



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
COMPUTACIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERÍA EN SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**TEMA: DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN CON REDES  
NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DIAGNÓSTICO PREVENTIVO  
DE LA RETINOPATÍA DIABÉTICA**

**AUTOR: HERNANDEZ CARRASCO, FERNANDO PATRICIO**

**DIRECTOR: SONIA ELIZABETH CÁRDENAS DELGADO, Ph.D.**

**SANGOLQUÍ**

**2019**

## CERTIFICACIÓN

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS E INFORMÁTICA



## CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DIAGNÓSTICO PREVENTIVO DE LA RETINOPATÍA DIABÉTICA**” fue realizado por el señor **HERNANDEZ CARRASCO FERNANDO PATRICIO**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido, por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 28 de enero de 2019.

Atentamente,

Ing. Sonia Cárdenas, Ph. D.

CC: 1713261160

**DIRECTORA**

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS E INFORMÁTICA



## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **HERNANDEZ CARRASCO FERNANDO PATRICIO**, con cédula de identidad Nro. 172342107-7, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DIAGNÓSTICO PREVENTIVO DE LA RETINOPATÍA DIABÉTICA”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 28 de enero de 2019.



Hernandez Carrasco Fernando Patricio

CC: 1723421077

## AUTORIZACIÓN

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS E INFORMÁTICA



## AUTORIZACIÓN

Yo, **HERNANDEZ CARRASCO FERNANDO PATRICIO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL DIAGNÓSTICO PREVENTIVO DE LA RETINOPATÍA DIABÉTICA**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 28 de enero de 2019.

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal.

Hernandez Carrasco Fernando Patricio

CC: 1723421077

## DEDICATORIA

*A mi madre Delia Carrasco, por ser una madre abnegada y ejemplar, sin su cariño y paciencia, nunca podría haber llegado tan lejos.*

*A mi hermano Raúl Cevallos, por sus consejos, enseñanzas, apoyo incondicional y su vasto conocimiento, siempre será mi inspiración y ejemplo.*

*A mi hermana Dianita, que desde el cielo me cubre con su bendición, llevo presente en mi corazón que ella siempre cuida de mí.*

*A mi hermana Stephanie Hernández, que siempre ha estado conmigo en todo momento, me ha brindado su ayuda incondicionalmente y me ha proporcionado un evidente ejemplo de superación personal.*

*A mis tíos Edgar y Alex, por su eterno ejemplo de superación y esfuerzo, siempre les tendré un gran respeto y admiración.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a Dios por ser el guía de mi vida, estar conmigo en todo momento y brindarme todas esas dichosas alegrías que he vivido junto a mi familia y amigos.*

*A mi madre que ha sido mi soporte todos estos años y que gracias a su eterno compromiso ha logrado la realización de esta meta de vida.*

*A mis hermanos, por su tolerancia e impulso, los cuales fueron fundamentales para el cumplimiento y culminación de esta larga travesía.*

*A mis tíos Edgar, Alex, Rudy, Antonio, que a la distancia me acompañaron siempre con sus inigualables consejos y buenos deseos.*

*A mi Padre que pese a las circunstancias de la vida de alguna manera u otra supo brindarme algún consejo o ayuda que aportaron a mi formación.*

*A mis dos grandes amigos Andrés Gonzales y Roberto Vega, por brindarme su ayuda y motivación hasta en los momentos más difíciles.*

*A la Doctora Sonia Cárdenas por su fiel amistad y gran conocimiento que ayudaron a la cristalización de este proyecto.*

*A el Ingeniero Freddy Tapia por su amistad, consejos y confianza que fueron de gran ayuda a la realización de muchos de mis objetivos en mi vida universitaria.*

*¡Gracias!*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARÁTULA

CERTIFICACIÓN .....	I
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	I
AUTORIZACIÓN .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	XIV
RESUMEN .....	XV
ABSTRACT .....	XVI
ACRONIMOS Y ABREVIATURAS .....	XVII
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	4
1.4 OBJETIVOS .....	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
1.5 ALCANCE .....	6

1.6 HIPÓTESIS .....	11
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>12</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
2.1 METODOLOGÍA.....	12
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	16
2.2.1 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.....	17
2.2.1.1 OJO HUMANO.....	17
2.2.1.2 RETINOPATÍA DIABÉTICA .....	19
2.2.1.3 ALTOS ÍNDICES DE CEGUERA Y PÉRDIDA PARCIAL DE LA VISIÓN ....	23
2.2.1.3.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA PERDIDA DE LA VISIÓN .....	25
2.2.2 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE .....	26
2.2.2.1 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES .....	26
2.2.2.2 COMPONENTES DE UNA IMAGEN DIGITAL .....	29
2.2.2.3 OPERACIONES CON IMÁGENES .....	30
2.2.2.3.1 CONVERSIONES DE COLORES .....	30
2.2.2.3.2 MEJORAMIENTO DE UNA IMAGEN DIGITAL .....	31
2.2.2.3.3 MORFOLOGÍA MATEMÁTICA .....	33
2.2.2.3.4 DETECCIÓN DE BORDES .....	36
2.2.2.3.5 TRANSFORMADA DE HOUGH.....	37
2.2.2.4 APRENDIZAJE DE MAQUINA.....	37
2.2.2.4.1 REDES NEURONALES ARTIFICIALES.....	41
2.2.2.4.2 REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES .....	42
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>44</b>

