) son fáciles de obtener y confiables.

4.2 Descripción del Modelo de red neuronal convolucional

4.2.1 Conjunto de datos

El conjunto de datos usado para el entrenamiento (Retina Dataset, 2016) consta de 300 imágenes de fondo de ojo sano y 100 imágenes de fondo de ojo con catarata. Para este proyecto solo se extrajo 100 imágenes de cada clase. Sin embargo, dado que se tiene un conjunto de datos reducidos para el entrenamiento del modelo, se usó de técnica de Aumento de Datos. Se utilizó la librería de Python, Keras, para generar más imágenes a partir del conjunto de datos. Las operaciones que realiza Keras son rotar la imagen aleatoriamente en un rango de 0 a 40 grados y voltear las imágenes en el sentido horizontal también aleatoriamente. Como resultado se generaron 400 imágenes de cada clase, teniendo finalmente 1000 imágenes como conjunto de entrenamiento.

Finalmente, se divide en dos conjuntos de imágenes para la etapa de entrenamiento y validación con 800 y 200 imágenes para cada etapa, respectivamente.

4.2.2 Arquitectura

El modelo propuesto está basado en el trabajo de (Xiong et al., 2018) en el que proponen usar la red neuronal convolucional (CNN) Resnet-18 y el algoritmo de Machine Learning SVM como un clasificador.

En la Figura 34, se observa la arquitectura del Resnet-18, propuesto por (He et al., 2016), que está entrenada con el conjunto de datos ImageNet que contiene 1000 clases de imágenes. Según (Xiong et al., 2018) este tipo de modelo pre entrenados se aplica la transferencia de aprendizaje en el reconocimiento de imágenes, permitiendo un esfuerzo menor al entrenar con imágenes de otro dominio.

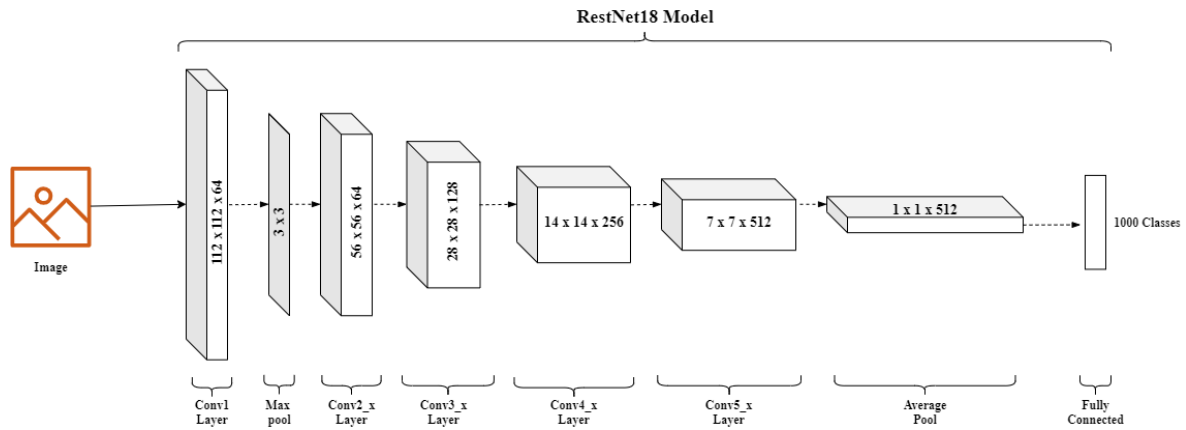


Figura 34. Arquitectura de la red neuronal convolucional Resnet-18.

Para el modelo propuesto (Figura 35), se extrae la salida de la capa previa a la capa de clasificación del Resnet-18 (512 características) para usarlo como data de entrenamiento para el SVM. Este modelo es implementado en el lenguaje de programación Python con la librería Pytorch.

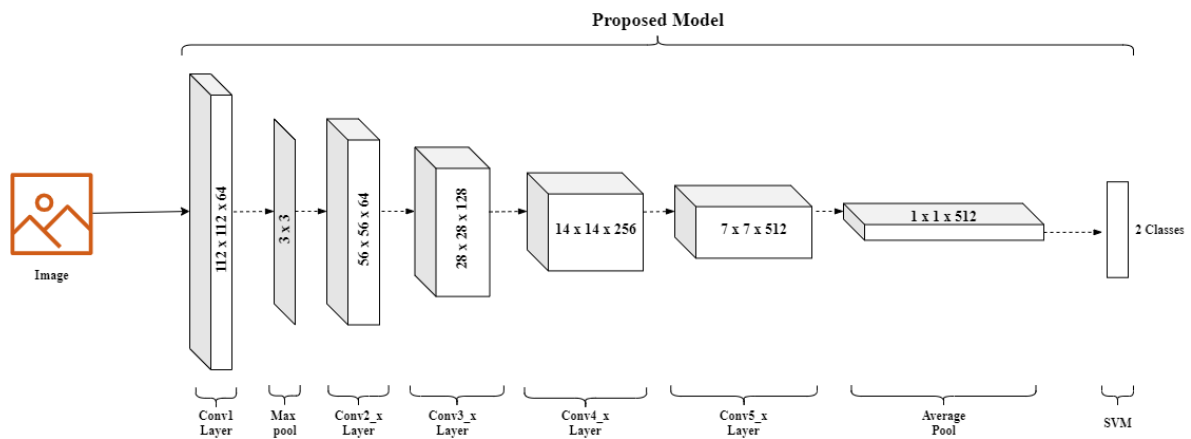


Figura 35. Arquitectura del modelo propuesto.

4.2.3 Pasos del Entrenamiento

4.2.3.1 Preprocesamiento

El primer paso para el entrenamiento es aplicar unas transformaciones a la imagen de fondo de ojo (Figura 36) con la ayuda de la librería de Python Opencv. La primera transformación es aplicar un filtro de color verde. Como el estado del arte muestra, aplicando este filtro se puede obtener una mejor visualización de las venas (Figura 37).

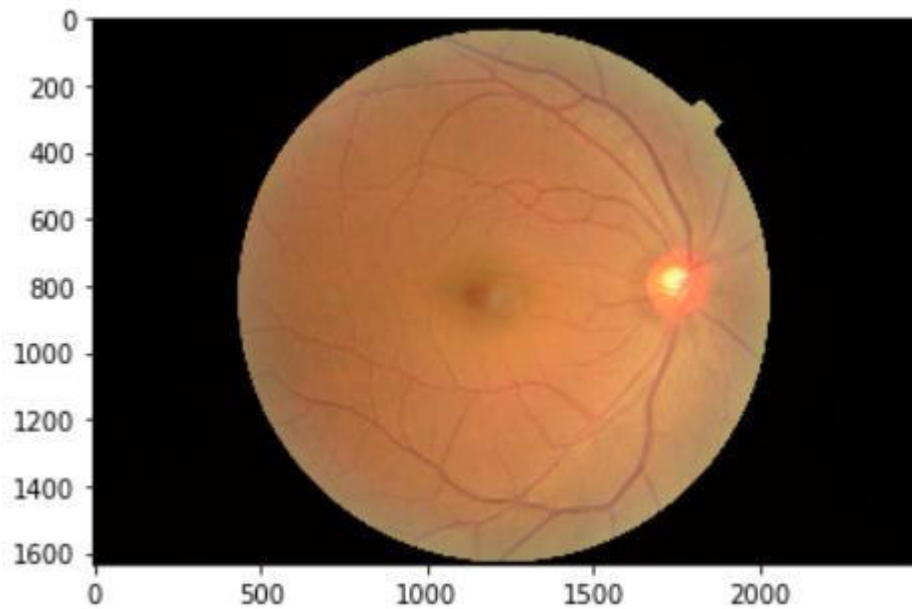


Figura 36. Imagen de fondo original.

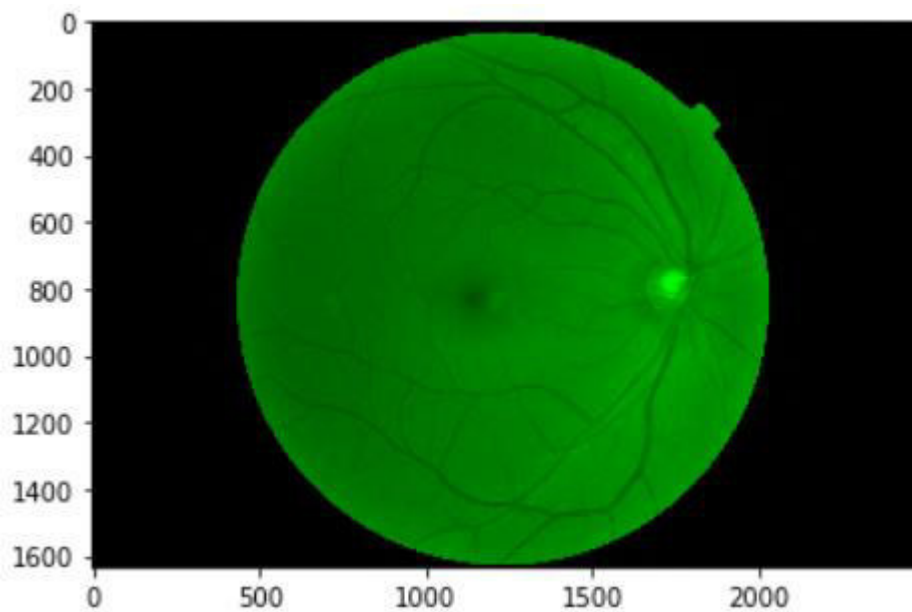


Figura 37. Imagen de fondo con filtro color verde.

La segunda transformación es encontrar la región de interés. Dado que la imagen original un fondo de color negro que abarca la mayor parte de la imagen, es necesario que solo se encuentren las características del ojo. En la Figura 38 se observa la región de interés para el entrenamiento.

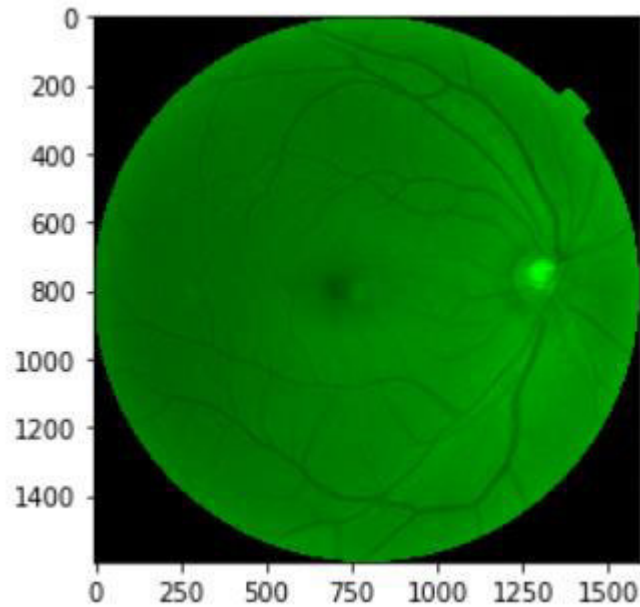


Figura 38. Imagen de fondo con filtro de color verde y con la región de interés.

Finalmente se aplican las transformaciones que el modelo pre entrenado Resnet-18 requiere como modificar el tamaño de la imagen a 256 y normalizarla con los parámetros de promedio [0.485, 0.456, 0.406] y la desviación estándar [0.229, 0.224, 0.225] para cada canal de color. Además, un acercamiento aleatorio para tener diferentes ángulos y enfoques de la imagen. La Figura 39 muestra el resultado final.

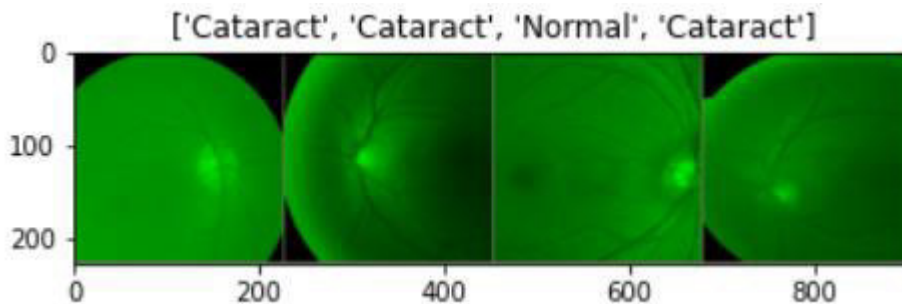


Figura 39. Imagen de fondo que pasará al entrenamiento.

4.2.3.2 Entrenamiento del modelo Resnet-18

En el entrenamiento del modelo para cada iteración se realiza el entrenamiento y la validación. De esta forma se consigue que los parámetros se ajusten y afinen evitando

el sobreajuste, que se da cuando el modelo solo memoriza las imágenes del entrenamiento.

En cada iteración se realizan estadísticas de la pérdida y precisión del modelo. Se realiza un historial para que pueda ser mostrado en una gráfica con el fin de analizar posteriormente el desempeño del entrenamiento del modelo.

Como ya mencionamos, se extrae 512 características de la imagen de una capa previa al clasificador. Estas características son escogidas de la iteración que resultó con la mejor precisión.

4.2.3.3 Entrenamiento del clasificador SVM

El algoritmo de Machine Learning de clasificación conocido como SVM será el que aprenda las características extraídas por el CNN Resnet-18. Este clasificador tiene unos parámetros que son necesario escoger para obtener mejores resultados. Estos son el kernel, el coeficiente para el kernel, y el parámetro de regularización.

Para el kernel se toma la elección del trabajo de donde nos estamos basando: “rbf”. Con la finalidad de encontrar el valor que aporta mayor rendimiento al algoritmo, se utilizará la técnica de GridSearch. Esta técnica hace una combinación de todos los parámetros que se proveen y busca el que tiene un mejor resultado (Ver Figura 40).

```
param_grid = {'C': [0.1,1, 10, 100, 1000], 'gamma': [1,0.1,0.01,0.001,0.0001], 'kernel': ['rbf']}
```

Figura 40. Mejores parámetros para el clasificador SVM.

En cada combinación se irá ajustando lo parámetros del clasificador. Una vez encontrado los parámetros, se guardan usando la librería Joblib.

4.2.3.4 Estadísticas y exportación

Finalmente, con apoyo de una librería extraemos la matriz de confusión. Estos datos son servirán en la etapa de validación para calcular las métricas de calidad y evaluar el rendimiento del modelo propuesto. Luego, exportamos el modelo en un archivo “.pt” que será usando en un componente del sistema.

4.3 Descripción del Sistema de Diagnóstico de Catarata

En la Figura 41, se muestra el esquema general del sistema para diagnosticar la catarata. A continuación, se describen las partes del aporte, que es satisface la necesidad de una portabilidad como también un esquema de monitoreo a distancia.

1. Por medio de un teléfono inteligente que integra un micro lente como accesorio, se captura una imagen del fondo del ojo del paciente.
2. El Componente de Diagnóstico de Catarata preprocesa la imagen extrayendo el canal verde de la imagen, que proporciona más detalles de luminancia, y la región de interés.
3. El Componente de Diagnóstico de Catarata, con la imagen preprocesada, extrae las características necesarias para la clasificación de imágenes de catarata usando el modelo pre entrenado ResNet-18.
4. El Componente de Diagnóstico de Catarata clasifica el grado de la catarata usando el clasificador SVM. Una vez obtenido la clasificación, se da el resultado del diagnóstico al teléfono inteligente.
5. La entidad médica, con acceso a internet podrá enviar los resultados con catarata por medio del Componente de Verificación de Resultados. Este resultado se almacenará en una base de datos creando un historial para el paciente.
6. A su vez, el oftalmólogo remotamente es notificado de un nuevo examen que resultó con catarata. El Componente de Verificación de Resultados le permitirá revisar la imagen y verificar el resultado. El oftalmólogo tiene la posibilidad de poder notificar su verificación hecha al diagnóstico.
7. El Componente de Vigilancia Oftálmica permite al oftalmólogo dar un seguimiento del paciente con catarata teniendo un historial de imágenes extraídas de la base de datos.

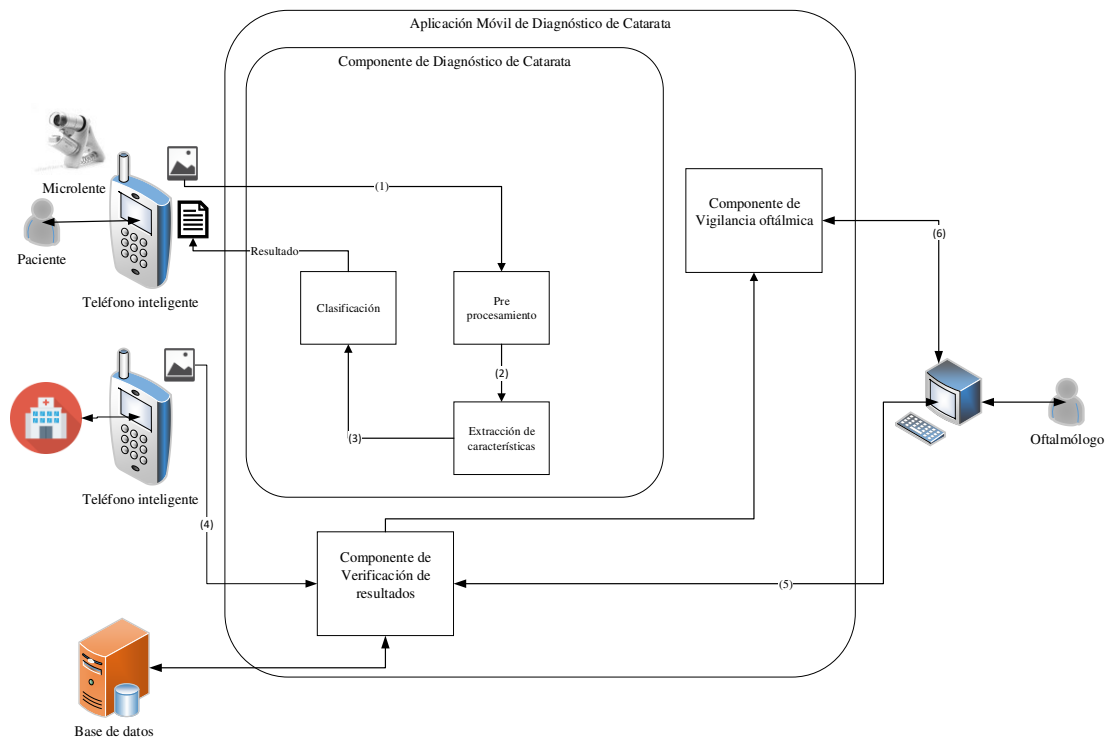


Figura 41. Sistema para diagnosticar la catarata propuesto.

4.4 Desarrollo del sistema

Para el presente trabajo se aplicará las buenas prácticas del Marco de Trabajo ágil SCRUM, que nos permite trabajar en sprints o iteraciones, y en cada iteración tener un incremento del producto.

A continuación, se hace un breve resumen de un sprint en SCRUM:

- Planificación del Sprint
- SCRUM diario
- Reunión de revisión del sprint
- Reunión de retrospectiva del sprint

A su vez, también se desarrollarán artefactos definidos por el proceso de desarrollo de software RUP.

Sprint	Artefacto
Sprint 1	Documento de Especificación de Requisitos
Sprint 2,3	Documento de Análisis del Sistema Documento de Diseño y Arquitectura
Sprint 4	Documento de Especificación de Pruebas
Sprint 5,6,7,8,9	Código Fuente
Sprint 10	Documento de Especificación y Resultado de Pruebas

Cada artefacto será versionado y almacenado en un repositorio de un Sistema de Control de Versiones.