<b>DESARROLLO</b> .....	<b>44</b>
3.1 ANÁLISIS DEL PROBLEMA .....	44
3.2 ANÁLISIS DEL DOMINIO DEL CONOCIMIENTO .....	45
3.3 ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD .....	46
3.3.1 RRHH.....	46
3.3.2 TECNICOS .....	46
3.3.2.1 SOFTWARE DE DESARROLLO.....	46
3.3.2.2 SOFTWARE DE LA BASE DE DATOS.....	49
3.3.2.3 SOFTWARE PARA EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES	51
3.3.2.4 HARDWARE.....	53
3.4 MODELADO DEL CONOCIMIENTO .....	55
3.5 DESARROLLO DEL PROTOTIPO.....	56
3.5.1 OBTENCIÓN DE IMÁGENES .....	56
3.5.2 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES .....	57
3.5.3 ECUACIONES Y ALGORITMOS .....	57
3.5.4 BASE DE DATOS E IMÁGENES .....	62
3.5.4.1 CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS Y CORPUS DE RETINOGRAFIAS	65
3.5.4.2 MODELADO FUNCIONAL.....	66
3.5.5 PROCESO DE ENTRENAMIENTO .....	76
3.5.5.1 ADQUISICIÓN DE IMÁGENES.....	76
3.5.5.2 IMPLEMENTACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES .....	77
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>81</b>
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS</b> .....	<b>81</b>

4.1 PRUEBAS Y VALIDACIONES .....	81
4.2 RESULTADOS .....	84
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>86</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>86</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	86
5.2 RECOMENDACIONES .....	87
<b>ANEXOS .....</b>	<b>88</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Preguntas de investigación.....	8
Tabla 2. Principios de Ingeniería de Conocimiento.....	15
Tabla 3. Conceptualización de Partes del Ojo.....	18
Tabla 4. Niveles de Retinopatía Diabética.....	22
Tabla 5. Porcentaje de la ceguera debido a diversas enfermedades oftálmicas .....	24
Tabla 6. Estadística de problemas visuales a nivel mundial.....	25
Tabla 7. Causas de la ceguera según la ONCE .....	25
Tabla 8. Modelo de aprendizaje automático.....	39
Tabla 9. Modelo de aprendizaje automático, según su salida deseada.....	40
Tabla 10. Hardware de desarrollo.....	53
Tabla 11. Requisito Funcional 1.....	70
Tabla 12. Requisito Funcional 2.....	71
Tabla 13. Requisito Funcional 3.....	72
Tabla 14. Requisito Funcional 4.....	73
Tabla 15. Requisito Funcional 5.....	74
Tabla 16. Requisito Funcional 6.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura de obtención de puntos de interés.....	9
Figura 2. Modelo de Procesamiento a Primer Nivel. ....	10
Figura 3. Modelo Estructural del Procesamiento de las fotografías (retino-grafías) hasta la obtención de resultados. ....	11
Figura 4. Modelos de la Metodología Common KADS.....	15
Figura 5. Red de categorías de las variables de categorización .....	16
Figura 6. Corte Transversal del ojo Humano .....	17
Figura 7. Primera y segunda derivada en la detección de bordes .....	36
Figura 8. Red Neuronal Convolutacional.....	43
Figura 9. Arquitectura de funcionamiento Python.....	47
Figura 10. Estándares en las tecnologías.....	47
Figura 11. Arquitectura de Django.....	48
Figura 12. Patrón de diseño MTV.....	49
Figura 13. Arquitectura de funcionamiento Power Designer.....	50
Figura 14. Arquitectura de MySQL. ....	51
Figura 15. Arquitectura de Matlab. ....	52
Figura 16. Arquitectura de Raspberry Pi 3.....	54
Figura 17. Esquema estructura de la aplicación .....	55
Figura 18. Obtención de la Retina con Transformada de Hough.....	58
Figura 19. Algoritmo para la obtención de Vasos Sanguíneos .....	59
Figura 20. Proceso para la Obtención de Vasos Sanguíneos .....	60