4.4.1 Documento de Especificación de Requisitos

En este artefacto se especificará los requisitos funcionales y no funcionales. Esto serán refinados en iteraciones para que sean completos, consistentes, correctos verificables, modificables, trazables, comprensibles, no ambiguos y priorizados.

En base a una evaluación del proceso de diagnóstico de catarata, en forma general, se extraen los requisitos para el presente trabajo. En total fueron 12 requisitos funcionales y 8 requisitos no funcionales. Se le asigna un identificador uno con el cual podemos hacer un trazado a lo largo de proceso de desarrollo de software.

Entre los requisitos funcionales más resaltantes serían el diagnóstico de la catarata, la verificación del resultado por parte del Oftalmólogo, siendo alertado por una notificación.

En los requisitos no funcionales más resaltantes serían el uso de una red neuronal convolucional para que sea un diagnóstico automático y que sea implementada para un teléfono inteligente con el sistema operativo Android.

Además, se desarrollaron 6 prototipos de las pantallas principales de la Sistema. Para mayor información puede consultar en la sección de Anexo, Apéndice A.

4.4.2 Documento de Análisis del Sistema

Este artefacto desarrolla el análisis del sistema en base a los requisitos. En este encontramos la validación de los requisitos, los casos de uso del sistema y la relación con los requisitos, y su especificación.

En la validación se elaboró una de matriz de requisito vs requisitos para evaluar si un requisito entra en conflicto o es redundante con otro requisito. Luego de elaborarla no se encontró conflicto o redundancia alguna entre ellos. Sin embargo, al evaluar las cualidades de completitud, consistencia, correctitud y ambigüedad, se tuvieron que refinar.

Se identificaron 3 casos de uso del sistema, de los cuales 2 actores interactúan con el sistema. El primer actor es el Oftalmólogo y el segundo un personal médico. En la Figura 42 se observa esta interacción.

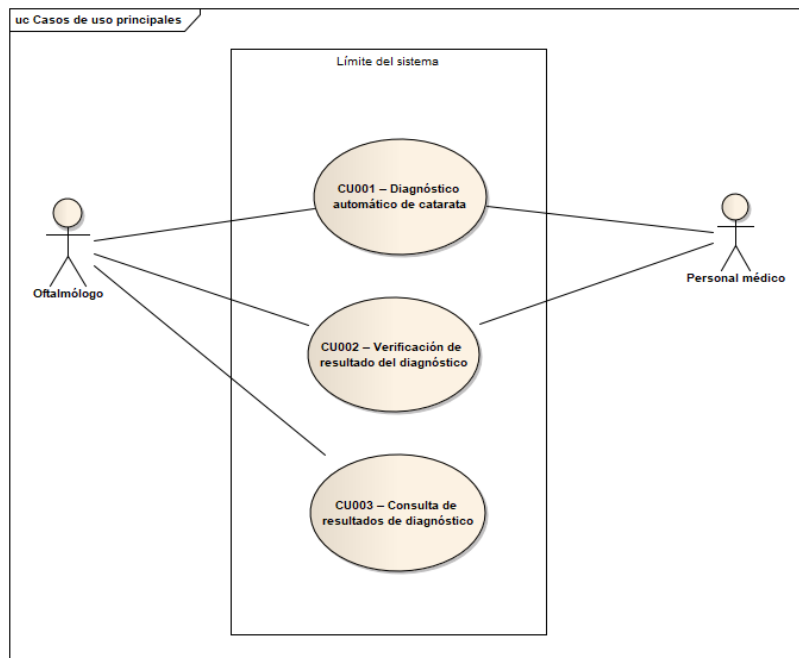


Figura 42. Diagrama de casos de uso para la Sistema.

Cada caso de uso es especificado con el siguiente contenido:

- Nombre del caso de uso
- Descripción
- Actores
- Referencia de requerimiento
- Precondiciones
- Escenario primario
- Escenarios secundarios
- Postcondición
- Requisitos no funcionales
- Prototipos
- Validación (en caso aplique)

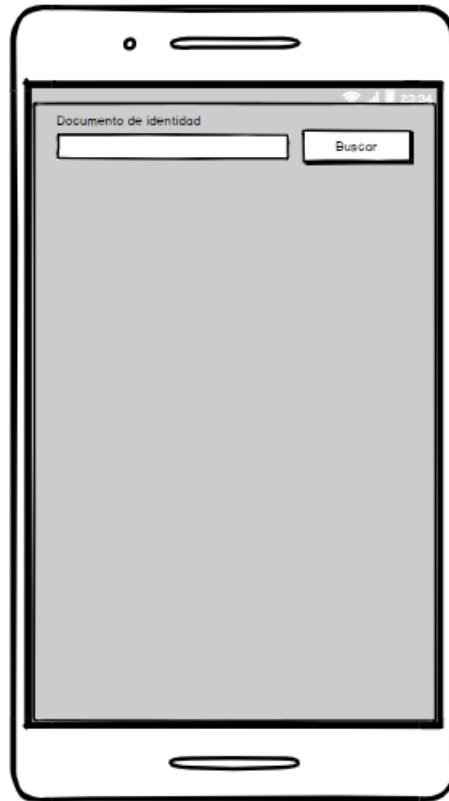
A continuación, se pone como ejemplo de especificación de caso de uso el más relevante:

CASO DE USO	CU001 – Diagnóstico automático de catarata
DESCRIPCIÓN	Esta funcionalidad permitirá determinar si existe la presencia de la catarata y su grado de desarrollo en el ojo del paciente analizando la imagen de fondo del ojo.
ACTORES	Oftalmólogo, Personal médico
REFERENCIA DE REQUERIMIENTO	RQ01, RQ02, RQ03, RQ04 y RQ12
PRECONDICIONES	
<ul style="list-style-type: none"> ● Autenticación de seguridad por parte del Oftalmólogo o Personal médico. ● El sistema esté en funcionamiento. ● Se tenga colocado el micro lente en la cámara del teléfono inteligente. ● El Oftalmólogo o Personal médico escogió la opción “Evaluar” ● El teléfono inteligente tiene conexión a internet. 	
1. ESCENARIO PRIMARIO:	
1.1. El Sistema muestra la pantalla (PANTALLA 1.1: Buscar un paciente por el documento de identidad) con el campo Documento de identidad.	
1.2. El Oftalmólogo o Personal médico ingresa el Documento de identidad del paciente y presiona el botón “Buscar”.	
1.3. El Sistema muestra el mensaje “Paciente no registrado”.	
1.4. El sistema presenta un formulario (PANTALLA 1.2: Formulario de datos personales del paciente) con los siguientes campos:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Nombres 	

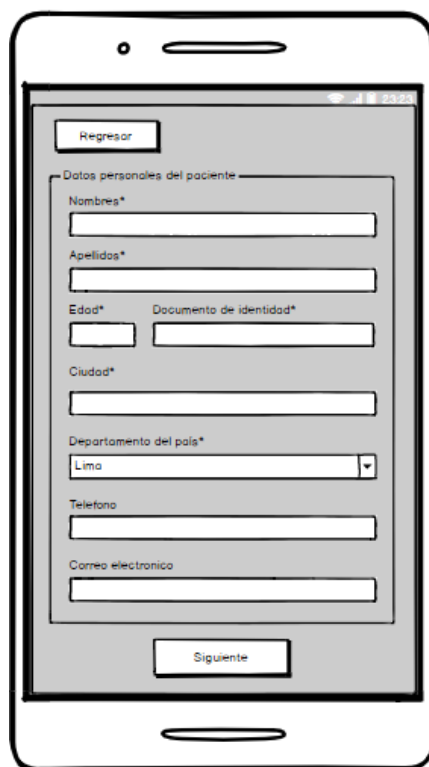
<ul style="list-style-type: none"> ● Apellidos ● Edad ● Documento de identidad ● Ciudad ● Departamento del país donde se ubica la ciudad. ● Teléfono ● Correo electrónico <p>1.5. El Oftalmólogo o Personal médico llena el formulario y presiona el botón “Siguiente”.</p> <p>1.6. El Sistema muestra la pantalla (PANTALLA 1.3: Diagnostico de la catarata) con lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Nombres y apellidos del paciente. ● Un recuadro donde muestra lo que la cámara recibe. ● Botón “Capturar”. ● Botón “Diagnosticar” <p>1.7. El Oftalmólogo o Personal médico, enfocando la cámara en el ojo del paciente, presiona el botón “Capturar”.</p> <p>1.8. El Sistema captura la imagen y la conserva en la pantalla.</p> <p>1.9. El Oftalmólogo o Personal médico elige el médico que va a verificar el resultado, y presiona el botón “Diagnosticar”.</p> <p>1.10. El Sistema extrae la región de interés de la imagen (pupila).</p> <p>1.11. El Sistema transforma los colores de la imagen a una escala de gris en el canal de color verde para segmentar las venas.</p> <p>1.12. El Sistema extrae las características de la imagen aplicando el modelo de red neuronal convolucional pre entrenado RestNet-18.</p> <p>1.13. El Sistema aplica al resultado del modelo de red neuronal convolucional pre entrenado RestNet-18 el algoritmo supervisado “Máquina de Vectores de Soporte” para clasificar la catarata.</p> <p>1.14. El Sistema presenta en la pantalla (PANTALLA 1.: Reporte del diagnóstico) los siguientes datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Datos personales del paciente: Nombres, apellidos, edad, documento de identidad, ciudad en donde vive y departamento del país donde se ubica la ciudad. ● Presencia de la catarata (Sí o no). ● Grado de desarrollo de la catarata (No catarata, muy leve, leve, moderada, severo y muy severo) ● Fecha y hora del diagnóstico ● Imagen de fondo del ojo. <p>1.15. El Sistema almacena los resultados en una base de datos.</p> <p>1.16. El Sistema cambia el estado del reporte de diagnóstico de Pendiente a Por Verificar.</p> <p>1.17. El Caso de Uso concluye.</p>
<p>2. ESCENARIOS SECUNDARIOS:</p> <p>2.1. Paciente ya está registrado</p> <p>2.1.1. En el punto 1.2 del escenario primario, si el paciente ya existe, se muestra el formulario (PANTALLA 1.2: Formulario de datos personales del paciente) con los datos del paciente.</p> <p>2.1.2. El caso de uso retorna al punto 1.5 del escenario primario.</p> <p>2.2. Campos vacíos.</p> <p>2.2.1. En el punto 1.5 del escenario primario, si alguno de los campos del formulario está vacío entonces el Sistema muestra el mensaje “Campo vacío” debajo del campo que aplique.</p> <p>2.3. Validaciones no cumplidas.</p> <p>2.3.1. En el punto 1.5 del escenario primario, si alguno de los campos del formulario no cumple con las validaciones de longitud o caracteres entonces el Sistema muestra el mensaje “Caracteres inválidos” o “Número de caracteres exceden el permitido”, según corresponda, debajo del campo que aplique.</p> <p>2.3.2. El caso de uso retorna al punto 1.1 del escenario primario.</p> <p>2.4. Cancelación del diagnóstico.</p> <p>2.4.1. En los puntos 1.2, 1.4, 1.6 del escenario primario, si el Oftalmólogo o Personal médico presiona el botón “regresar”, el Sistema regresa al menú principal.</p> <p>2.4.2. El caso de uso termina.</p> <p>2.5. Problemas al registrar en la base de datos.</p> <p>2.5.1. En el punto 1.12 del escenario primario, si se presenta problemas al registrar el reporte de diagnóstico a verificar en la base de datos entonces el Sistema muestra el mensaje “Error al registrar la solicitud”.</p>

2.5.2. El caso de uso retorna al punto 1.5 del escenario primario.
2.6. Problemas al diagnosticar.
2.6.1. En el punto 1.7, 1.8, 1.9 y 1.10 del escenario primario, si se presenta problemas al diagnosticar entonces el Sistema muestra el mensaje “Error al diagnosticar la catarata”.
3. POSTCONDICIÓN <ul style="list-style-type: none">• Resultado del diagnóstico en un reporte.
4. REQUISITOS NO FUNCIONALES RNF01, RNF02, RNF03, RNF06, RNF08

PANTALLA 1.1: Buscar un paciente por el documento de identidad.



PANTALLA 1.2: Formulario de datos personales del paciente



A smartphone screen displaying a patient data form. At the top left is a 'Regresar' button. The form is titled 'Datos personales del paciente' and contains the following fields: 'Nombres*' (text input), 'Apellidos*' (text input), 'Edad*' (text input), 'Documento de identidad*' (text input), 'Ciudad*' (text input), 'Departamento del país*' (dropdown menu with 'Lima' selected), 'Telefono' (text input), and 'Correo electronico' (text input). A 'Siguiete' button is located at the bottom center of the form area.

PANTALLA 1.3: Diagnostico de la catarata



A smartphone screen displaying a cataract diagnosis interface. At the top left is a 'Regresar' button. The title is 'Diagnóstico de la catarata'. Below the title is the label 'Nombres y apellidos del paciente'. The main area features a large image of a fundus photograph showing the retina and optic disc. Below the image is a camera icon button, a dropdown menu labeled 'Seleccione médico verificador', and a 'Diagnosticar' button at the bottom.

PANTALLA 1.4: Reporte del diagnóstico



CUADRO 1.1: VALIDACIONES

	Cuadro de Texto	Obl	LMin	LMax	Carac	Mascara	Observaciones
1	Nombres	Sí	2	50	Letras	Nombres	Acepta espacios
2	Apellidos	Sí	2	50	Letras	Apellidos	Acepta espacios
3	Edad	Sí	1	3	Numérico	Edad	Número positivo
4	Documento de identidad	Sí	8	8	Numérico	Documento de identidad	Puede comenzar con 0
5	Ciudad	Sí	2	50	Letras	Ciudad	Acepta espacios
6	Departamento del país	Sí	2	50	Letras	Departamento del país	Son opciones predeterminadas.
7	Teléfono	No	0	9	Numérico	Teléfono	No acepta guiones
9	Correo electrónico	No	0	100	Alfanumérico	Correo electrónico	No acepta espacios

Para mayor información puede consultar en la sección de Anexo, Apéndice B.

4.4.3 Documento de Diseño y Arquitectura

En este artefacto se desarrolla el diseño del sistema para que realice las funcionales y soporte los requisitos no funcionales definidos. En este encontramos el diagrama de contexto, la arquitectura del sistema, el diagrama de componentes, el diagrama de clases, el diagrama de paquetes, el diagrama de estados, el diagrama de despliegue, el diagrama de entidad-relación y el diagrama lógico. Se aplica el Lenguaje Unificado de Modelado (UML) para los diagramas.

La arquitectura del sistema (Figura 43) consta de 4 partes:

- **Firebase Cloud Messaging (FCM):** Este es un software como servicio que nos permite enviar notificaciones push. Una vez que se cree una solicitud de verificación, el Servidor Web Service le indica al FCM el emisor y el destinatario (El oftalmólogo) para que pueda recibir una notificación en el teléfono inteligente.
- **Google Cloud Storage (GCS):** Este es un servicio en la nube que nos permite almacenar las imágenes de fondo de ojo analizadas y diagnóstico.
- **Servidor Web Service (SWS):** Se tienen dos servidores. Un servidor implementa un Web Service REST usando el microframework Flask (Versión 1.1.1) con el lenguaje de programación Python (Versión 3.6.5). Este tendrá la responsabilidad del diagnóstico de la catarata usando Redes Neuronales. El otro servidor implementa un Web Service REST usando el framework Spring (Versión 5.2) con el lenguaje de programación Java (Versión 8). Este se encarga de recibir las solicitudes de verificación y diagnóstico, almacenándolas en la base de datos PostgreSQL (Versión 11.8) y consumir los servicios del FCM y GCS. También brinda los métodos para la autenticación de los usuarios.
- **Aplicación Móvil:** Aplicación móvil sobre el sistema operativo Android (Versión 6.0) que implementa las funcionalidades para el Diagnóstico de la Catarata, Verificación de resultados del diagnóstico y Vigilancia Oftálmica. Esta aplicación consumirá los servicios del Servidor Web Service y estará atento a las notificaciones push del FCM.

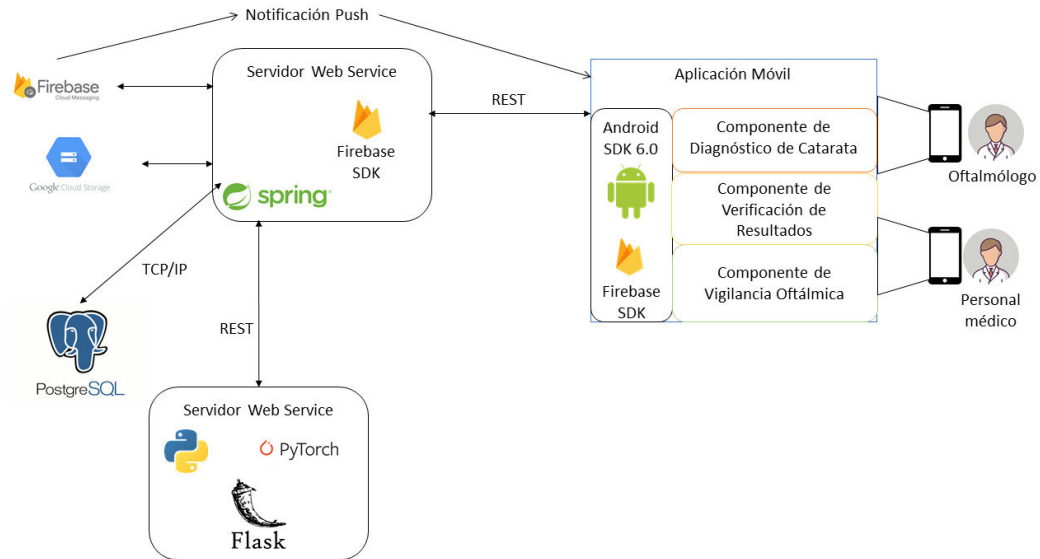


Figura 43. Arquitectura general del sistema.

El Diagrama de Estados (Figura 44) también es relevante mencionarlo dado que es clave para el proceso de verificación del resultado del diagnóstico por parte del Oftalmólogo. Cuando se realiza el diagnóstico se genera un reporte con un estado inicial “Pendiente” y cuando el Oftalmólogo da su veredicto pasa a un estado final “Verificado”.

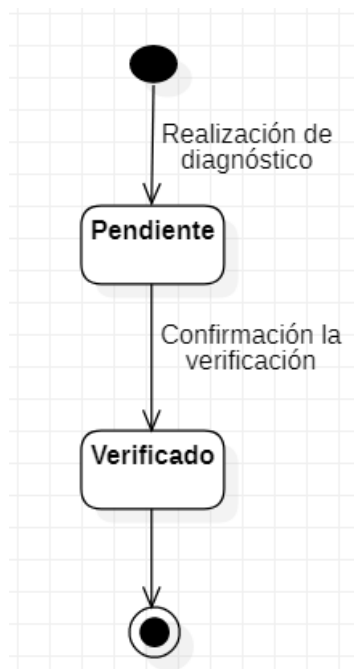


Figura 44. Diagrama de estados.

El Diagrama de Despliegue (Figura 45) se detalla cómo se realizará el despliegue de cada componente o parte de la arquitectura definida. En la Google Cloud Platform estará el servicio Firebase Cloud Messaging y el Google Cloud Storage. En Heroku, una plataforma como servicio de computación en la nube, se desplegará el Web Service y la base de datos PostgreSQL. Finalmente, en un teléfono inteligente, con sistema operativo Android, se tendrá instalada el Sistema de Diagnóstico de la Catarata.