Figura 21. Modelo conceptual del sistema.....	62
Figura 22. Modelo lógico del sistema. ....	63
Figura 23. Modelo físico del sistema. ....	64
Figura 24. Estructuración de la Base de Datos.....	65
Figura 25. Estructuración de la Base de Imágenes Digitales .....	66
Figura 26. Casos de uso de la aplicación. ....	69
Figura 27. Corpus de retinografías.....	76
Figura 28. Red neuronal perceptrón multicapa. ....	77
Figura 29. Servicios de Tensorflow. ....	77
Figura 30. Declaración de librerías para el entrenamiento.....	78
Figura 31. Direccionamiento de corpus de imágenes. ....	78
Figura 32. Grupos para el entrenamiento. ....	79
Figura 33. Etiquetas para el entrenamiento.....	79
Figura 34. Clases del para el entrenamiento. ....	79
Figura 35. Grupos de testeo y entrenamiento.....	80
Figura 36. Resultados Obtenidos. ....	80
Figura 37. Interfaz Principal.....	81
Figura 38. Ingreso de Paciente .....	81
Figura 39. Ingreso de Ficha Medica.....	82
Figura 40. Ingreso Retinografías.....	82
Figura 41. Datos de Confirmación. ....	83
Figura 42. Resultados Obtenidos del Análisis. ....	83
Figura 43. Reporte de Análisis.....	84

Figura 44. Entrenamiento de la Red Neuronal Convolutiva .....85

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Modelo Formal de Estructuración de Conocimiento. ....	13
Ecuación 2. Función bidimensional de Intensidad Luz.....	28
Ecuación 3. Conversión de colores de CMY a RGB .....	31
Ecuación 4. Conversión RGB a escala de grises.....	31
Ecuación 5. Conversión RGB a escala de grises.....	32
Ecuación 6. Transformación Negativa .....	32
Ecuación 7. Procesamiento de histograma.....	33
Ecuación 8. Operación Morfológica de Dilatación.....	34
Ecuación 9. Operación Morfológica de Erosión .....	34
Ecuación 10. Operación Morfológica de Apertura .....	35
Ecuación 11. Operación Morfológica de Clausura .....	35
Ecuación 12. Representación de la Transformada de Hough.....	37
Ecuación 13. Detección de circunferencias.....	58
Ecuación 14. Relación de anchuras.....	60

## RESUMEN

La retinopatía diabética es una de las causas principales de ceguera en la población ecuatoriana, se produce debido a altos índices de desórdenes alimenticios, provocando patologías graves como diabetes, el colesterol, la hipertensión arterial, entre otras, sin embargo, todas estas patologías podrían ser detectadas en etapas tempranas mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial, para la implementación de sistemas expertos. En el presente trabajo de investigación se ha realizado una revisión de literatura para analizar trabajos relacionados, logrado evidenciar que la calidad de las imágenes de la retina (Retinografías) influye en la validación de los modelos planteados, ya que no disponen de datos de gran valor para el análisis de las imágenes. Este proyecto se enfoca en el desarrollo de una aplicación de predicción de retinopatía diabética, con el fin de brindar un aporte clínico. Por otra parte, toda la información referente a la base de retinografías fue proporcionada por el Hospital de Especialidades de las Fuerzas Armadas Nro.1, estas imágenes permitieron obtener los datos requeridos para el presente trabajo. Para el análisis de la información se utiliza algoritmos de procesamiento de imágenes realizando un pre-procesamiento a las imágenes obtenidos para evitar valores irrelevantes o incorrectos. En la última etapa se diseñó un modelo de red neuronal artificial con el fin de obtener predicciones con un alto índice de precisión y realizar un protocolo de pruebas que posteriormente servirá de referente para su próxima implementación.

Palabras clave:

- **RETINOPATÍA DIABÉTICA**
- **REDES NEURONALES ARTICIALES**
- **PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES**
- **RETINO-GRAFÍAS**
- **SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTO**

## **ABSTRACT**

Diabetic retinopathy is one of the main causes of blindness in the Ecuadorian population, occurs due to high rates of eating disorders, causing serious diseases such as diabetes, cholesterol, high blood pressure, among others, however, all these pathologies could be detected in early with the use of artificial intelligence techniques, for the implementation of expert systems. In the present research work, a literature review has been carried out to analyze related works, and it has been demonstrated that the quality of the retinal images (Retinographies) influences the validation of the proposed models, since they do not have high-value data for the analysis of the images. This project focuses on the development of a diabetic retinopathy prediction application, in order to provide a clinical contribution. On the other hand, all the information referring to the basis of retinographies was provided by Specialties Hospital of the Armed Forces No. 1, these images allowed to obtain the data required for the present work. For the analysis of the information, image processing algorithms are used, pre-processing the obtained images to avoid irrelevant or incorrect values. In the last stage, an artificial neural network model was designed in order to obtain predictions with a high index of precision and perform a test protocol that will later serve as a reference for its next implementation.

Keywords:

- **DIABETIC RETINOPATHY**
- **ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**
- **DIGITAL PROCESSING OF IMAGES**
- **RETINUM-GRAPHICS**
- **SYSTEMS BASED ON KNOWLEDGE**

## ACRONIMOS Y ABREVIATURAS

<b>DM</b>	Diabetes Mellitus
<b>RD</b>	Retinopatía Diabética
<b>RDP</b>	Retinopatía Diabética Proliferativa
<b>RDNP</b>	Retinopatía Diabética No Proliferativa
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>ALFEDIAM</b>	Asociación Francesa para el estudio de la Diabetes y Enfermedades Metabólicas
<b>ENSANUT</b>	Encuesta Nacional de Salud y Nutrición
<b>ED</b>	Exudados Duros
<b>EB</b>	Exudados Blandos
<b>HR</b>	Hemorragias Retinianas
<b>AV</b>	Anormalidades de las Venas
<b>IRMA</b>	Anomalías Microvasculares Retinianas
<b><i>μAm</i></b>	Microaneurismas

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen los antecedentes, objetivos y alcance del proyecto que ha sido posible gracias al trabajo conjunto realizado entre la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y el Hospital de Especialidades de las Fuerzas Armadas (HE-Nro.1 FF.AA.). En el equipo de trabajo han participado Docentes Investigadores, un estudiante tesista y médicos especialistas en Oftalmología y Retino-patología.

### 1.1 ANTECEDENTES

El diagnóstico temprano y la prevención de diferentes patologías que afectan a la población mundial son de gran relevancia para la salud y mejoramiento de la calidad de vida del ser humano. Patologías como la “*Diabetes Mellitus*” (DM), el Colesterol Alto, la Hipertensión Arterial, el Cáncer, entre otras (Organización Mundial de la Salud, 2018), son patologías que podrían ser detectadas en etapas tempranas mediante el uso de algoritmos, procedimientos y técnicas de inteligencia artificial en diferentes dispositivos y contextos tecnológicos para su tratamiento adecuado.

Hablar de la DM es un tema sumamente complejo y de una extensa variación de puntos de interés, se conoce que la DM es una patología crónica que se produce debido a que el páncreas de un individuo no produce suficiente insulina, inclusive también se ha evidenciado que esta patología se puede producir cuando el organismo del individuo no utiliza eficazmente la insulina que produce (Alberti & Zimmet, 1998).

Una patología que se asocia con la “*Diabetes Mellitus*” es la Retinopatía Diabética (RD), esta patología se caracteriza por la presencia de lesiones clínicas en las partes internas del ojo del ser humano específicamente en la retina, estas lesiones pueden presentarse como fugas de sangre, hemorragias plasmáticas, residuos de colesterol y otras malformación (Balibrea, Guirao, & Grácio, 2015), estas lesiones aportan de manera significativa a la clasificación adecuada de esta patología según su nivel de agravamiento. El estudio de estas patologías es esencial para determinar el nivel de complicación en el que se encuentra esta patología, además de aportar significativamente al panorama que podrían ocasionar en un futuro no muy lejano.

Los especialistas clínicos en RD emplean imágenes digitales (ID) de la retina para diagnosticar esta patología, estas se obtienen mediante un examen habitual de Fondo de Ojo, dichas imágenes digitales se conocen como retino-grafías (Leitman, 2016). A partir de las retino-grafías se podría construir un prototipo de diagnóstico preventivo de dicha patología y determinar su grado afección dentro del sistema ocular y su posible cuadro clínico.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Muchas asociaciones internacionales como la “*American Diabetes Association* o la *American Academy of Ophthalmology*” han recomendado realizar revisiones generalizadas periódicas para detectar la retinopatía diabética en etapas iniciales y poder para evitar que se convierta en un problema de salud pública con los efectos de esta patología. Sin embargo, menos del 30% de personas con Diabetes Mellitus se realizan revisiones generalizadas periódicas de la retina para detectar signos del agravamiento que pueden presentarse (International Diabetes Federation, 2018). Según diversos estudios entre 20 y 25% de los pacientes con Diabetes Mellitus

Tipo II desarrollan esta patología, mientras que la prevalencia en los pacientes Tipo I es del 50 al 65% (Aliseda & Berástegui, 2008). La RD es una de las complicaciones oculares más graves provenientes de la DM. Según la Federación Internacional de Diabetes y la Organización Mundial de la Salud, dicha patología ocular ocupa el quinto lugar entre las causas más frecuentes de ceguera o disminución de la visión. En el Ecuador, la Diabetes Mellitus afecta a la población con tasas cada vez más elevadas. Según una encuesta realizada (Ministerio de Salud Pública, 2018), la prevalencia de diabetes mellitus en la población de 10 a 59 años es de 1.7%.

La RD es una enfermedad que suele ser identificada en una fase avanzada, es decir, cuando es visible y fácil de identificar signos del edema macular diabético, micro aneurismas, hemorragias o exudados. Esta problemática se evidencia sobre todo en los países de nuestra región, ya que no existe la cantidad suficiente de especialistas y equipos oftalmológicos especializados (Bossert & Leisewitz, 2016), gracias a esta realidad se dificulta la detección y tratamiento pertinente de dicha patología. Por ello es importante contribuir con una herramienta tecnológica que permita ayudar a los especialistas en la detección temprana de dicha patología y prescribir un tratamiento pertinente al paciente que presente este cuadro clínico.