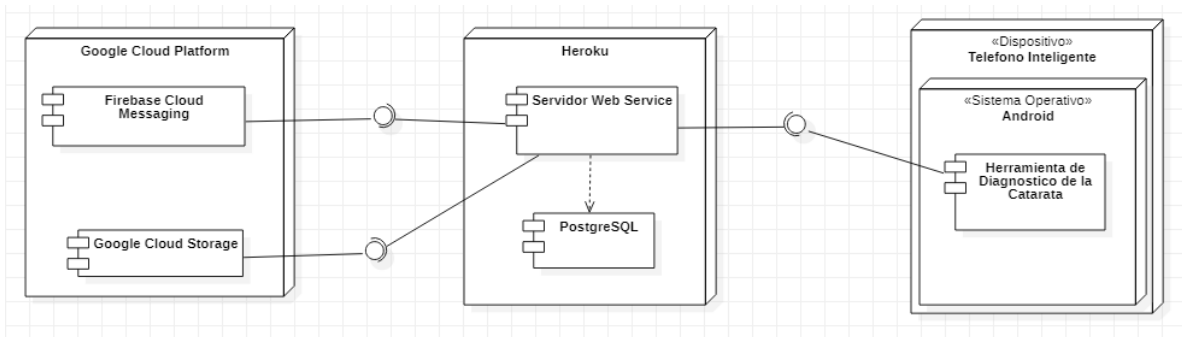


Figura 45. Diagrama de despliegue.

Para mayor información puede consultar en la sección de Anexo, Apéndice C.

4.4.4 Documento de Plan de Pruebas

En este artefacto se detalla el plan para realizar las pruebas de software. Tiene como alcance describir los elementos de la prueba, el enfoque, entregables, tareas, riesgos, etc.

Los elementos que proveerán la base para el correcto funcionamiento son:

- Documento de Especificación de Requisitos
- Documento de análisis
- Documento de Diseño y Arquitectura
- Manual de Usuario
- Módulo de Diagnóstico de Catarata
- Módulo de Verificación de Resultado de Diagnóstico
- Módulo de Consulta de Resultados de Diagnóstico

Para poder realizar la prueba se requiere un teléfono inteligente con sistema operativo Android con hardware Snapdragon 835 de ocho núcleos 2.35GHz, 4GB RAM. Además, se elaboró una tabla donde identificamos los riesgos que se pueden presentar durante la etapa de pruebas, las contingencias que se deben realizar en caso se presenten y el impacto de cada riesgo.

Tabla 11. Riesgos y contingencias

<i>Riesgos</i>	<i>Plan de Contingencia</i>	<i>Impacto</i>
Alguna de las personas no está debidamente capacitadas	<ul style="list-style-type: none">● Capacitar al personal● Reemplazar al personal por nuevo personal capacitado	Todas las áreas pueden verse afectadas por una mala capacitación
Tiempo de prueba mayor al previsto	<ul style="list-style-type: none">● Mejorar el plan de prueba● Capacitar mejor al personal● Utilizar mayor número de personas en el plan de pruebas● Iniciar nuevamente con el plan de pruebas	El área de la alta gerencia es la más afectada por la inconformidad que el cliente pueda manifestar
Errores a la hora de hacer la ejecución del plan de pruebas	<ul style="list-style-type: none">● Volver a hacer cada una de las pruebas e identificar los errores.	En el área de pruebas y el área de desarrollo y mantenimiento de software.

Para más información puede consultar en la sección de Anexo, Apéndice D.

4.4.5 Documento de Especificación de Pruebas

En este artefacto se detalla las especificaciones de las pruebas de software para el presente Sistema. Para cada prueba se describe las precondiciones, pasos y resultados esperados de cada prueba.

Para el caso de uso CU001- Diagnostico automático de catarata, se definen las siguientes especificaciones de prueba:

- EP001 – Paciente no existe
- EP002 – Paciente ya registrado
- EP003 – Reporte de diagnóstico

Para el caso de uso CU002 – Verificación de resultado del diagnóstico, se definen las siguientes especificaciones de prueba:

- EP004 – Diagnóstico por verificar
- EP005 – Verificar diagnóstico de catarata (Rechazar)
- EP006 – Verificar diagnóstico de catarata (Confirmar)

Para el caso de uso CU003 – Consulta de resultado de diagnóstico, se definen las siguientes especificaciones de prueba:

- EP007 – Historial de un paciente
- EP008 – Historial de diagnósticos
- EP009 – Paciente no tiene historial
- EP010 – Visualizar un reporte de diagnóstico

Para mayor información puede consultar en la sección de Anexo, Apéndice E.

4.5 Uso del sistema

4.5.1 Diagnóstico de Catarata

El Oftalmólogo o un personal médico abre el Sistema para Diagnosticar la Catarata en su teléfono inteligente y se visualiza lo que la cámara va capturando. Coloca el micro lente en la cámara del teléfono inteligente y lo fija en el ojo del paciente. En la pantalla se visualiza la imagen de fondo del ojo del paciente a ser capturada.

El Oftalmólogo o un personal médico, habiendo capturado la imagen del fondo del ojo, confirma a la aplicación para que empiece el diagnostico automático.

Una vez completado el diagnóstico, el Sistema muestra un reporte con los datos del paciente, la imagen de fondo del ojo capturada, el resultado de la presencia y el grado de desarrollo de la catarata.

4.5.2 Verificación del diagnóstico

El Oftalmólogo o un personal médico, con el teléfono inteligente con conexión a internet, envía los reportes de diagnóstico realizados en el día a un Oftalmólogo con mayor experiencia para que el resultado pueda ser verificado.

El Oftalmólogo con mayor experiencia es notificado de una nueva solicitud de verificación. Puede visualizar y examinar la imagen de fondo para luego poder dar el veredicto del resultado. Al dar su veredicto, el doctor podrá dar el seguimiento correspondiente al paciente para poder dar las indicaciones respectivas para el tratamiento.

Capítulo 5: Validación y Resultados

En este capítulo se describe la población, la muestra, y la unidad de análisis que fueron seleccionadas, con el objetivo de realizar este trabajo de investigación, teniendo en cuenta un caso de estudios y el análisis de los resultados obtenidos.

5.1 Población y Muestra

Para poder realizar el diagnóstico de catarata, el Sistema propuesto utiliza imágenes de fondo de ojo (Retina Dataset, 2016). La Tabla 12 presenta la población, muestra y unidad de análisis definidas para la validación del presente trabajo de investigación.

Tabla 12. Población, muestra y unidad de análisis

<i>Medida</i>	<i>Descripción</i>
Población	Todas las imágenes de fondo de ojo de personas que presentan dificultad para ver.
Muestra	1000 imágenes de fondo de ojo (formato PNG y a color).
Unidad de análisis	Una (01) imagen de fondo de ojo.

5.2 Validación del modelo

El proceso de validación del modelo ha sido realizado considerando el flujo presentado en la Figura 46.

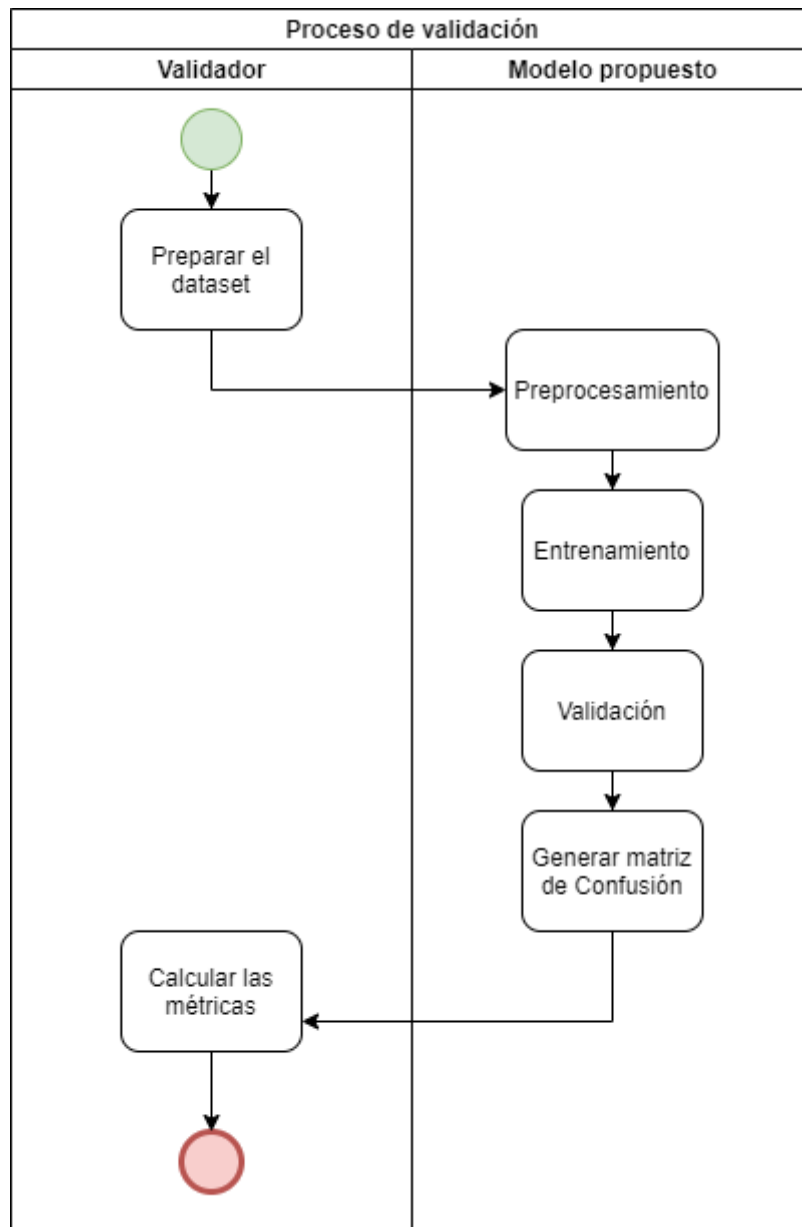


Figura 46. Proceso de validación del modelo propuesto.

El proceso de validación del modelo empieza cuando el validador prepara el dataset que consiste en dividirlo en un grupo de imágenes para el entrenamiento y en otro grupo para la validación (80% del dataset y 20% del dataset, respectivamente). Luego, el modelo preprocesa la imagen según lo explicado en la sección 4.2.3.1. Una vez preprocesada es introducida al modelo para su entrenamiento y validación. Al finalizar con todas las imágenes del dataset, el modelo genera una matriz de confusión, que contiene la cantidad de casos positivos y negativos de predichos. Finalmente, el validador, usando la matriz de confusión, calcula las métricas para evaluar el rendimiento del modelo.

5.3 Validación del sistema

El proceso de validación del sistema ha sido realizado considerando el flujo presentado en la Figura 47.

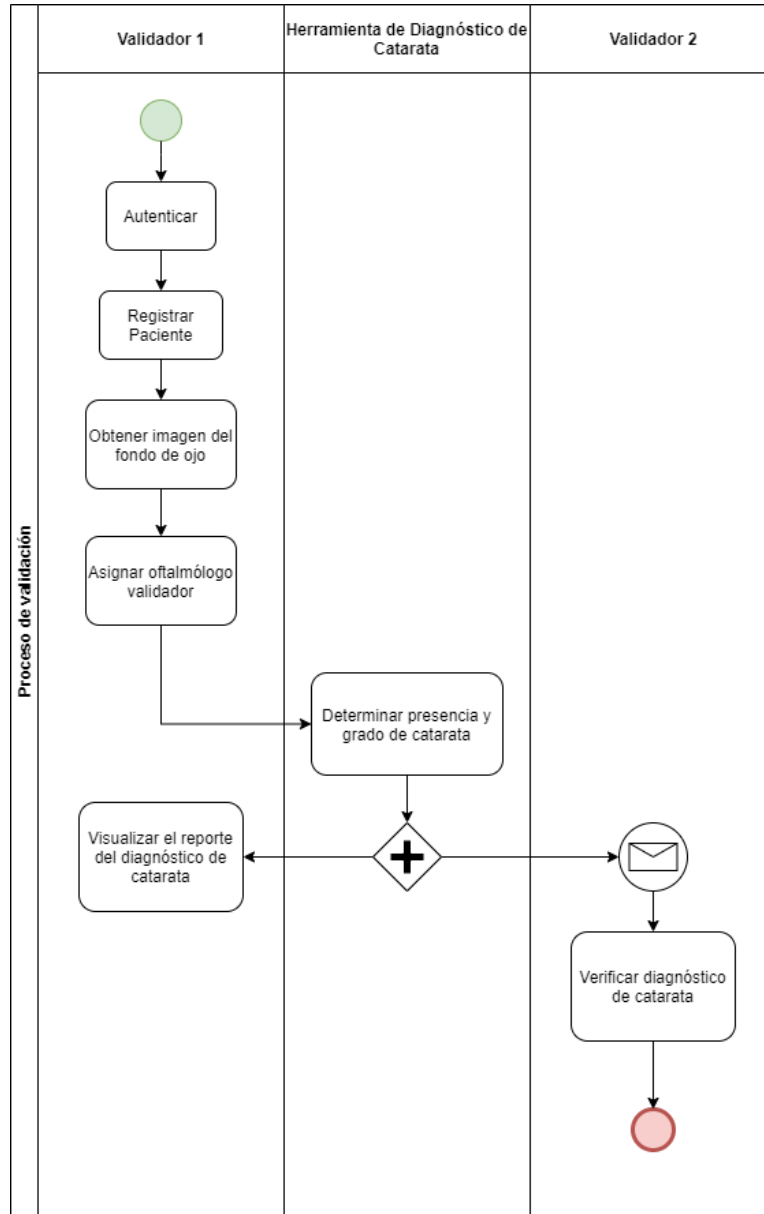


Figura 47. Flujo del proceso de validación.

El proceso de validación del sistema empieza cuando el validador 1 se autentica el sistema, accediendo al sistema. Luego, en la sección “Diagnóstico” empieza registrando los datos personales del paciente. Una vez registrado, procede con la toma de la imagen de fondo de ojo. El siguiente paso es asignar al validador 2 para que verifique el resultado

del diagnóstico y enviar a diagnosticar. El Sistema procesa la imagen con la red neuronal convolucional y determinar si tiene o no catarata. En este punto una notificación aparece en el teléfono del validador 2 mientras el validador 1 visualiza el resultado en un reporte. El validador 2 atiende la notificación donde visualizará el resultado. Este podrá decidir si el resultado es correcto o no. Finalmente, se realiza un análisis de los resultados obtenidos durante el proceso de la validación.

5.4 Métricas de calidad

Las métricas de calidad se basarán en el FURSP+, en el atributo de funcionalidad y aplicado al diagnóstico de catarata por parte de la red neuronal convolucional. Se definen estas tres métricas para evaluar la funcionalidad:

- Precisión: Porcentaje de precisiones correctas.
- Recall: Habilidad del clasificador de encontrar todos los casos positivos.
- F1-Score: Porcentaje de las predicciones positivas que fueron correctas.

Estas métricas se calculan a partir de los datos obtenidos en la Matriz de Confusión (ver Tabla 13). Lo que podemos observar de esta tabla son valores en sus intercesiones que se definen de la siguiente manera:

- Verdadero Positivo (TP): Cantidad de positivos que fueron clasificados correctamente como positivos por el modelo.
- Verdadero Negativo (VN): Cantidad de negativos que fueron clasificados correctamente como negativos por el modelo.
- Falso Positivo (FP): Cantidad de positivos que fueron clasificados incorrectamente como negativos.
- Falso Negativo (FN): Cantidad de negativos que fueron clasificados incorrectamente como positivos.

Tabla 13. Matriz de confusión

	<i>Actual Values</i>		
	Positive	Negative	
Predicted values	Positive Negative	True positives False negatives	False positives True negatives

A partir de estos valores se definen las métricas con las siguientes fórmulas:

- Precisión:

$$\frac{TP}{TP + FP} \quad \dots \quad (1)$$

- Recall:

$$\frac{TP}{TP + FN} \quad \dots \quad (2)$$

- F1-Score:

$$2 * \frac{precision * recall}{precision + recall} \quad \dots \quad (3)$$

5.5 Resultados

En la Tabla 14 encontramos los resultados de la métrica 1 (Precisión) para las dos clasificaciones definidas en el presente trabajo. Aplicando la fórmula (1), para la clasificación “Catarata”, nos da un 92% de predicciones correctas y un 8% de predicciones incorrectas. Para la clasificación “Normal”, tenemos un 82% de predicciones correctas y un 18% de predicciones incorrectas. Esto nos da un promedio de predicciones correctas de 87% y un 13% de predicciones incorrectas.

Tabla 14. Resultados de la métrica de precisión

<i>Clasificación</i>	<i>Predicciones correctas</i>	<i>Predicciones incorrectas</i>
Catarata	0.92	0.08
Normal	0.82	0.18
Promedio	0.87	0.13

En la Tabla 15 se encuentran los resultados de la métrica 2 (Recall) para las dos clasificaciones. Aplicando la fórmula (2), para la clasificación “Catarata”, nos da un 80% de casos positivos encontrados y un 20% de casos positivos no encontrados. Para la clasificación “Normal”, tenemos un 93% de casos positivos encontrados y un 7% de casos positivos no encontrados. Como promedio de casos positivos encontrados tenemos un 86% y un 14% de casos positivos no encontrados.

Tabla 15. Resultados de la métrica de recall

<i>Clasificación</i>	<i>Casos positivos encontrados</i>	<i>Casos positivos no encontrados</i>
Catarata	0.80	0.20
Normal	0.93	0.07
Promedio	0.86	0.14

En la Tabla 16 observamos los resultados de la métrica 3 (F1-Score) para las dos clasificaciones. Aplicando la fórmula (3), para la clasificación “Catarata”, nos da un 86% de predicciones positivas correctas y un 14% de predicciones positivas incorrectas. Para la clasificación “Normal”, tenemos un 87% de predicciones positivas correctas y un 13% de predicciones positivas incorrectas. Esto nos da como un promedio el 87% de predicciones positivas correctas y un 14% de predicciones positivas incorrectas.

Tabla 16. Resultados de la métrica de F1-Score

<i>Clasificación</i>	<i>Predicciones positivas correctas</i>	<i>Predicciones positivas incorrectas</i>
Catarata	0.86	0.14
Normal	0.87	0.13
Promedio	0.86	0.14

5.6 Discusión

Las métricas nos ayudan a evaluar el rendimiento y capacidad del modelo para predecir e identificar las clasificaciones definidas. En la Tabla 17 hemos resumido los resultados y podemos evaluar de manera conjunta los promedios. En todos los casos tenemos un porcentaje mayor a 80%. Para poder mejorar esto y dotar al modelo se necesitan mayor cantidad de imágenes de ambas clasificaciones. De esta forma evitamos el sobre ajuste, que solo reconozca las imágenes usadas en la etapa de entrenamiento. Además, se podría definir diferentes grados de la catarata, si se contara con más ejemplares.