En la literatura revisada, se ha podido evidenciar la falta de métodos, procesos o modelos que implementen el uso herramientas tecnológicas (hardware o software), que permitan realizar un diagnóstico preventivo de esta patología. Actualmente, los profesionales especialistas aplican su experiencia en el análisis de imágenes digitales de la retina (retino-grafías) para diagnosticar la retinopatía diabética, sin embargo, el número de médicos especialistas en nuestro país es limitado y no siempre los pacientes pueden acudir a dichos controles.

Ante tal problemática de salud pública, en este proyecto se propone desarrollar una aplicación usando redes neuronales artificiales que permita contribuir con un diagnóstico

preventivo de la retinopatía diabética. Dicha aplicación será una herramienta de apoyo para profesionales de la salud que, sin ser especialistas en oftalmología, optometría y/o retino-patología, es decir, los médicos integrales y familiares, podrían atender a un mayor número de la población y remitir a los pacientes en fases precoces de la enfermedad a los respectivos especialistas en salud ocular, específicamente a los especialistas en retino-patología, y así evitar la ceguera o contrarrestar el avance de esta patología.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La prevención de enfermedades es muy importante para mejorar la calidad de vida del ser humano y su bienestar, esta temática es de gran relevancia dentro de los proyectos de buen vivir de cada población. Por lo tanto, es primordial contribuir con el desarrollo de aplicaciones que ayuden a los profesionales de la salud para realizar diagnósticos preventivos, usando nuevas técnicas de análisis de la información, tales como el procesamiento digital de imágenes y la inteligencia artificial (IA).

La detección temprana de RD permitirá remitir un informe al médico especialista para sus respectivos tratamientos y estudios adicionales. Debido a esto, los propósitos de este trabajo es la detección en una etapa temprana de esta patología ocular, al ser una patología que presenta muchas derivaciones, el presente trabajo se centrara en contribuir específicamente en el diagnostico preventivo de la Retinopatía Diabética No Proliferativa (RDNP).

Con esta motivación, el objetivo del presente proyecto es desarrollar una aplicación para proporcionar un diagnóstico asistido por computador, desarrollando una Red Neuronal Artificial (RNA) que sea capaz de aprender y detectar en forma automática la existencia o no de RDNP,

basados en las características y/o puntos de interés proporcionados y definidos por los especialistas que dispone el HE-Nro.1 FF.AA., además de un correcto procesamiento digital de las imágenes digitales (retino-grafías) adecuado que se efectuará mediante el análisis de cada una de las características y/o puntos de interés proporcionadas por dichos especialistas y la utilización adecuada de herramientas de desarrollo software, herramientas para la implementación de Inteligencias Artificial (IA), que posteriormente converjan en la implementación del aplicativo y la validación correspondiente bajo un protocolo de pruebas adecuado y acorde a los requerimientos expuestos por los especialistas del HE-Nro.1 FF.AA.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una aplicación con redes neuronales artificiales a partir del procesamiento de retino-grafías para diagnóstico preventivo de la retinopatía diabética.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- I. Generar una base de retino-grafías segmentada y normalizada.
- II. Definir los parámetros y/o puntos de interés que serán analizados a partir de las retino-grafías normalizadas, con ayuda del profesional especialista retino patólogo del Hospital de Especialidades de las Fuerzas Armadas Nro.1 (HE-Nro.1 FF.AA.).
- III. Diseñar y desarrollar una aplicación con redes neuronales artificiales para el aprendizaje de patrones e identificación de patologías en la retina.
- IV. Realizar un protocolo de pruebas y validación de la aplicación, junto al profesional especialista.

## 1.5 ALCANCE

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar una aplicación con redes neuronales artificiales a partir del procesamiento digital de imágenes digitales (retino-grafías), para alcanzar dicha finalidad se creará una base de imágenes digitales, además de una base de datos con los parámetros relevantes dentro de un examen rutinario, las imágenes digitales (retino-grafías) almacenadas serán segmentadas y normalizadas por parte de los docentes investigadores y el alumno tesista, es importante mencionar que las imágenes digitales se obtienen a través de un equipo oftalmológico (retinógrafo) al efectuar un examen de fondo de ojo, con el mismo se obtiene una visión parcial de la retina, como se mencionó anteriormente al existir un convenio entre Universidad de las Fuerzas Armadas (UFA-ESPE) y HE-Nro.1 FF.AA., dichas imágenes digitales (retino-grafías) serán proporcionadas por parte HE-Nro.1 FF.AA., para la realización y ejecución del presente trabajo. Con la ayuda y orientación del profesional especialista en el área oftalmológica específicamente un retino-patólogo del HE-Nro.1 FF.AA. se definirán los parámetros, características y/o puntos de interés inherentes en la retina que serán analizadas posteriormente ya que los mismos están involucradas en la patología y las complicaciones que la misma puede presentar.

Se diseñará desarrollará y evaluará una aplicación con redes neuronales artificiales para el aprendizaje de patrones e identificación de la retinopatía diabética no proliferativa presente personas diabéticas y no diabéticas. El trabajo se fundamentará en la construcción de un prototipo el mismo será implementado en Python y se evaluará mediante validación cruzada a partir de las imágenes digitales (retino-grafías), además se usarán técnicas de inteligencia como,

redes neuronales artificiales y se aplicarán técnicas de procesamiento digital de imágenes para la extracción adecuada de los puntos de interés.

Se definirá un protocolo adecuado de pruebas y validación de la aplicación, junto al profesional especialista del HE-Nro.1 FF.AA. La aplicación será validada por el experto especialista del HE-Nro.1 FF.AA., en términos de exactitud, especificidad, y capacidad predictiva para detectar la retinopatía diabética no proliferativa (RDNP).

Al momento que se obtengan todos los parámetros relevantes dentro de una imagen digital (retino-grafía), aplicando algoritmos adecuados de procesamiento digital de imágenes, se procederá a realizar una discriminación y selección adecuada de los mismos para su posterior análisis.

Como siguiente punto se utilizará dichos parámetros junto con los algoritmos de inteligencia artificial específicamente de clasificación, para poder generar y estructurar un soporte para el especialista clínico del HE-Nro.1 FF. AA acerca de la retinopatía diabética no proliferativa, en este caso se usará redes neuronales artificiales que es la herramienta de inteligencia artificial más adecuada para el siguiente trabajo propuesto.

En la última instancia del presente trabajo se ejecutarán pruebas con la finalidad de validar dicha aplicación y modelo, estas pruebas se orientarán en criterios específicos estipulados por los especialistas del HE-Nro.1 FF. AA ya que deben permitir verificar la precisión del modelo, mediante la información previamente obtenida.

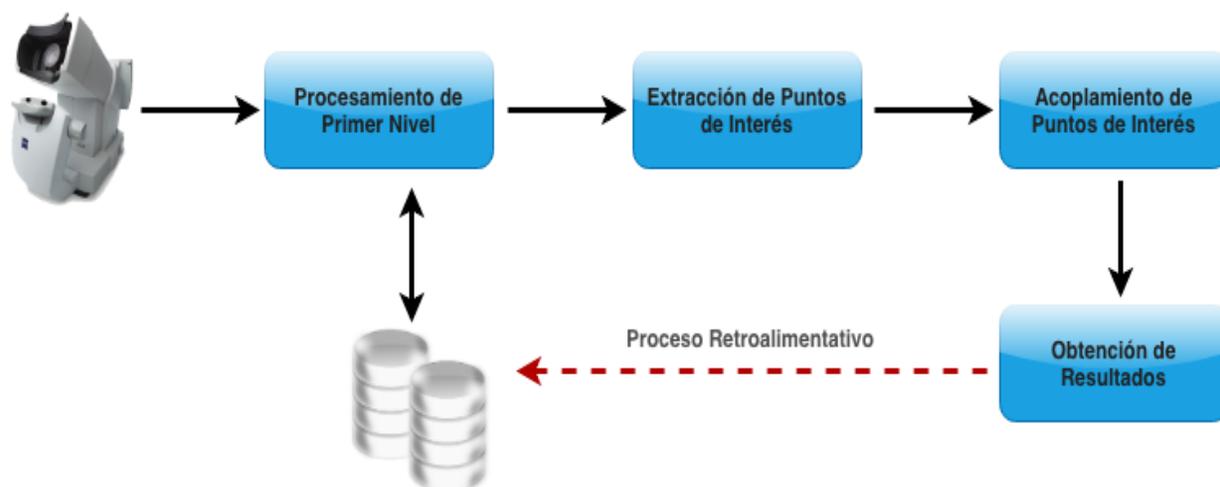
Como se estipula en esquemas formales para delinear de forma adecuada el alcance de la investigación planteada, se proponen varias preguntas de investigación asociadas a cada uno de los objetivos específicos, tal como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Preguntas de investigación.

Objetivo específico	Pregunta de investigación
i. <b>Generar una base de retino-grafías segmentada y normalizada.</b>	a. ¿Cómo incide una base de imágenes segmentada y normalizada en la evaluación de la retinopatía diabética? b. ¿Cómo incide una base de imágenes segmentada y normalizada en un aprendizaje supervisado?
ii. <b>Definir los parámetros y/o puntos de interés que serán analizados a partir de las retino-grafías normalizadas, con ayuda del profesional especialista retino-patólogo del Hospital de Especialidades de las Fuerzas Armadas Nro-1.</b>	a. ¿Cómo incide las retinografías en la evaluación de un especialista clínico, experto en retinopatía diabética? b. ¿Qué puntos de interés son relevantes para determinar un criterio de diagnóstico preventivo de la retinopatía diabética?
iii. <b>Diseñar y desarrollar una aplicación con redes neuronales artificiales para el aprendizaje de patrones e identificación de patologías en la retina.</b>	a. ¿De qué me sirve realizar una aplicación con redes neuronales artificiales? b. ¿Qué error se obtiene al predecir el diagnóstico de una retinopatía diabética?