Tabla 17. Tabla resumen de los resultados

<i>Métrica</i>	<i>Precisión</i>		<i>Recall</i>		<i>F1-Score</i>	
	<i>Predicciones correctas</i>	<i>Predicciones incorrectas</i>	<i>Casos positivos encontrado</i>	<i>Casos positivos no encontrado</i>	<i>Predicciones positivas correctas</i>	<i>Predicciones positivas incorrectas</i>
Promedio	0.87	0.13	0.86	0.14	0.86	0.14

Capítulo 6: Conclusiones y trabajo futuro

6.1 Conclusión

6.1.1 Conclusión general

En este estudio se propuso un Sistema para diagnosticar la catarata mediante el uso de Redes Neuronales. El objetivo del presente estudio fue reducir los costos incurridos en esta evaluación e incrementar su acceso en los lugares donde no hay presencia de oftalmólogos o que no tienen la experiencia suficiente, lo cual se ha alcanzado a través del desarrollo de los componentes de diagnósticos de catarata, vigilancia oftálmica y verificación de resultados. La solución propuesta permite al técnico capturar la imagen de fondo del paciente por medio de la cámara del teléfono inteligente, obtener un diagnóstico automático y un reporte de este, asignar a un oftalmólogo para que pueda dar el veredicto del resultado, y revisar el historial de diagnósticos realizados. Además, le permite al oftalmólogo ser notificado de cualquier verificación de resultado que se le asignó y dar su veredicto.

6.1.2 Conclusiones específicas

- *OE1: Analizar las investigaciones recientes sobre el diagnóstico de catarata.*

Mediante una revisión sistemática de la literatura, siguiendo un proceso estructurado y definido, nos permitió analizar las investigaciones recientes sobre el diagnóstico de catarata y proponer una taxonomía que incluye los diferentes métodos, características, clasificaciones y obstáculos al realizar el diagnóstico de catarata. Con el análisis, encontramos estudios que dan evidencia de la necesidad de una propuesta que brinde acceso fácil y confiable, como también las bases para desarrollar el modelo

- *OE2: Diseñar el modelo de Redes Neuronales para el diagnóstico de catarata.*

Este objetivo se pudo lograr gracias a la revisión de literatura. Se siguió los lineamientos del trabajo de Xiong et al. (2018) que hicieron la modificación al modelo ResNet-18 y el preprocesado a las imágenes de fondo de ojos. Según el autor, esta arquitectura es fácil de implementar y entrenar. Además, se definieron pasos para el

entrenamiento del modelo propuesto. Finalmente, se exporta para ser usado en un componente del sistema.

- *OE3: Crear el sistema siguiendo el ciclo de desarrollo de software y aplicando la ingeniería.*

El desarrollo del sistema se realizó siguiendo el marco ágil SCRUM, pero incluyendo el desarrollo de artefactos definidos por el proceso de desarrollo de software RUP. Se definieron 10 sprints para culminar el desarrollo del software con los artefactos definidos: Documento de Especificación de Requisitos, Documento de Análisis del Sistema, Documento de Diseño y Arquitectura, Documento de Plan de Pruebas, Documento de Especificación de Pruebas y Código Fuente.

- *OE4: Definir un proceso y métricas para validar la eficacia del sistema para diagnosticar la catarata.*

Se definieron dos procesos para validar el modelo y el sistema en general. También se definieron las siguientes métricas para evaluar el rendimiento y eficacia del modelo para diagnosticar la catarata: precisión, recall y F1-Score. Los resultados obtenidos muestran que el modelo da un diagnóstico aceptable lo que permite desarrollar una solución portable que pueda ser usada por instituciones de la salud en lugares alejados de las ciudades o no se cuente con personal experimentado o no cuente con los instrumentos necesario para realizar el examen.

6.2 Trabajo futuro

El Sistema propuesto podría ser mejorada al incluir en el diagnóstico el grado de la catarata para brindar con mayor precisión el tratamiento correspondiente al paciente. Esto se consigue con más ejemplares de imágenes de fondo de ojo. También, mejorar el componente de vigilancia oftálmica con una funcionalidad para que se establezca la comunicación entre el oftalmólogo y el técnico o paciente sobre el tratamiento que debería llevar.

Referencias Bibliográficas

- Jamison Jennifer, Cataracts, Clinical Guide to Nutrition & Dietary Supplements in Disease Management, 2003, pp. 259-264.
- Sodeman William y Sodeman Thomas, Cataracts: Patient and Caregiver's Guide, Instructions for Geriatric Patients, 2005, pp. 70.
- Erdurmus Mesut, Simavli Hüseyin y Aydin Bhari, Cataracts: An Overview, Handbook of Nutrition, Diet, and the Eye, 2014, pp. 21-28.
- Abel Robert, Cataracts, Integrative Medicine, v. 4, 2018, pp. 830-837.
- Erdurmus Mesut, Simavli Hüseyin y Aydin Bhari, Cataracts: An Overview, Handbook of Nutrition, Diet, and the Eye, v. 2, 2019, pp. 231-244.
- Vision 2020: the cataract challenge. (2000). Community Eye Health, 13(34), 17–19.
- INEI. Proyectos INEI. Obtenido de Perú: Enfermedades No Transmisibles y Transmisibles, 2019, https://proyectos.inei.gob.pe/endes/2019/SALUD/ENFERMEDADES_ENDES_2019.pdf, pp. 147.
- Congreso. Congreso del Perú. 2015, Obtenido de La Salud Ocular en el Perú: [http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/dgp/ciae.nsf/vf07web/86B81E9233B8CE4405257DA400770E09/\\$FILE/INFINVES92-2014-2015.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/dgp/ciae.nsf/vf07web/86B81E9233B8CE4405257DA400770E09/$FILE/INFINVES92-2014-2015.pdf), pp. 1 – 16.
- Wong Lenis, Mauricio David y Rodriguez Glen, A Systematic Literature Review About Software Requirements Elicitation, Journal of Engineering Science and Technology, v. 12, n. 2, 2017, pp. 296-317.
- Palomo C., Puell M., Capacity of straylight and disk halo size to diagnose cataract, 2015, pp. 1-6.
- Chen P., Tsai P., Lee C., Chang C., Congenital cataracts diagnosed by prenatal ultrasound, 2015, pp. 1-2.
- Yang J., Li J., Shen R-, Zeng Y., Exploiting ensemble learning for automatic cataract detection and grading, 2016, pp. 1-24.
- Erichsen J., Mensah A., Kessel L., Non-invasive tryptophan fluorescence measurements as a novel method of grading cataract., 2017, pp. 1-6.
- Sigit R., Kom M., Bayu M., Kurnia D., Si S., Classification of Cataract Slit-lamp Image Based on Machine Learning, 2018, pp 1-6.
- Zhou Y., Li G., Li H., Automatic Cataract Classification Using Deep Neural Network with Discrete State Transition, 2019, pp. 1-11.
- Lin H., Li R., Liu Z., Chen J., Yang Y., Chen H., Lin Z., Lai W., Long E., Wu X., Lin D., Zhu Y., Chen C., Wu D., Yu T., Cao Q., Li X., Li J., Li W., Wang J., Yang M., Hu H., Zhang L., Yu Y., Chen X., Hu J., Zhu K., Jian S., Huang Y., Tan G., Huang J., Lin X., Zhang X., Luo L., Liu X., Cheng B., Zheng D., Wu M., Chen W., Liu Y., Diagnostic Efficacy and Therapeutic Decision-making Capacity of an Artificial

Intelligence Platform for Childhood Cataracts in Eye Clinics: A Multicentre Randomized Controlled Trial, 2019, pp. 1-8.

- Patange S., Jagadale A., Framework for detection of cataract and gradation according to its severity, International Conference on Pervasive Computing (ICPC), 2015, pp. 1-3.
- Gao X., Lin S. y Wong T. Y., Automatic Feature Learning to Grade Nuclear Cataracts Based on Deep Learning, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, v.62, n. 11, 2015, pp. 2693-2701.
- Kaur M., Kaur J. y Kaur R., Low cost cataract detection system using smart phone, International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), 2015, pp. 1607-1609.
- Fuadah Y. N., Setiawan A. W., Mengko T. L. R. y Budiman, Mobile cataract detection using optimal combination of statistical texture analysis, International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICI-BME), 2015, pp. 232-236.
- Morales Lopez H. I., Sanchez Garacia J. C. y Diaz Mendez J. A., Cataract Detection Techniques: A Review, IEEE Latin America Transactions, v. 14, n. 7, 2016, pp. 3074-3079.
- Harini V. y Bhanumathi V., Automatic cataract classification system, International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), 2016, pp. 0815-0819.
- Patil D., Nair A., Bhat N., Chavan R. y Jadhav D., Analysis and study of cataract detection techniques, International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC), 2016, pp. 516-519.
- Shaheen I. y Akram M. U., An integrated framework for clinical grading of cataract, International Conference on Next Generation Computing Applications (NextComp), 2017, pp. 92-97.
- Qiao Z., Zhang Q., Dong Y. y Yang J., Application of SVM based on genetic algorithm in classification of cataract fundus images, IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST), 2017, pp. 1-5.
- Rana J. y Galib S. M., Cataract detection using smartphone, International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT), 2017, pp. 1-4.
- Li J., Hu Q., Imran A., Zhang L., Yang J. y Wang Q., Vessel Recognition of Retinal Fundus Images Based on Fully Convolutional Network, IEEE 42nd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), 2018, pp. 413-418.
- Cheng J., Sparse Range-Constrained Learning and Its Application for Medical Image Grading, IEEE Transactions on Medical Imaging, v. 37, n. 12, 2018, pp. 2729-2738.
- Dixit A., Pathak S., Raj R., Naveen C. y Satpute V. R., An Efficient Fuzzy Based Edge Estimation for Iris Localization and Pupil Detection in Human Eye for Automated Cataract Detection System, International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 2018, pp. 1-6.

- Song W., Cao Y., Qiao X., Wang Q. y Yang J., An Improved Semi-Supervised Learning Method on Cataract Fundus Image Classification, IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), 2019, pp. 362-367.
- Pratap T. y Kokil P., Computer-aided diagnosis of cataract using deep transfer learning, Biomedical Signal Processing and Control, v. 53, 2019.
- Guo L., Yang J., Peng L., Li J. y Liang Q., A computer-aided healthcare system for cataract classification and grading based on fundus image analysis, Computers in Industry, v. 69, 2015, pp. 72-80.
- Xiong Y., He Z., Niu k., Zhang H. y Song H., Automatic Cataract Classification Based on Multi-feature Fusion and SVM, IEEE 4th International Conference on Computer and Communications (ICCC), 2018, pp. 1557-1561.
- Li J., Xu X. y Guan Y., Automatic Cataract Diagnosis by Image-Based Interpretability, 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2018, pp. 1-6.
- Yusuf M., Theophilous S., Adejoke J. y Hassan A., Web-Based Cataract Detection System Using Deep Convolutional Neural Network, IEEE 2019, pp. 1-7.
- Zhang H. y He Z., Automatic Cataract Grading Methods Based on Deep Learning, 2019, pp. 1-19.
- Zhang X., Lv J., Zheng H. y Sang Y., Attention-Based Multi-Model Ensemble for Automatic Cataract detection in B-scan Eye Ultrasound Images, 2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2020, pp. 1-10.
- Retina Dataset (2016, Noviembre 01). Recuperado de https://github.com/yiweichen04/retina_dataset
- S. Hu et al., "Unified Diagnosis Framework for Automated Nuclear Cataract Grading Based on Smartphone Slit-Lamp Images," in IEEE Access, vol. 8, pp. 174169-174178, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3025346.
- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).

Anexos

Anexo A

Documento de Especificación de Requisitos

versión 01.01

CONFIDENCIAL Toda o parte de esta publicación no puede ser reproducida, transmitida, mantenida en algún sistema de recuperación, traducida en cualquier lenguaje humano o de computador, en cualquier forma o por cualquier medio: electrónico, mecánico, magnético, óptico, químico, manual o cualquier otro, sin previo permiso escrito de los autores. Asimismo, toda información técnica del software especificado, material técnico, diseños, modelos y otros son de exclusiva propiedad intelectual de Isaac Ñuflo y que no es cedida y/o transferida en ningún modo a terceros con la entrega de esta documentación.

RESUMEN DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Descripción de Modificaciones	Apartados Modificados	Responsable de la modificación
01.00	03/12/2019	No hay cambios, por ser primera versión		IÑG
01.01	05/12/2019	Se redactó mejor la descripción de los requisitos funcionales	4.3	IÑG

1. OBJETIVO

El presente documento tiene como objetivo especificar los requisitos elicitados para el Sistema de Diagnósticos de la Catarata.

2. ALCANCE

El presente documento tiene como alcance registrar todos los requisitos funcionales y no funcionales identificados. Esos requisitos serán refinados en iteraciones para que sean completos, consistentes, correctos, verificables, modificables, trazables, comprensibles, no ambiguos y priorizados.

3. CONSIDERACIONES

Estado del arte

Parte de los requisitos funcionales o no funciones serán extraídos de la revisión de la literatura sobre el diagnóstico de catarata aplicando Redes Neuronales en los últimos 5 años.

Ingeniería de Requisitos

Uso de las prácticas, técnicas brindadas de la Ingeniería de Requisitos para la elicitación de los requisitos.

4. LISTA DE REQUISITOS

4.1. Procesos

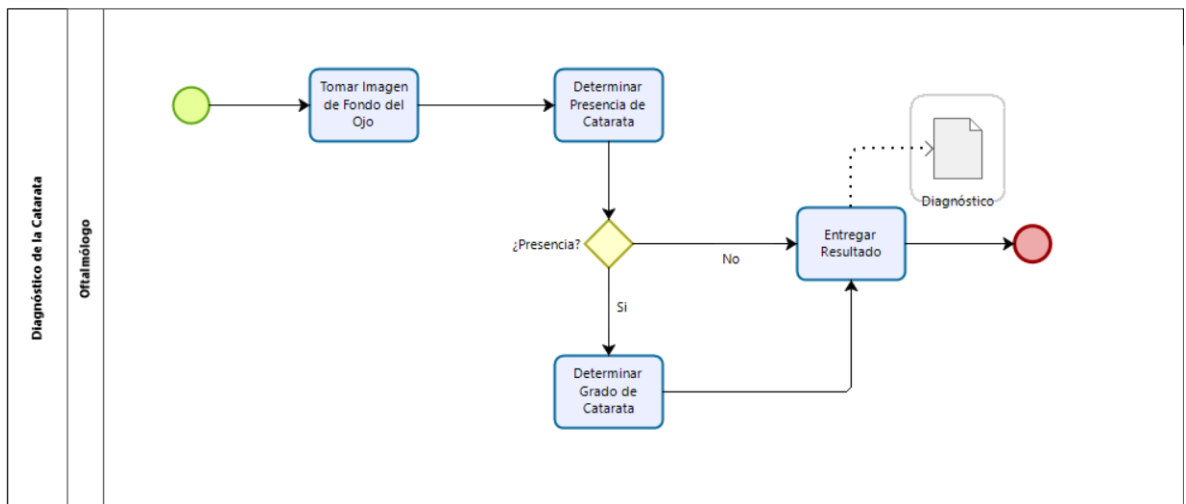
4.1.1. Diagnóstico de la Catarata

4.1.1.1. Ficha de proceso

Número o código de proceso	PROC-001	Proceso	Diagnóstico de la Catarata
		Responsable	Oftalmólogo
Objetivo / Propósito	Realizar un examen a un paciente para evaluar la presencia de la catarata en el ojo.		
Frecuencia	Este proceso se realiza cada vez que un paciente se presenta para realizarse un examen.		

Identificador	Actividad	Datos de Entrada	Datos de Salida
1	Tomar Imagen de Fondo del Ojo	Ajuste de cámara, intensidad y ubicación de la luz, y ojo del paciente.	Imagen de Fondo del Ojo
2	Determinar Presencia de Catarata	Fotografías estándares, Imagen de Fondo del Ojo, visualización de las arterias.	Existencia de la Catarata
3	Determinar Grado de Catarata	Fotografías estándares, Imagen de Fondo del Ojo	Grado de la Catarata
4	Entregar Resultado	Existencia de la Catarata, Grado de la Catarata, Imagen de Fondo del Ojo	Resultado del diagnóstico

4.1.1.2. Ficha de proceso



4.1.1.3. Descripción de Actividades

ID	Actividad	Descripción	Rol	Tipo
1	Tomar Imagen de Fondo del Ojo	Se realiza la actividad cuando un paciente acude al Oftalmólogo para que le realice un examen para diagnosticar la Catarata.	Oftalmólogo	Manual
2	Determinar Presencia de Catarata	Se realiza la actividad una vez se tenga la Imagen de Fondo del Ojo. El oftalmólogo compara la imagen con imágenes estándares, también la visibilidad de las arterias oculares.	Oftalmólogo	Manual
3	Determinar Grado de Catarata	Se realiza la actividad una vez el Oftalmólogo haya determinado la presencia de la Catarata. Nuevamente, compara la imagen con imágenes estándares.	Oftalmólogo	Manual

4	Entregar Resultado	Se realiza la actividad una vez el Oftalmólogo haya determinado la presencia o no de Catarata, y en caso sea positivo, determinado el grado de la Catarata. El oftalmólogo presenta los resultados al paciente.	Oftalmólogo	Manual
---	--------------------	---	-------------	--------

4.2. Actores

- Paciente: Persona a quien se la aplica la evaluación para diagnosticar la presencia de la Catarata en su ojo.
- Oftalmólogo: Persona con estudios médicos sobre el ojo humano, capaz de realizar exámenes para diagnosticar y brindar tratamiento a las enfermedades o anomalías oculares.
- Personal médico: Persona con entrenamiento básico para atender en un hospital.

4.3. Requisitos Funcionales

ID	Actor	Nombre Requisito	Descripción
RQ01	Oftalmólogo/Personal Médico	Capturar el fondo del ojo	El sistema debe permitir al Oftalmólogo o Personal médico capturar en una imagen el fondo del ojo del paciente.
RQ02	Oftalmólogo/Personal Médico	Diagnosticar presencia de la catarata	El sistema, usando una imagen de fondo del ojo del paciente, debe diagnosticar automáticamente la presencia de la catarata en el ojo.
RQ03	Oftalmólogo/Personal Médico	Diagnosticar grado de la catarata	El sistema, usando una imagen de fondo del ojo del paciente, debe diagnosticar automáticamente el grado de desarrollo de la catarata en el ojo.
RQ04	Oftalmólogo/Personal Médico	Elaborar un reporte del diagnóstico	El sistema debe presentar al final del diagnóstico un reporte con los siguientes datos: Datos personales del Paciente (Nombres, apellidos, edad, documento de identidad, ciudad en donde vive y departamento del país donde se ubica la ciudad), Presencia de la catarata, grado de desarrollo de la catarata, fecha y hora del diagnóstico, Imagen de fondo del ojo.
RQ05	Oftalmólogo/Personal Médico	Enviar a verificar el reporte del diagnóstico	El sistema debe permitir al Oftalmólogo o Personal médico enviar el reporte del diagnóstico a un Oftalmólogo con mayor experiencia para

			que, con el mismo sistema, verifique el reporte del diagnóstico y rectifique el resultado.
RQ06	Oftalmólogo	Almacenar el reporte del diagnóstico	El sistema debe almacenar el reporte del diagnóstico en una base de datos al enviarlo para su verificación.
RQ07	Oftalmólogo	Crear un historial de reportes de diagnóstico	El sistema debe permitir la creación de una relación de múltiples reportes de diagnóstico de un paciente.
RQ08	Oftalmólogo	Notificar una nueva petición de verificación	El sistema debe notificar al Oftalmólogo cada vez que un reporte de diagnóstico es enviado para su verificación.
RQ09	Oftalmólogo	Visualizar el reporte del diagnóstico	El sistema debe permitir al Oftalmólogo visualizar el reporte del diagnóstico e inspeccionar la imagen de fondo del ojo.
RQ10	Oftalmólogo	Verificar el reporte del diagnóstico	El sistema debe permitir al Oftalmólogo notificar su veredicto del reporte del diagnóstico adjuntando su nombre completo, correo electrónico y número de contacto
RQ11	Oftalmólogo	Consultar reportes de diagnóstico de un paciente	El sistema debe permitir al Oftalmólogo consultar, por paciente, todos los reportes de diagnóstico relacionados.
RQ12	Oftalmólogo/Personal Médico	Registrar los datos personales del paciente	El sistema debe permitir al Oftalmólogo o Personal médico registrar los datos personales del paciente: Nombres y apellidos, edad, documento de identidad, ciudad en donde vive y departamento del país donde se ubica la ciudad.

4.4. Requisitos No Funcionales

ID	FURSP+	Nombre Requisito	Descripción
RNF01	+ (Implementación)	Aplicación móvil	El sistema debe ser implementada para un teléfono inteligente con el sistema operativo Android.
RNF02	+ (Implementación)	Micro lente como accesorio	El sistema debe contemplar el uso de un micro lente que pueda usarse como accesorio. Este permitirá que se pueda visualizar el fondo del ojo.

RNF03	+ (Implementación)	Red neuronal convolucional	El sistema debe implementar una red neuronal convolucional para que realice un diagnóstico automático de la catarata.
RNF04	Confiabilidad	Reintento de envío a verificar el resultado del diagnóstico	El sistema, en caso falle el envío, reintentará 2 veces enviar el resultado del diagnóstico.
RNF05	Rendimiento	Respuesta del diagnóstico	El sistema debe ser capaz de dar el reporte del diagnóstico en un tiempo no mayor a 1 minuto.
RNF06	Usabilidad	Lenguaje apropiado	El sistema debe contener términos apropiados para el campo de la oftalmología.
RNF07	Rendimiento	Precisión del diagnóstico	El sistema debe tener una precisión para diagnosticar la catarata mayor a 80%

4.5. Prototipos

4.5.1.Registro de datos personales del paciente

Regresar

Datos personales del paciente

Nombre*

Apellido*

Edad* Documento de identidad*

Ciudad*

Departamento del país*
Lima

Teléfono

Correo electrónico

Siguiente

4.5.2. Captura de imagen de fondo de ojo



4.5.3. Diagnosticando



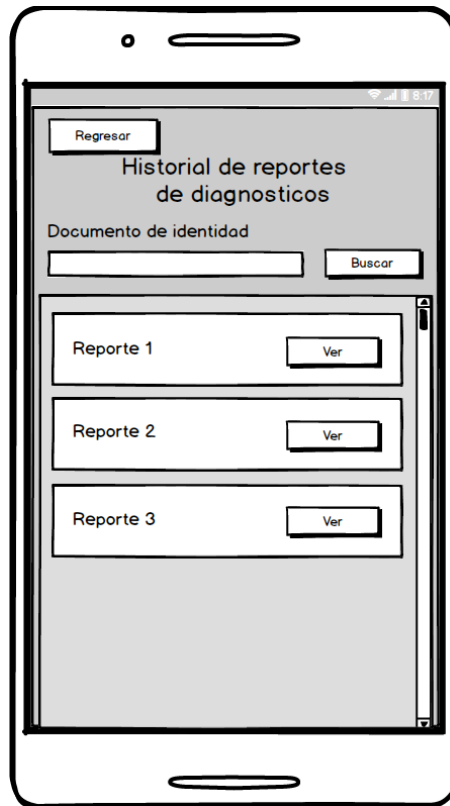
4.5.4. Reporte del diagnóstico



4.5.5. Reportes de diagnóstico pendientes a verificar



4.5.6. Historial de reportes de diagnóstico



Anexo B

Documento de análisis

Version 01.01

CONFIDENCIAL Toda o parte de esta publicación no puede ser reproducida, transmitida, mantenida en algún sistema de recuperación, traducida en cualquier lenguaje humano o de computador, en cualquier forma o por cualquier medio: electrónico, mecánico, magnético, óptico, químico, manual o cualquier otro, sin previo permiso escrito de los autores. Asimismo, toda información técnica del software especificado, material técnico, diseños, modelos y otros son de exclusiva propiedad intelectual de Isaac Ñuflo y que no es cedida y/o transferida en ningún modo a terceros con la entrega de esta documentación.

RESUMEN DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Descripción de Modificaciones	Apartados Modificados	Responsable de la modificación
01.00	05/12/2019	No hay cambios, por ser primera versión		IÑG
01.01	12/06/2020	Ajustes en las especificaciones.	4.4	IÑG

1. OBJETIVO

El presente documento tiene como objetivo desarrollar el análisis del sistema en base a los requisitos elicitados para el Sistema de Diagnóstico de Catarata.

2. ALCANCE

El presente documento tiene como alcance validar los requisitos, identificar los casos de uso del sistema y la relación con los requisitos, y su especificación.

3. ANÁLISIS DE LOS REQUISITOS

3.1. Matriz de Requisitos vs Requisitos

En la siguiente matriz se evalúa si un requisito entra en conflicto o es redundante con otro requisito, donde 1 significa que el requisito es independiente, 2 significa que el requisito es redundante y 3 significa que el requisito entra en conflicto.

	RQ0 1	RQ0 2	RQ0 3	RQ0 4	RQ0 5	RQ0 6	RQ0 7	RQ0 8	RQ0 9	RQ1 0	RQ1 1	RQ1 2
RQ0 1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RQ0 2			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RQ0 3				1	1	1	1	1	1	1	1	1
RQ0 4					1	1	1	1	1	1	1	3
RQ0 5						1	1	1	1	1	1	1
RQ0 6							1	1	1	1	1	1
RQ0 7								1	1	1	1	1
RQ0 8									1	1	1	1
RQ0 9										1	1	1
RQ1 0											1	1

RQ1 1													1
RQ1 2													

De la matriz no encontramos conflictos o redundancia de los requisitos, entre ellos.

3.2. Validación de Requisitos

En el siguiente cuadro se validaron los requisitos si cumplían con los atributos: completo, consistente, correcto y no ambiguo. Se encontraron que algunos requisitos no cumplían con los atributos de completo y no ambiguo. Luego de este hallazgo se modificó el documento de Especificación de Requisitos generando su versión 01.01.

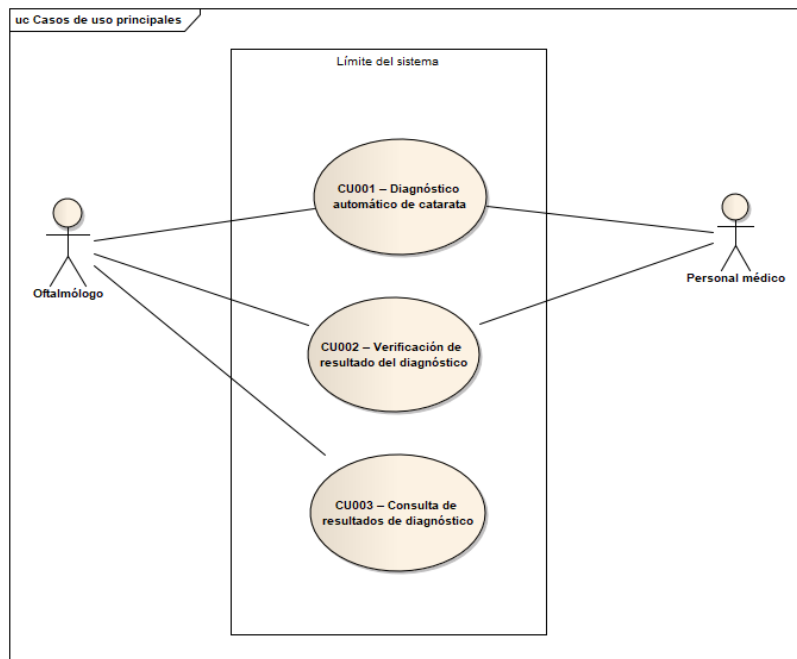
VALIDACIÓN DE REQUISITOS								
Requisitos	¿El requisito es completo?		¿El requisito es consistente?		¿El requisito es correcto?		¿El requisito es no ambiguo?	
	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple
RQ01	x		x		x		x	
RQ02		x	x		x			x
RQ03		x	x		x			x
RQ04	x			x	x			x
RQ05		x	x		x		x	
RQ06	x		x		x		x	
RQ07	x		x		x			x
RQ08	x		x		x		x	
RQ09	x		x		x			x
RQ10	x		x		x		x	
RQ11	x		x		x		x	
RQ12	x		x		x		x	

4. CASOS DE USO

4.1. Identificación de actores y casos de uso

Actor	Caso de uso en los que participa
Oftalmólogo	<ol style="list-style-type: none"> CU001 – Diagnóstico automático de catarata CU002 – Verificación de resultado del diagnóstico CU003 – Consulta de resultados de diagnóstico
Personal médico	<ol style="list-style-type: none"> CU001 – Diagnóstico automático de catarata CU002 – Verificación de resultado del diagnóstico

4.2. Diagrama de casos de uso



4.3. Matriz de Requisitos vs Casos de Uso

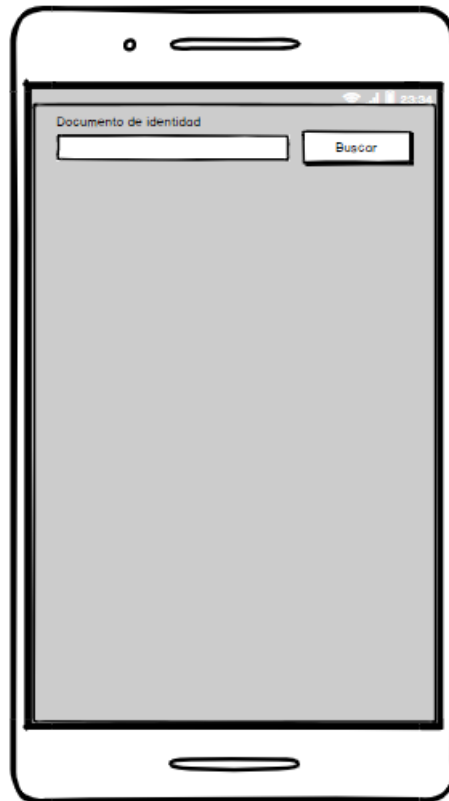
RQ/CU	CU001	CU002	CU003
RQ01	x		
RQ02	x		
RQ03	x		
RQ04	x		
RQ05		x	
RQ06		x	
RQ07		x	
RQ08		x	
RQ09		x	x
RQ10		x	
RQ11			x
RQ12	x		

4.4. Casos de Uso en formato expandido con pantallas

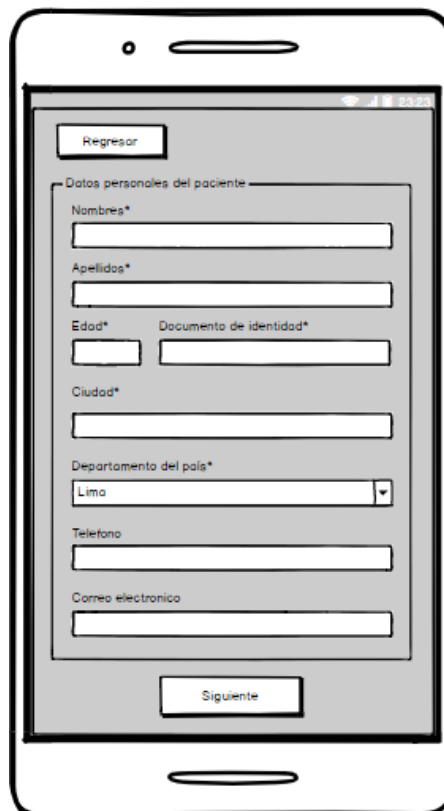
CASO DE USO	CU001 – Diagnóstico automático de catarata
DESCRIPCIÓN	Esta funcionalidad permitirá determinar si existe la presencia de la catarata y su grado de desarrollo en el ojo del paciente analizando la imagen de fondo del ojo.
ACTORES	Oftalmólogo, Personal médico
REFERENCIA DE REQUERIMIENTO	RQ01, RQ02, RQ03, RQ04 y RQ12
PRECONDICIONES	
<ul style="list-style-type: none"> ● Autenticación de seguridad por parte del Oftalmólogo o Personal médico. ● El Sistema esté en funcionamiento. ● Se tenga colocado el micro lente en la cámara del teléfono inteligente. ● El Oftalmólogo o Personal médico escogió la opción “Evaluar” ● El teléfono inteligente tiene conexión a internet. 	
5. ESCENARIO PRIMARIO:	
5.1. El Sistema muestra la pantalla (PANTALLA 1.1: Buscar un paciente por el documento de identidad) con el campo Documento de identidad.	
5.2. El Oftalmólogo o Personal médico ingresa el Documento de identidad del paciente y presiona el botón “Buscar”.	
5.3. El Sistema muestra el mensaje “Paciente no registrado”.	
5.4. El Sistema presenta un formulario (PANTALLA 1.2: Formulario de datos personales del paciente) con los siguientes campos:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Nombres ● Apellidos ● Edad ● Documento de identidad ● Ciudad ● Departamento del país donde se ubica la ciudad. ● Teléfono ● Correo electrónico 	
5.5. El Oftalmólogo o Personal médico llena el formulario y presiona el botón “Siguiente”.	
5.6. El Sistema muestra la pantalla (PANTALLA 1.3: Diagnostico de la catarata) con lo siguiente:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Nombres y apellidos del paciente. ● Un recuadro donde muestra lo que la cámara recibe. ● Botón “Capturar”. ● Botón “Diagnosticar” 	
5.7. El Oftalmólogo o Personal médico, enfocando la cámara en el ojo del paciente, presiona el botón “Capturar”.	
5.8. El Sistema captura la imagen y la conserva en la pantalla.	
5.9. El Oftalmólogo o Personal médico elige el médico que va a verificar el resultado, y presiona el botón “Diagnosticar”.	
5.10. El Sistema extrae la región de interés de la imagen (pupila).	
5.11. El Sistema transforma los colores de la imagen a una escala de gris en el canal de color verde para segmentar las venas.	
5.12. El Sistema extrae las características de la imagen aplicando el modelo de red neuronal convolucional pre entrenado RestNet-18.	
5.13. El Sistema aplica al resultado del modelo de red neuronal convolucional pre entrenado RestNet-18 el algoritmo supervisado “Máquina de Vectores de Soporte” para clasificar la catarata.	
5.14. El Sistema presenta en la pantalla (PANTALLA 1.: Reporte del diagnóstico) los siguiente datos:	
<ul style="list-style-type: none"> ● Datos personales del paciente: Nombres, apellidos, edad, documento de identidad, ciudad en donde vive y departamento del país donde se ubica la ciudad. ● Presencia de la catarata (Sí o no). 	

<ul style="list-style-type: none"> ● Grado de desarrollo de la catarata (No catarata, muy leve, leve, moderada, severo y muy severo) ● Fecha y hora del diagnóstico ● Imagen de fondo del ojo. <p>5.15. El Sistema almacena los resultados en una base de datos.</p> <p>5.16. El Sistema cambia el estado del reporte de diagnóstico de Pendiente a Por Verificar.</p> <p>5.17. El Caso de Uso concluye.</p>
<p>6. ESCENARIOS SECUNDARIOS:</p> <p>6.1. Paciente ya está registrado</p> <p>6.1.1. En el punto 1.2 del escenario primario, si el paciente ya existe, se muestra el formulario (PANTALLA 1.2: Formulario de datos personales del paciente) con los datos del paciente.</p> <p>6.1.2. El caso de uso retorna al punto 1.5 del escenario primario.</p> <p>6.2. Campos vacíos.</p> <p>6.2.1. En el punto 1.5 del escenario primario, si alguno de los campos del formulario está vacío entonces el Sistema muestra el mensaje “Campo vacío” debajo del campo que aplique.</p> <p>6.3. Validaciones no cumplidas.</p> <p>6.3.1. En el punto 1.5 del escenario primario, si alguno de los campos del formulario no cumplen con las validaciones de longitud o caracteres entonces el Sistema muestra el mensaje “Caracteres inválidos” o “Número de caracteres exceden el permitido”, según corresponda, debajo del campo que aplique.</p> <p>6.3.2. El caso de uso retorna al punto 1.1 del escenario primario.</p> <p>6.4. Cancelación del diagnóstico.</p> <p>6.4.1. En los puntos 1.2, 1.4, 1.6 del escenario primario, si el Oftalmólogo o Personal médico presiona el botón “regresar”, el Sistema regresa al menú principal.</p> <p>6.4.2. El caso de uso termina.</p> <p>6.5. Problemas al registrar en la base de datos.</p> <p>6.5.1. En el punto 1.12 del escenario primario, si se presenta problemas al registrar el reporte de diagnóstico a verificar en la base de datos entonces el Sistema muestra el mensaje “Error al registrar la solicitud”.</p> <p>6.5.2. El caso de uso retorna al punto 1.5 del escenario primario.</p> <p>6.6. Problemas al diagnosticar.</p> <p>6.6.1. En el punto 1.7, 1.8, 1.9 y 1.10 del escenario primario, si se presenta problemas al diagnosticar entonces el Sistema muestra el mensaje “Error al diagnosticar la catarata”.</p>
<p>7. POSTCONDICIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Resultado del diagnóstico en un reporte.
<p>8. REQUISITOS NO FUNCIONALES RNF01, RNF02, RNF03, RNF06, RNF08</p>

PANTALLA 1.1: Buscar un paciente por el documento de identidad.



PANTALLA 1.2: Formulario de datos personales del paciente



PANTALLA 1.3: Diagnostico de la catarata



PANTALLA 1.4: Reporte del diagnóstico



CUADRO 1.1: VALIDACIONES

	Cuadro de Texto	Obl	LMin	LMax	Carac	Mascara	Observaciones
1	Nombres	Sí	2	50	Letras	Nombres	Acepta espacios
2	Apellidos	Sí	2	50	Letras	Apellidos	Acepta espacios
3	Edad	Sí	1	3	Numérico	Edad	Número positivo
4	Documento de identidad	Sí	8	8	Numérico	Documento de identidad	Puede comenzar con 0
5	Ciudad	Sí	2	50	Letras	Ciudad	Acepta espacios
6	Departamento del país	Sí	2	50	Letras	Departamento del país	Son opciones predeterminadas.
7	Teléfono	No	0	9	Numérico	Teléfono	No acepta guiones
9	Correo electrónico	No	0	100	Alfanumérico	Correo electrónico	No acepta espacios

CASO DE USO	CU002 – Verificación de resultado del diagnóstico
DESCRIPCIÓN	Esta funcionalidad permitirá que el resultado del diagnóstico sea verificado por un Oftalmólogo con mayor experiencia de manera remota.
ACTORES	Oftalmólogo, Personal médico
REFERENCIA DE REQUERIMIENTO	RQ05, RQ06, RQ07, RQ08, RQ09, RQ10
PRECONDICIONES	
<ul style="list-style-type: none"> ● Autenticación de seguridad por parte del Oftalmólogo o Personal médico. ● El Sistema esté en funcionamiento. ● Se ha realizado un diagnóstico de catarata. ● Se tiene un reporte de diagnóstico almacenado en la base de datos. ● El teléfono inteligente tiene conexión a internet. ● El Oftalmólogo o Personal médico escogió la opción “Verificar”. 	
1. ESCENARIO PRIMARIO:	
1.1. El Sistema muestra un listado de los reportes de diagnóstico con su estado (Por Verificar y Verificado) (PANTALLA 2.1: Listado de reportes de diagnóstico).	
1.2. El Oftalmólogo o Personal médico elige el reporte de diagnóstico con estado Por verificar y presiona el botón “Verificar”.	
1.3. El Sistema muestra el reporte del diagnóstico (PANTALLA 2.2: Verificación el reporte de diagnóstico):	
<ul style="list-style-type: none"> ● Datos personales del paciente: Nombres, apellidos, edad, documento de identidad, ciudad en donde vive y departamento del país donde se ubica la ciudad. ● Presencia de la catarata (Sí o no) ● Grado de desarrollo de la catarata (leve, moderada, severo) ● Fecha y hora del diagnóstico ● Imagen de fondo del ojo. 	
1.4. El Oftalmólogo amplía la imagen de fondo del ojo.	
1.5. El Oftalmólogo, luego de su inspección, presiona el botón “Confirmar”.	