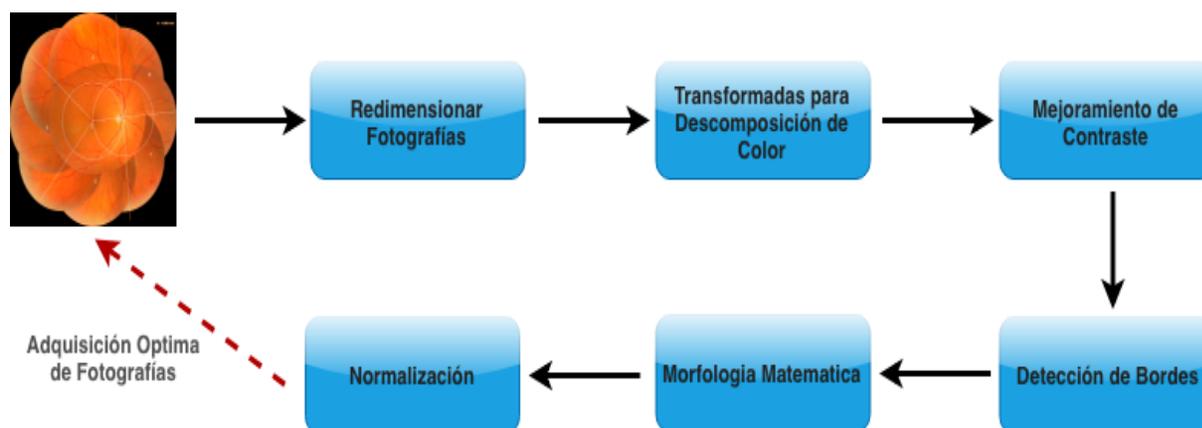
- |   |  |
|---|--|
| <p>iv. <b>Realizar un protocolo de pruebas y validación de la aplicación, junto al profesional especialista</b></p> | <p>a. ¿Es posible disminuir el tiempo en el proceso de diagnóstico de la retinopatía diabética?</p> <p>b. ¿Es posible realizar una validación de la aplicación, bajo que parámetros y en base a los protocolos establecidos por los profesionales especialistas?</p> |
|---|--|

Para la obtención de los parámetros en el análisis se utilizará una aplicación desarrollada en Python, representada por un modelo de 4 pasos, los cuales se describen en la Figura 1.



**Figura 1.** Arquitectura de obtención de puntos de interés.

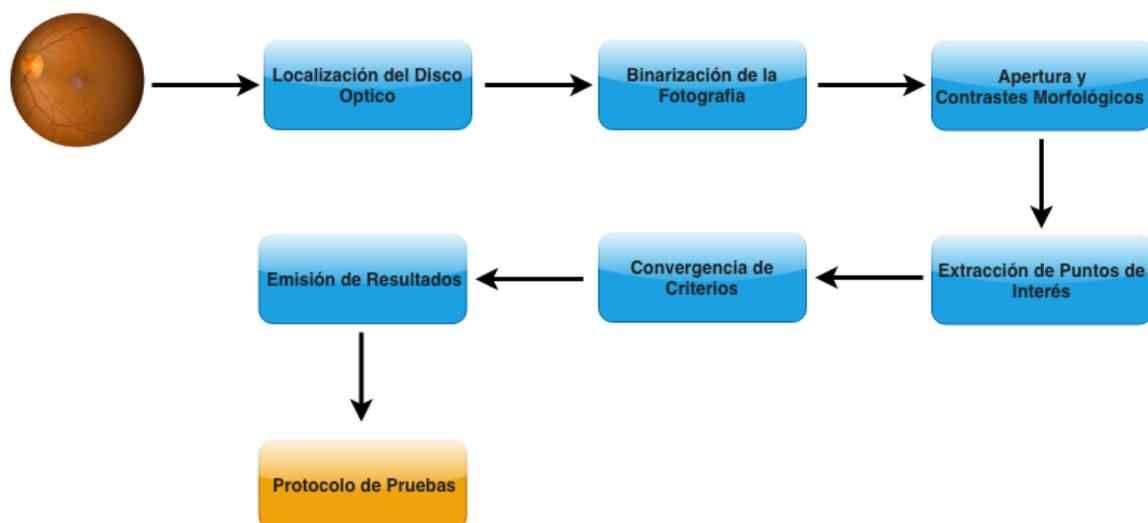
Para realizar una descripción específica del Procesamiento de Primer Nivel, la misma que está desarrollada en base a parámetros y/o puntos de interés definidos por los especialistas del HE-1, bajo criterios espaciales de procesamiento digital de imágenes se representará este ítem como un modelo de 6 pasos, los cuales se describen en la Figura 2.



**Figura 2.** Modelo de Procesamiento a Primer Nivel.

En la Figura 2 podemos observar cómo se realiza el Procesamiento de Primer Nivel, en el mismo se encuentran involucrados parámetros y conceptos específicos de procesamiento digital de imágenes que serán abordados posteriormente, como consecuente se obtiene una fotografía normalización que servirá para el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo teniendo en cuenta que al realizar este proceso obtendremos datos consistentes y relevantes que siguen lineamientos estructurados para el trabajo conjunto con el especialista clínico del HE-1, además es de gran relevancia mencionar que un servidor almacenará una base de retinografías junto con los parámetros requeridos para el presente caso de estudio.