<p>1.6. El Sistema muestra un mensaje de confirmación (PANTALLA 2.3: Confirmación de verificación del reporte de diagnóstico).</p> <p>1.7. El Oftalmólogo presiona el botón “Aceptar”.</p> <p>1.8. El Sistema cambia el estado del reporte de diagnóstico a Verificado.</p> <p>1.9. El caso de uso termina.</p>
<p>2. ESCENARIOS SECUNDARIOS:</p> <p>2.1. Verificación de diagnóstico por notificación.</p> <p>2.1.1. El Sistema notifica al Oftalmólogo, que está en un lugar remoto.</p> <p>2.1.2. El Oftalmólogo recibe la notificación y la inspecciona presionándola.</p> <p>2.1.3. El caso de uso retorna al punto 1.3 del escenario primario.</p> <p>2.2. Problemas al registrar en la base de datos.</p> <p>2.2.1. En el punto 1.3 del escenario primario, si se presenta problemas al registrar el reporte de diagnóstico a verificar en la base de datos entonces el Sistema muestra el mensaje “Error al registrar la solicitud”.</p> <p>2.2.2. El caso de uso retorna al punto 1.1 del escenario primario.</p> <p>2.3. Cancelación de la verificación.</p> <p>2.3.1. En los puntos 1.2, 1.8, 1.9 y 1.11 del escenario primario, si el Oftalmólogo o Personal médico presiona el botón “regresar”, el Sistema regresa al menú principal.</p> <p>2.3.2. El caso de uso termina.</p> <p>2.4. Cancelación de la confirmación.</p> <p>2.4.1. En los puntos 1.10 del escenario primario, si el Oftalmólogo o Personal médico presionar el botón “Cancelar”, el Sistema desaparece el mensaje de confirmación.</p> <p>2.4.2. El caso de uso retorna al punto 1.7 del escenario primario.</p>
<p>3. POSTCONDICIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio del estado de un reporte de diagnóstico de un paciente.
<p>4. REQUISITOS NO FUNCIONALES</p> <p>RNF01, RNF04, RNF06, RNF07</p>

PANTALLA 2.1: Listado de reportes de diagnóstico



PANTALLA 2.2: Verificación el reporte de diagnóstico



PANTALLA 2.3: Confirmación de verificación del reporte de diagnóstico



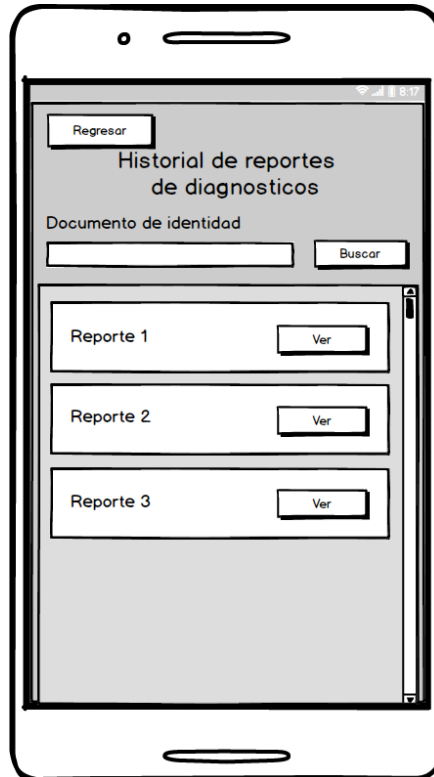
CASO DE USO	CU003 – Consulta de resultados de diagnóstico
DESCRIPCIÓN	Esta funcionalidad permitirá al Oftalmólogo consultar, por paciente, los reportes de diagnósticos realizados previamente con el fin de hacer un seguimiento.
ACTORES	Oftalmólogo
REFERENCIA DE REQUERIMIENTO	RQ09, RQ11
PRECONDICIONES	
<ul style="list-style-type: none"> ● Autenticación de seguridad por parte del Oftalmólogo o Personal médico. ● El Sistema esté en funcionamiento. ● El teléfono inteligente cuenta con conexión a internet. ● El oftalmólogo escogió la opción “Vigilancia”. 	
5. ESCENARIO PRIMARIO:	
<p>5.1. El Sistema muestra la pantalla (PANTALLA 3.1: Consulta de reportes de diagnóstico) con lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Cuadro de texto “Documento de Identidad” ● Botón “Buscar” <p>5.2. El Oftalmólogo ingresa el nombre o apellido del paciente en el cuadro de texto y presiona el botón “Buscar”</p> <p>5.3. El Sistema busca y recupera de la base de datos todos los reportes de diagnósticos relacionados a lo ingresado en el cuadro de texto “Documento de Identidad”.</p> <p>5.4. El Sistema muestra en una lista de los reportes de diagnósticos relacionados al paciente. Cada elemento de la lista tiene un botón “Ver” en la parte derecha.</p> <p>5.5. El Oftalmólogo elige un reporte de diagnóstico de la lista presionando el botón “Ver”.</p> <p>5.6. El Sistema busca y recupera de la base de datos la información de reporte de diagnóstico:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Datos personales del paciente: Nombres, apellidos, edad, documento de identidad, ciudad en donde vive y departamento del país donde se ubica la ciudad. ● Presencia de la catarata (Sí o no) ● Grado de desarrollo de la catarata (leve, moderada, severo) ● Fecha y hora del diagnóstico ● Imagen de fondo del ojo. <p>5.7. El Sistema muestra la información recuperada (PANTALLA 3.2: Reporte del diagnóstico).</p> <p>5.8. El caso de uso termina.</p>	
6. ESCENARIOS SECUNDARIOS:	
<p>6.1. Campos vacíos.</p> <p>6.1.1. En el punto 1.2 del escenario primario, si el cuadro de texto “Documento de Identidad” está vacío entonces el Sistema muestra el mensaje “Ingrese un Documento de Identidad” debajo del cuadro de texto.</p> <p>6.1.2. El caso de uso retorna al punto 1.1 del escenario primario.</p> <p>6.2. Validaciones no cumplidas.</p> <p>6.2.1. En el punto 1.2 del escenario primario, si el cuadro de texto “Documento de Identidad” no cumple con las validaciones de longitud o caracteres entonces el Sistema muestra el mensaje “Caracteres inválidos” o “Número de caracteres exceden el permitido”, según corresponda, debajo del cuadro de texto.</p> <p>6.2.2. El caso de uso retorna al punto 1.1 del escenario primario.</p> <p>6.3. Cancelación de la consulta.</p> <p>6.3.1. En los puntos 1.2 y 1.5 del escenario primario, si el Oftalmólogo presiona el botón “regresar”, el Sistema regresa al menú principal.</p> <p>6.3.2. El caso de uso termina.</p> <p>6.4. Reportes de diagnósticos no encontrados.</p> <p>6.4.1. En el punto 1.3 del escenario primario, si el documento de identidad ingresado no tiene reportes de diagnósticos entonces el Sistema muestra el mensaje “No se encontraron Reportes de diagnósticos” (PANTALLA 3.3: No se encontraron Reportes de diagnóstico).</p>	

<p>6.4.2. El caso de uso retorna al punto 1.1 del escenario primario.</p> <p>6.5. Reportes de diagnósticos no encontrados.</p> <p>6.5.1. En el punto 1.3 y 1.6 del escenario primario, si el Sistema no puede conectarse a la base de datos entonces muestra el mensaje “Error de conexión” (PANTALLA 3.4: Error de conexión).</p> <p>6.5.2. El caso de uso retorna al punto 1.1 del escenario primario.</p>
<p>7. POSTCONDICIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Reporte de diagnóstico consultado.
<p>8. REQUISITOS NO FUNCIONALES</p> <p>RNF01</p>

CUADRO 3.1: VALIDACIONES

	Cuadro de Texto	Obl	LMin	LMax	Carac	Mascara	Observaciones
1	Documento de identidad	Sí	8	8	Numérico	Documento de identidad	Puede comenzar con 0

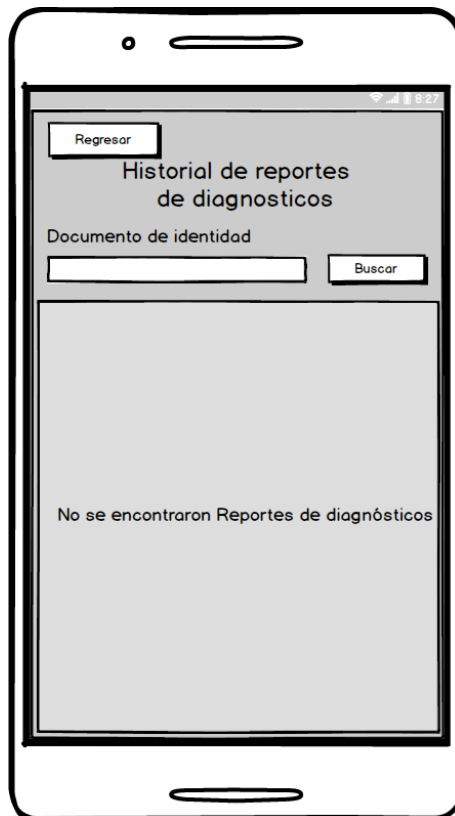
PANTALLA 3.1: Consulta de reportes de diagnóstico



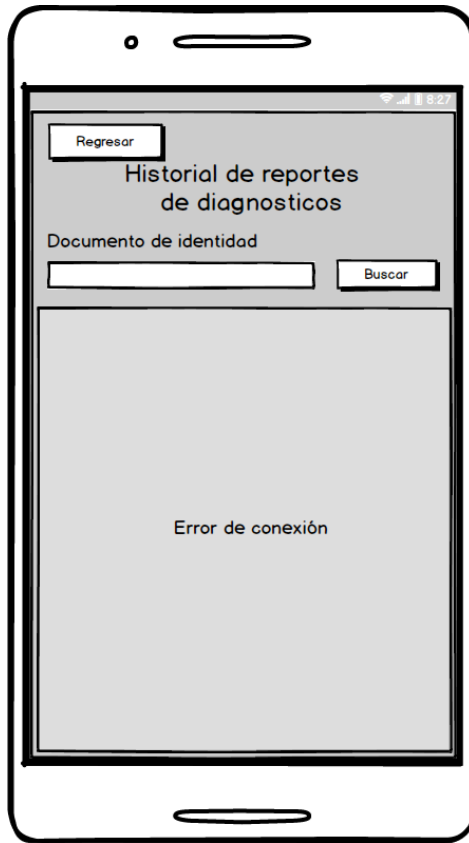
PANTALLA 3.2: Reporte del diagnóstico



PANTALLA 3.3: No se encontraron Reportes de diagnóstico



PANTALLA 3.4: Error de conexión



Anexo C

Documento de Diseño y Arquitectura

Versión 01.00

RESUMEN DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Descripción de Modificaciones	Apartados Modificados	Responsable de la modificación
01.00	06/12/2019	No hay cambios, por ser primera versión		IÑG

1.

CONFIDENCIAL Toda o parte de esta publicación no puede ser reproducida, transmitida, mantenida en algún sistema de recuperación, traducida en cualquier lenguaje humano o de computador, en cualquier forma o por cualquier medio: electrónico, mecánico, magnético, óptico, químico, manual o cualquier otro, sin previo permiso escrito de los autores. Asimismo, toda información técnica del software especificado, material técnico, diseños, modelos y otros son de exclusiva propiedad intelectual de Isaac Ñuflo y que no es cedida y/o transferida en ningún modo a terceros con la entrega de esta documentación.

OBJETIVO

El presente documento tiene como objetivo desarrollar el diseño del sistema para realizar las funcionalidades y soportar los requisitos no funcionales definidos para el Sistema de Diagnóstico de Catarata.

2. ALCANCE

El presente documento tiene como alcance detallar:

- El diagrama de contexto
- La arquitectura del sistema
- El diagrama de componentes
- El diagrama de clases
- El diagrama de paquetes
- El diagrama de estados
- El diagrama de despliegue
- El diagrama de entidad-relación
- El diagrama lógico

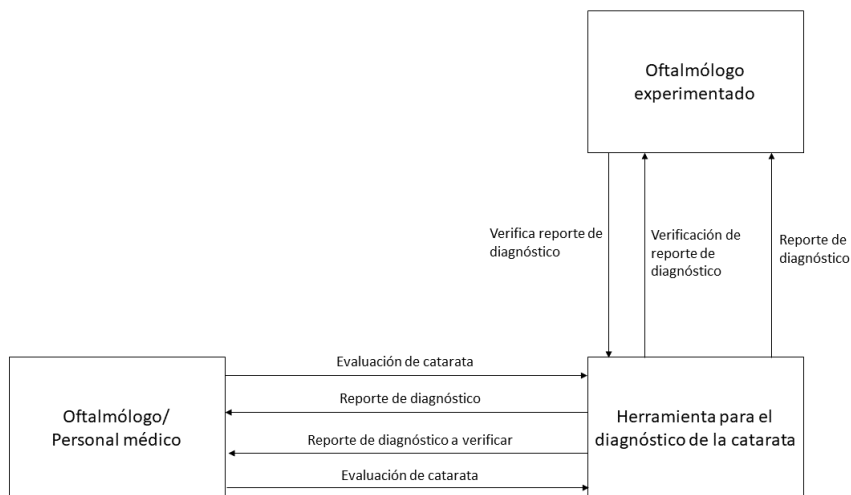
3. CONSIDERACIONES

UML

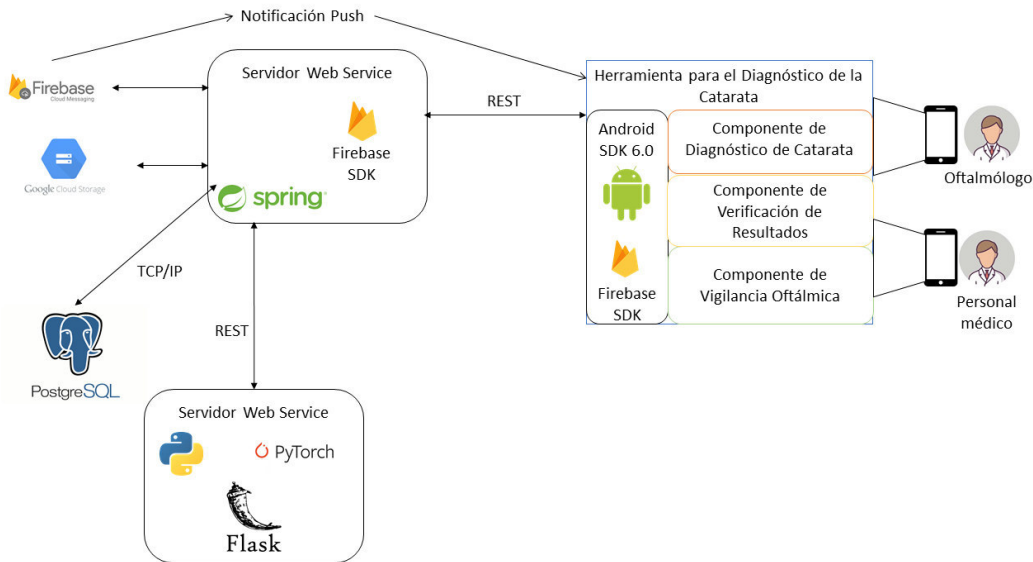
El presente documento utiliza el Lenguaje Unificado de Modelado para sus diagramas para el entendimiento común del diseño.

4. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

4.1. Diagrama de contexto



4.2. Arquitectura General del Sistema



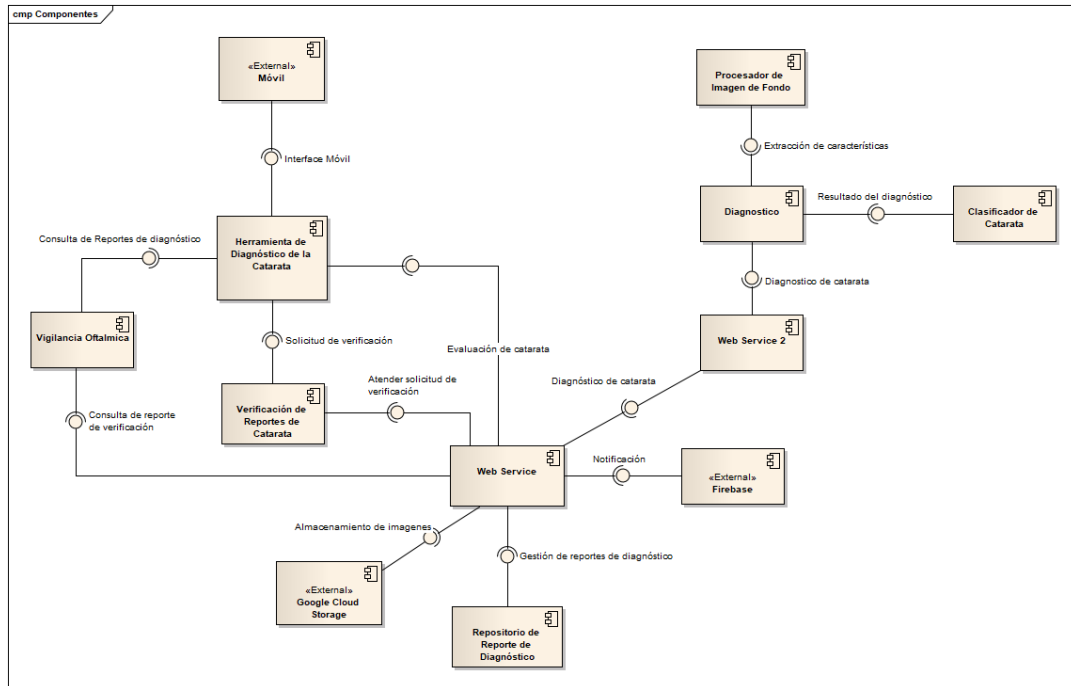
4.3. Descripción General del Sistema

La arquitectura consta de 4 partes:

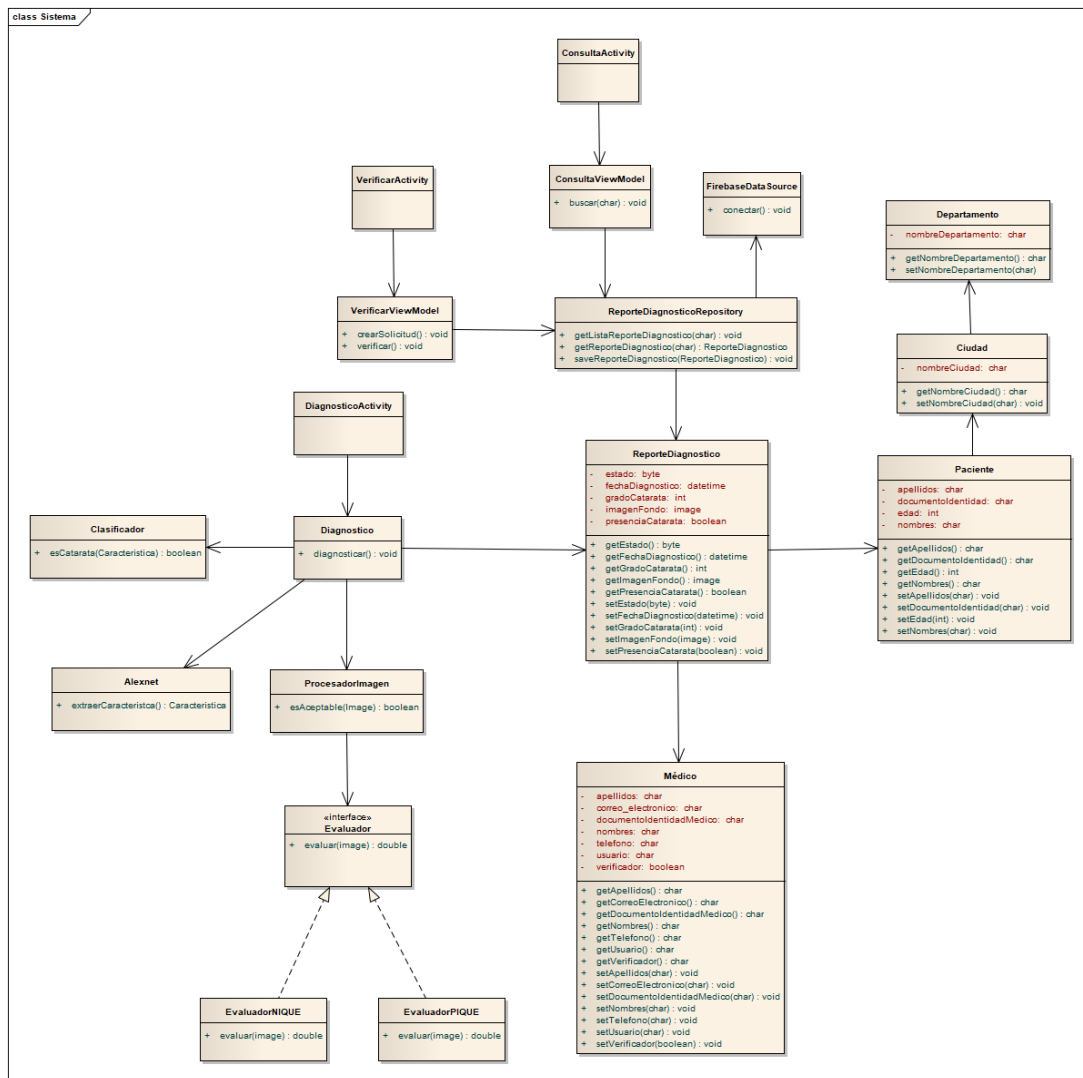
- **Firebase Cloud Messaging (FCM):** Este es un software como servicio que nos permite enviar notificaciones push. Una vez que se crea una solicitud de verificación, el Servidor Web Service le indica al FCM el emisor y el destinatario (El oftalmólogo) para que pueda recibir una notificación en el teléfono inteligente.
- **Google Cloud Storage (GCS):** Este es un servicio en la nube que nos permite almacenar las imágenes de fondo de ojo analizadas y diagnóstico.
- **Servidor Web Service (SWS):** Se tienen dos servidores. Un servidor implementa un Web Service REST usando el microframework Flask (Versión 1.1.1) con el lenguaje de programación Python (Versión 3.6.5). Este tendrá la responsabilidad del diagnóstico de la catarata usando Redes Neuronales. El otro servidor implementa un Web Service REST usando el framework Spring (Versión 5.2) con el lenguaje de programación Java (Versión 8). Este se encarga de recibir las solicitudes de verificación y diagnóstico, almacenándolas en la base de datos PostgreSQL (Versión 11.8) y consumir los servicios del FCM y GCS. También brinda los métodos para la autenticación de los usuarios.
- **Sistema para el Diagnóstico de Catarata:** Aplicación móvil sobre el sistema operativo Android (Versión 6.0) que implementa las funcionalidades para el Diagnóstico de la Catarata, Verificación de resultados del diagnóstico y Vigilancia Oftálmica. Esta aplicación consumirá los servicios del Servidor Web Service y estará atento a las notificaciones push del FCM.

5. DIAGRAMA

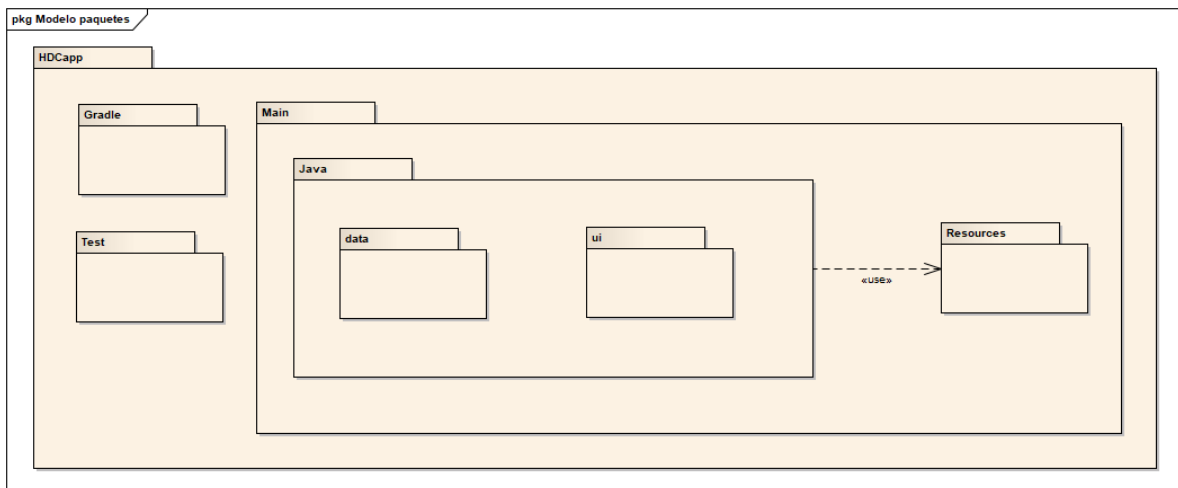
5.1. Diagrama de Componentes



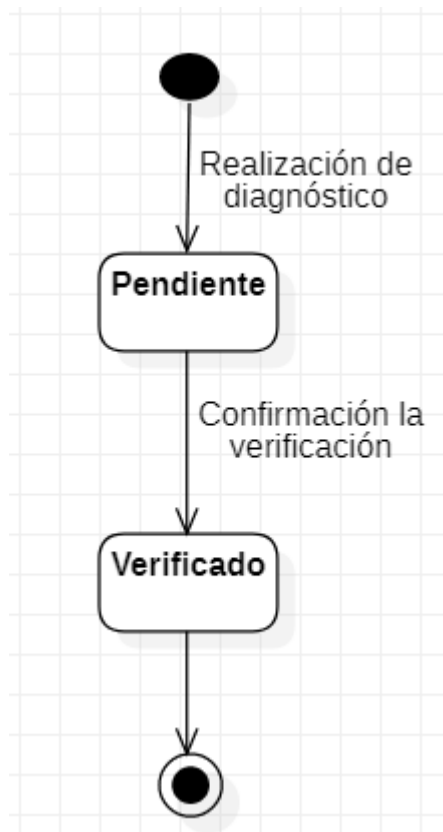
5.2. Diagrama de Clases



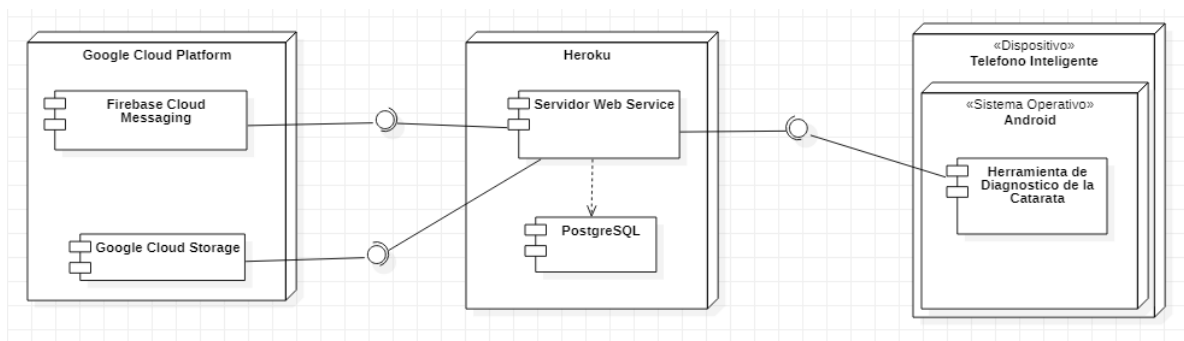
5.3. Diagrama de Paquetes



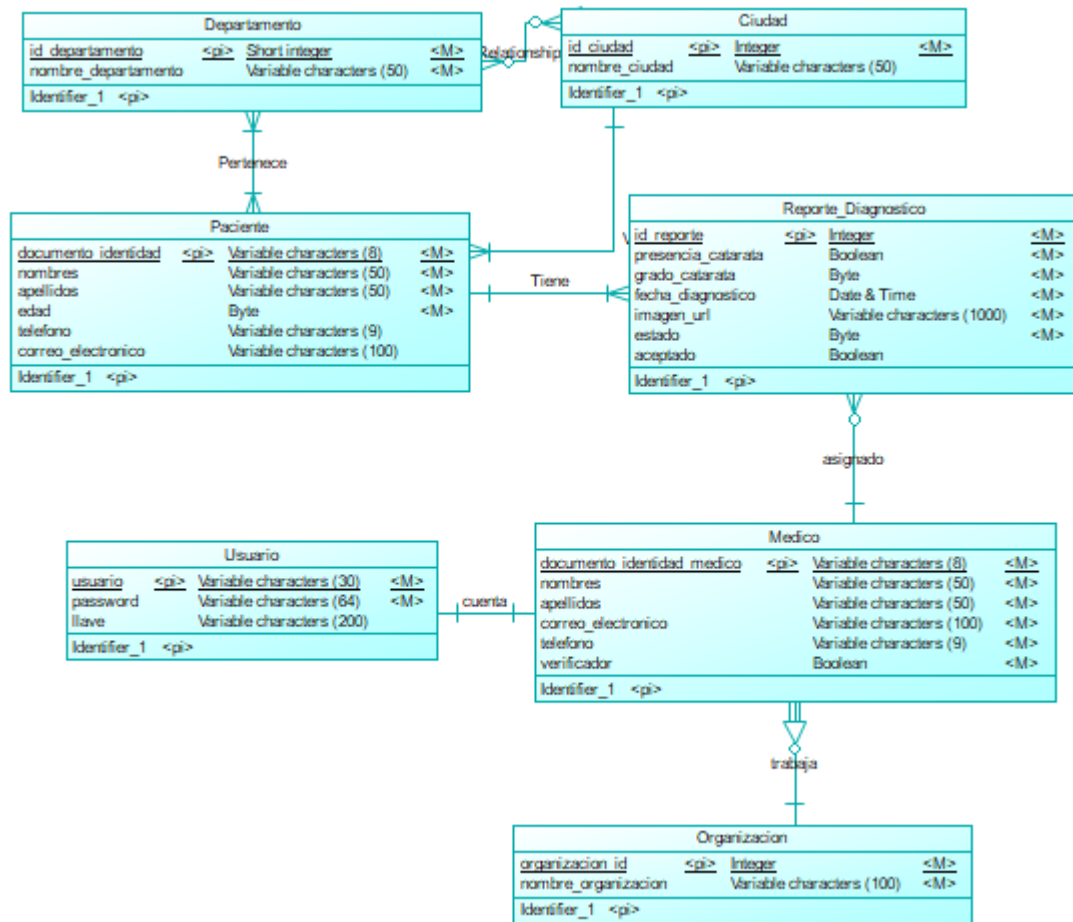
5.4. Diagrama de Estados



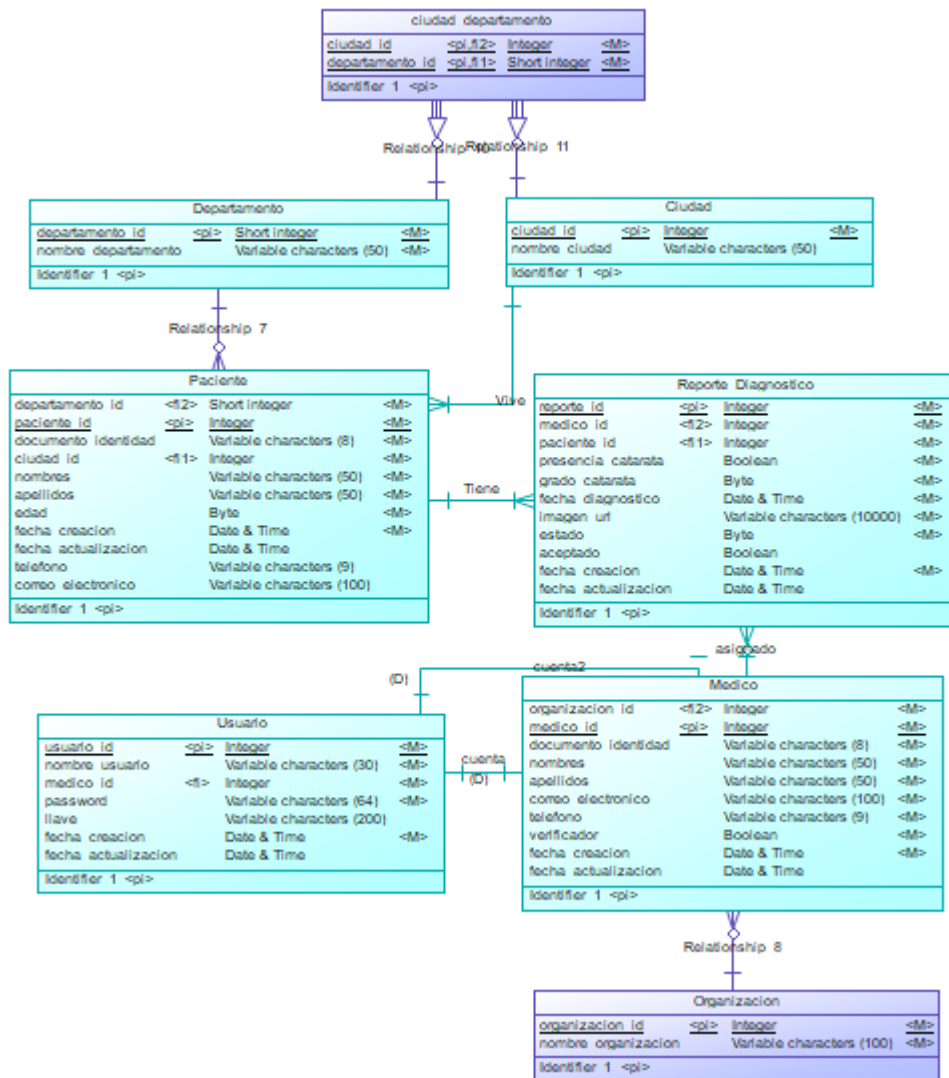
5.5. Diagrama de Despliegue



5.6. Diagrama Entidad-Relación



5.7. Diagrama de diseño lógico



Nombre Tabla: Reporte_Diagnostico

Definición Tabla: Tabla para los reportes de diagnóstico

Id	COLUMNA	TIPO DE DATO	NULO	DEFINICIÓN COLUMNA	PK	F K
1	Reporte_id	Integer	NO	Identificador único para el reporte de diagnóstico	Si	No
2	Paciente_id	Integer	NO	Identificador único para el paciente	No	Si
3	Medico_id	Integer	NO	Identificador único para el médico	No	Si
4	Presencia_catarata	Boolean	NO	Campo que describe si tiene o no catarata	No	No

5	Grado_catarata	Byte	NO	Grado de la catarata	No	No
6	Fecha_diagnostico	Datetime	NO	Fecha y hora en que se realizó el diagnóstico	No	No
7	Imagen_fondo	Image	NO	Imagen de fondo de ojo	No	No
8	estado	Byte	NO	Estado del reporte	No	No
9	aceptado	Boolean	SI	Indica si el reporte fue aceptado o rechazado por el médico verificador	No	No
10	Fecha_creacion	Datetime	NO	Fecha y hora en que se creó el reporte	No	No
11	Fecha_actualizacion	Datetime	SI	Fecha y hora en que se actualizó el reporte	No	No

Nombre Tabla: Paciente

Definición Tabla: Tabla para los datos personales del paciente

Id	COLUMNA	TIPO DE DATO	NULO	DEFINICIÓN COLUMNA	PK	FK
1	Paciente_id	Integer	NO	Identificador único para el paciente	Si	No
2	Documento_identidad	Variable character	NO	Documento de identidad del paciente	No	No
3	Ciudad_id	Integer	NO	Identificador de la ciudad	No	Si
4	Departamento_id	Integer	NO	Identificador del departamento	No	Si
5	nombres	Variable character	NO	Nombres del paciente	No	No
6	apellidos	Variable character	NO	Apellidos del paciente	No	No
7	edad	Byte	NO	Edad del paciente	No	No
8	Telefono	Variable character	SI	Telefono del paciente	No	No
9	Correo_electronico	Variable character	SI	Correo electrónico del paciente	No	No
8	Fecha_creacion	Datetime	NO	Fecha y hora en que se creó el reporte	No	No
9	Fecha_actualizacion	Datetime	SI	Fecha y hora en que se actualizó el reporte	No	No

Nombre Tabla: Ciudad**Definición Tabla:** Tabla para las ciudades

Id	COLUMNA	TIPO DE DATO	NULO	DEFINICIÓN COLUMNA	PK	F K
1	Ciudad_id	Integer	NO	Identificador de la ciudad	Si	No
2	Nombre_ciudad	Variable character	NO	Nombre de la ciudad	No	No

Nombre Tabla: Departamento**Definición Tabla:** Tabla para los departamentos

Id	COLUMNA	TIPO DE DATO	NULO	DEFINICIÓN COLUMNA	PK	F K
1	Departamento_id	Short Integer	NO	Identificador del departamento	Si	No
2	Nombre_departamento	Variable character	NO	Nombre del departamento	No	No

Nombre Tabla: ciudad_departamento**Definición Tabla:** Tabla para los departamentos

Id	COLUMNA	TIPO DE DATO	NULO	DEFINICIÓN COLUMNA	PK	F K
1	Ciudad_id	Short Integer	NO	Identificador de la ciudad	Si	Si
2	Departamento_id	Short Integer	NO	Identificador del departamento	Si	Si

Nombre Tabla: Medico**Definición Tabla:** Tabla para los médicos

Id	COLUMNA	TIPO DE DATO	NULO	DEFINICIÓN COLUMNA	PK	F K
1	Medico_id	Integer	NO	Documento de identidad del médico	Si	No
2	Organizacion_id	Integer	NO	Identificador de la organizacion	No	Si

3	Documento_identidad	Variable character	NO	Documento de identidad del médico	No	No
4	nombres	Variable character	NO	Nombres del médico	No	No
5	apellidos	Variable character	NO	Apellidos del médico	No	No
6	Correo_electronico	Variable character	NO	Correo electrónico del médico	No	No
7	telefono	Variable character	NO	Teléfono del médico	No	No
8	evaluador	Boolean	NO	Indica si el médico puede realizar una verificación	No	No
9	Fecha_creacion	Datetime	NO	Fecha y hora en que se creó el médico	No	No
10	Fecha_actualizacion	Datetime	SI	Fecha y hora en que se actualizó el médico	No	No

Nombre Tabla: Usuario

Definición Tabla: Tabla para los usuarios

Id	COLUMNA	TIPO DE DATO	NULO	DEFINICIÓN COLUMNA	PK	FK
1	Usuario_id	Integer	NO	Identificador único del usuario	Si	No
2	Nombre_usuario	Variable character	NO	Nombre del usuario	No	No
2	Medico_id	Integer	NO	Identificador único del médico	No	Si
3	Password	Variable character	NO	Contraseña del usuario	No	No
4	llave	Variable character	NO	Llave para encriptar	No	No
8	Fecha_creacion	Datetime	NO	Fecha y hora en que se creó el médico	No	No
9	Fecha_actualizacion	Datetime	SI	Fecha y hora en que se actualizó el médico	No	No

Nombre Tabla: Organizacion

Definición Tabla: Tabla para las organizaciones

Id	COLUMNA	TIPO DE DATO	NULO	DEFINICIÓN COLUMNA	PK	F K
1	Organización_id	Integer	NO	Identificador único de la organización	Si	No
2	Nombre_organizacion	Variable character	NO	Nombre de la organización	No	No

Índices de la Base de Datos:

NOMBRE TABLA	NOMBRE ÍNDICE	CARACTERÍSTICAS	COLUMNAS	ORDEN
Reporte_Diagnostico	Reporte_udx	UNIQUE	Reporte_id	1
	Reporte_medico_idx	LOGGING	Medico_id	1
	Reporte_paciente_idx	LOGGING	Paciente_id	1
Paciente	Paciente_udx	UNIQUE	Paciente_id	1
	Paciente_ciudad_idx	LOGGING	Ciudad_id	1
	Paciente_departamento_idx	LOGGING	Departamento_id	1
Ciudad	Ciudad_udx	UNIQUE	Ciudad_id	1
Departamento	Departamento_udx	UNIQUE	Departamento_id	1
Medico	Medico_udx	UNIQUE	Medico_id	1
	Medico_organizacion_idx	LOGGING	Organización_id	1
Usuario	usuario_nombreusuario_udx	UNIQUE	nombre_usuario	1
	Usuario_udx	UNIQUE	Usuario_id	1
Organizacion	Organización_udx	UNIQUE	Organización_id	1
Ciudad_departamento	Ciudad_departamento_udx	UNIQUE		
	Ciudad_departamento_idx	LOGGING		
	Ciudad_departamento_idx1	LOGGING		

Anexo D

Documento de Plan de Pruebas

Versión 01.00

CONFIDENCIAL Toda o parte de esta publicación no puede ser reproducida, transmitida, mantenida en algún sistema de recuperación, traducida en cualquier lenguaje humano o de computador, en cualquier forma o por cualquier medio: electrónico, mecánico, magnético, óptico, químico, manual o cualquier otro, sin previo permiso escrito de los autores. Asimismo, toda información técnica del software especificado, material técnico, diseños, modelos y otros son de exclusiva propiedad intelectual de Isaac Ñuflo y que no es cedida y/o transferida en ningún modo a terceros con la entrega de esta documentación.

RESUMEN DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Descripción de Modificaciones	Apartados Modificados	Responsable de la modificación
01.00	07/12/2019	No hay cambios, por ser primera versión		IÑG

1. OBJETIVO

El presente documento tiene como objetivo detallar el plan para realizar las pruebas de software para el Sistema de Diagnóstico de Catarata.

2. ALCANCE

El presente documento tiene como alcance describir los elementos de la prueba, el enfoque, el criterio de éxito o fracaso, criterios de suspensión y requisitos de reanudación, entregables, las tareas, riesgos y contingencias.

3. INTRODUCCIÓN

3.1. Objetivos de las pruebas

- Identificar defectos y fallas.
- Medir el rendimiento.
- Evaluar la calidad.
- Determinar el cumplimiento de los requerimientos.

3.2. Alcance de las pruebas

Las pruebas serán aplicadas a los componentes del Sistema de Diagnóstico de Catarata. Se asume que antes de probar cada componente, habrá una revisión informal y solo el código que ha sido revisado como exitoso será probado.

3.3. Referencias

- Documento de Especificación de Requisitos
- Documento de análisis

4. ELEMENTOS DE LA PRUEBA

Todos los elementos que conforman el Sistema de Diagnóstico de Catarata se probarán durante la prueba del software. Las versiones a probar serán colocadas en las bibliotecas apropiadas por el administrador de configuración. El administrador también controlará los cambios en las versiones bajo prueba, y notificará al grupo cuando haya nuevas versiones disponibles.

Los siguientes documentos proveerán la base para el correcto funcionamiento:

- Documento de Especificación de Requisitos
- Documento de análisis
- Documento de Diseño y Arquitectura
- Módulo de Diagnóstico de Catarata

- Módulo de Verificación de Resultado de Diagnóstico
- Módulo de Consulta de Resultados de Diagnóstico

4.1. Módulo del Sistema

Tipo	Nombre
Código fuente	Módulo de Diagnóstico de Catarata
	Módulo de Verificación de Resultado de Diagnóstico
	Módulo de Consulta de Resultados de Diagnóstico

4.2. Procedimiento del sistema

Los procedimientos del Sistema de Diagnóstico de Catarata están especificados en el Documento de análisis.

4.3. Características a probar

La siguiente lista especifica las características que serán probadas:

Número de especificación	Descripción
Especificación 01	Módulo de evaluación
Especificación 02	Módulo de verificación
Especificación 03	Módulo de consulta

5. ENFOQUE

El personal de prueba utilizará la documentación del Sistema de Diagnóstico de Catarata para preparar todas las especificaciones de diseño de prueba, caso y procedimiento. Este enfoque verificará la exactitud y exhaustividad de la información en la documentación en las áreas cubiertas por las pruebas.

6. CRITERIOS DE ÉXITO/FRACASO

6.1. Errores Graves

Diagnóstico errado, información mal registrada en la base de datos, caídas de programas, incumplimiento de objetivos en funciones principales, etc.

6.2. Errores Medios

Errores en documentos impresos que se entregan a personas ajenas a la organización, errores en presentación de datos, incumplimiento de objetivos en funciones secundarias, caídas de programas auxiliares, etc.

6.3. Errores leves

Errores en presentación de datos secundarios, no adecuación a estándares, comportamientos correctos pero diferentes en situaciones similares, dificultades de operación, etc.

Se aprobará el proyecto con un 100% de las pruebas ejecutadas pero con un 90 % de aceptación. Esto quiere decir el 90 % de las pruebas deben ser exitosas y sin errores. El restante 10% pueden existir errores medios o bajos, pero no graves. En caso de ocurrir que el proyecto no cumpla con el nivel exigido, el proyecto se rechaza completo en su etapa de certificación.

7. CRITERIOS DE SUSPENSIÓN Y REQUISITOS DE REANUDACIÓN

7.1. Criterios de suspensión

Las pruebas serán suspendidas en fallos de diseño críticos que requieren un rediseño de la interfaz de usuario, o un funcionamiento inadecuado de tipo crítico. Las pruebas serán concluidas cuando el código esté completo y sea revisado por completo.

7.2. Requisitos de reanudación

Cuando se transmite una nueva versión del sistema al grupo de prueba después de producirse una suspensión de la prueba, se ejecutará una prueba de regresión.

8. ENTREGABLES

Los siguientes serán los artefactos entregables de las pruebas, que quedarán a disposición de los Interesados:

- Resúmenes de Evaluación de las Pruebas

9. NECESIDADES DEL AMBIENTE DE PRUEBAS

9.1. Hardware

Snapdragon 835 de ocho núcleos 2.35GHz, 4GB RAM.

9.2. Software

Nombre del Elemento de Software	Versión	Tipo y otras notas
Python	3.6.x	Lenguaje de programación para el servidor
Android	6.0	Sistema Operativo para Teléfonos Inteligentes
Postgresql	11.6	Base de datos

10. RESPONSABILIDADES

Recursos Humanos		
Rol	Recursos Mínimos Recomendados (número de roles de tiempo complete localizados)	Responsabilidades específicas o comentarios
Test Manager	1	Coordinar que el plan de pruebas se lleve a cabo y hacer la planeación de éste.
Diseñador de Pruebas	1	Definir una aproximación técnica al esfuerzo de pruebas. Sus responsabilidades incluyen: <ul style="list-style-type: none">· Definir una aproximación de la prueba· Verificar las técnicas de las pruebas· Definir elementos de prueba· Estructurar la implementación de las pruebas

Analista de pruebas	1	<p>Identifica y define cómo serán llevadas pruebas específicas.</p> <p>Sus responsabilidades incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Identificar ideas de prueba · Definir detalles de la prueba · Determinar los resultados de la prueba · Documentar las solicitudes de cambios · Evaluar la calidad del producto
Tester	1	<p>Implementar y ejecutar las pruebas.</p> <p>Sus responsabilidades incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Implementar pruebas · Ejecutar las pruebas · Registrar los resultados · Analizar y recuperar sobre fallos de prueba · Documentar las incidencias

11. RIESGOS Y CONTINGENCIAS

Riesgos	Plan de Contingencia	Impacto
Alguna de las personas no está debidamente capacitadas	<ul style="list-style-type: none"> ● Capacitar al personal ● Reemplazar al personal por nuevo personal capacitado 	Todas las áreas pueden verse afectadas por una mala capacitación
Tiempo de prueba mayor al previsto	<ul style="list-style-type: none"> ● Mejorar el plan de prueba ● Capacitar mejor al personal ● Utilizar mayor número de personas en el plan de pruebas ● Iniciar nuevamente con el plan de pruebas 	El área de la alta gerencia es la más afectada por la inconformidad que el cliente pueda manifestar
Errores a la hora de hacer la ejecución del plan de pruebas	<ul style="list-style-type: none"> ● Volver a hacer cada una de las pruebas e identificar los errores. 	En el área de pruebas y el área de desarrollo y mantenimiento de software.

12. CRONOGRAMA

Tarea	Tarea predecesora	Habilidades	Responsables	Esfuerzo
(1)Preparar el Plan de Prueba	-----	Conocimiento del negocio.	Test manager Senior Test analista	4
(2)Preparar la especificación del Diseño de Prueba.	Tarea 1	Conocimiento de los procedimientos del Sistema	Senior test Analista	6
(3)Preparar la especificación del Caso de Prueba.	Tarea 2 completa	-----	Analista de pruebas	4
(4)Preparar la especificación del Procedimiento de Pruebas.	Tarea 3 completa	-----	Analista de pruebas	4

Anexo E

Documento de Especificación de Pruebas

Versión 01.00

CONFIDENCIAL Toda o parte de esta publicación no puede ser reproducida, transmitida, mantenida en algún sistema de recuperación, traducida en cualquier lenguaje humano o de computador, en cualquier forma o por cualquier medio: electrónico, mecánico, magnético, óptico, químico, manual o cualquier otro, sin previo permiso escrito de los autores. Asimismo, toda información técnica del software especificado, material técnico, diseños, modelos y otros son de exclusiva propiedad intelectual de Isaac Ñuflo y que no es cedida y/o transferida en ningún modo a terceros con la entrega de esta documentación.

RESUMEN DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Descripción de Modificaciones	Apartados Modificados	Responsable de la modificación
01.00	28/06/2020	No hay cambios, por ser primera versión		IÑG

1. OBJETIVO

El presente documento tiene como objetivo detallar las especificaciones de las pruebas de software para el Sistema de Diagnóstico de Catarata.

2. ALCANCE

El presente documento tiene como alcance describir las precondiciones, los pasos y resultados esperados de cada prueba.

3. ESPECIFICACION DE PRUEBAS

3.1. CU001 – Diagnostico automático de catarata

3.1.1. EP001 – Paciente no existe

3.1.1.1. Precondiciones

- Login satisfactorio.

3.1.1.2. Pasos

- Ingresar a la sección “Diagnostico” del menú principal.
- Escribir el documento de identidad de un nuevo paciente y presionar el botón “Buscar”.

3.1.1.3. Resultados esperados

- Se muestra el formulario con los campos vacíos:
 - Nombres*
 - Apellidos*
 - Edad*
 - Documento de Identidad*
 - Ciudad*
 - Departamento del país*
 - Teléfono
 - Correo electrónico

PrimeromiSalud 77% 14:32

← Paciente

48221588 **BUSCAR**

Nombres

Apellidos

Edad

Seleccione Departamento

Seleccione Ciudad

Correo

Telefono

CONTINUAR

3.1.2.EP002 – Paciente ya registrado

3.1.2.1. Precondiciones

- Login satisfactorio.

3.1.2.2. Pasos

- Ingresar a la sección “Diagnostico” del menú principal.
- Escribir el documento de identidad de un paciente ya registrado y presionar el botón “Buscar”.

3.1.2.3. Resultados esperados

- Se muestra el formulario con los datos del paciente. La información opción (Teléfono y correo electrónico) pueden venir vacíos.
 - Nombres*
 - Apellidos*
 - Edad*
 - Documento de Identidad*
 - Ciudad*

- Departamento del país*
- Teléfono
- Correo electrónico

PrimerMiSalud 77% 14:33

← Paciente

75328398

Isaac Elias

Avenida

32

Lima

Lima

isaac@gmail.com

999999999

3.1.3.EP003 – Reporte de diagnóstico

3.1.3.1. Precondiciones

- Login satisfactorio
- Haber llenado el formulario de paciente
- Haber tomado la foto de fondo del ojo

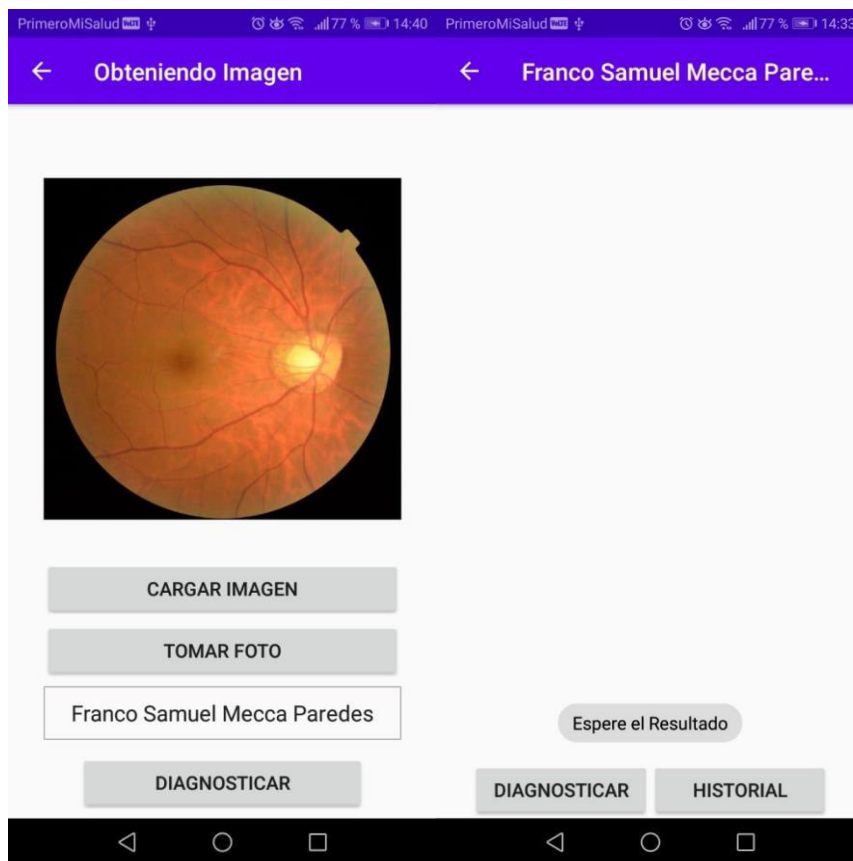
3.1.3.2. Pasos

- Seleccionar a un médico verificador.
- Presionar el botón “Diagnosticar”

3.1.3.3. Resultados esperados

- Se guardó o actualizó la data del paciente en la base de datos
- Se asignó la verificación al médico seleccionado
- Se creó el registro del reporte en la base de datos

- Se almacenó la imagen de fondo de ojo en Google Cloud Storage
- Se determinó la presencia y el grado de catarata
- Se muestra el reporte de diagnóstico:
 - Fecha
 - Nombres y apellidos del paciente
 - Documento de identidad
 - Ciudad y departamento del país
 - Foto de fondo del ojo
 - Presencia de catarata
 - Grado de catarata
 - Médico verificador



3.2. CU002 – Verificación de resultado del diagnóstico

3.2.1. EP004 – Diagnósticos por verificar

3.2.1.1. Precondiciones

- Login satisfactorio.
- Se le asignó una verificación de un diagnóstico de catarata.

3.2.1.2. Pasos

- Ingresar a la sección “Verificación de diagnósticos” del menú principal.

3.2.1.3. Resultados esperados

- Se muestra un listado con los diagnósticos de catarata con el estado “Por verificar”, con un botón “Verificar” en la parte derecha.

3.2.2.EP005 – Verificar diagnóstico de catarata (Rechazar)

3.2.2.1. Precondiciones

- Login satisfactorio
- Se le asignó una verificación de un diagnóstico de catarata
- Ingresó a la sección “Verificación de diagnósticos” del menú principal

3.2.2.2. Pasos

- Presionar el botón “Verificar” de uno de los registros de la lista
- Presionar el botón “Rechazar”
- Confirmar la acción

3.2.2.3. Resultados esperados

- Se guarda la verificación en la base de datos
- Se regresa a la sección “Verificación de diagnósticos”

3.2.3.EP006 – Verificar diagnóstico de catarata (Confirmar)

3.2.3.1. Precondiciones

- Login satisfactorio
- Se le asignó una verificación de un diagnóstico de catarata
- Ingresó a la sección “Verificación de diagnósticos” del menú principal

3.2.3.2. Pasos

- Presionar el botón “Verificar” de uno de los registros de la lista
- Presionar el botón “Confirmar”
- Confirmar la acción

3.2.3.3. Resultados esperados

- Se guarda la verificación en la base de datos
- Se regresa a la sección “Verificación de diagnósticos”

3.3. CU003 – Consulta de resultado de diagnóstico

3.3.1.EP007 – Historial de un paciente

3.3.1.1. Precondiciones

- Login satisfactorio.

3.3.1.2. Pasos

- Ingresar a la sección “Historial de diagnósticos” del menú principal.
- Ingresar el documento de identidad del paciente.
- Presionar el botón “Buscar”.

3.3.1.3. Resultados esperados

- Se muestra un listado con los diagnósticos de catarata realizados al paciente. El listado incluye los diagnósticos realizados o verificador por el médico.

3.3.2.EP008 – Historial de diagnósticos

3.3.2.1. Precondiciones

- Login satisfactorio.

3.3.2.2. Pasos

- Ingresar a la sección “Historial de diagnósticos” del menú principal.

3.3.2.3. Resultados esperados

- Se muestra un listado con los diagnósticos de catarata realizados o verificados por el médico.

3.3.3.EP009 – Paciente no tiene historial

3.3.3.1. Precondiciones

- Login satisfactorio.

3.3.3.2. Pasos

- Ingresar a la sección “Historial de diagnósticos” del menú principal.
- Ingresar el documento de identidad del paciente.
- Presionar el botón “Buscar”

3.3.3.3. Resultados esperados

- No se muestra resultado alguno.

3.3.4.EP010 – Visualizar un reporte de diagnóstico

3.3.4.1. Precondiciones

- Login satisfactorio.

3.3.4.2. Pasos

- Ingresar a la sección “Historial de diagnósticos” del menú principal.
- Ingresar el documento de identidad del paciente.
- Presionar el botón “Buscar”

3.3.4.3. Resultados esperados

- Se muestra la pantalla:
 - Fecha
 - Nombres y apellidos del paciente
 - Documento de identidad
 - Ciudad y departamento del país
 - Foto de fondo del ojo
 - Presencia de catarata
 - Grado de catarata
 - Médico verificador