Para realizar una descripción específica de la extracción y acoplamiento de puntos de interés hasta la obtención de resultados, la misma que está desarrollada en base a parámetros suministrados por los especialistas del HE-Nro.1 FF.AA, bajo criterios espaciales, estadísticos y matemáticos de procesamiento digital de señales se representará este par de ítems como un modelo concatenado que básicamente se construyen a partir de 7 pasos, los cuales se describen en la Figura 3.



**Figura 3.** Modelo Estructural del Procesamiento de las fotografías (retino-grafías) hasta la obtención de resultados.

## 1.6 HIPÓTESIS

El desarrollo de una aplicación para el diagnóstico preventivo de la retinopatía diabética no proliferativa permitirá reducir el impacto de pérdida de visión parcial y total provocada por factores patológicos y sociales.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

En el presente capítulo se describe la metodología aplicada y los fundamentos teóricos que han sido la base para el desarrollo del prototipo de la aplicación que permite diagnosticar en forma preventiva la retinopatía diabética no proliferada.

#### **2.1 METODOLOGÍA**

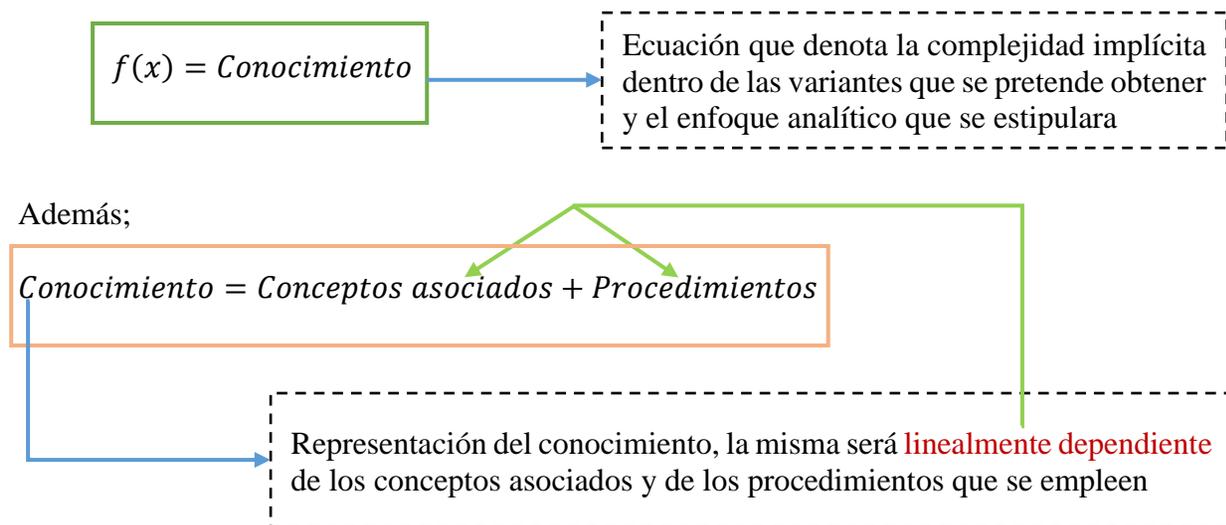
En la actualidad todos los esfuerzos para la construcción del software se están enfocando en la Ingeniería de Conocimiento e Ingeniería de Software, ya que brindan un enfoque de optimización de recursos y esquemas formales. La Ingeniería del Conocimiento (IC) nace a partir de la problemática de resolver problemas reales bajo enfoques técnicos que emulen el comportamiento humano y den solución a una problemática específica mediante el desarrollo de Sistemas Expertos (SE) (Badaro, Ibañez, & Agüero, 2013).

En el ámbito de la Ingeniería del Conocimiento se desarrollan los Sistemas Basados en Conocimiento (SBC) los cuales permiten resolver problemas complejos y reales de un dominio específico. Para la materialización de este tipo de sistemas se desarrollan Sistemas Expertos (SE) y para su desarrollo se aplican metodologías específicas como Buchanan, Brule, KADS, Prototipado Rápido, Grover entre otras. Dichas metodologías son paralelas a las metodologías de la Ingeniería de Software (Maida & Pacienza, 2015).

El proceso de desarrollo de los SBC se inicia con el análisis del problema, seguidamente se realiza un análisis del dominio del conocimiento, en una siguiente instancia se realiza el análisis de la viabilidad y finalmente se realiza el modelado del conocimiento (abstracción de todos los conocimientos), esta etapa se basa en el conocimiento y experiencia del profesional experto (Palma,

Paniagua, Martín, & Marín, 2000). Por tanto, este tipo de sistemas no parte de un levantamiento de requisitos, como los sistemas que se desarrollan en base a metodologías de la ingeniería de software tradicional.

Un sistema experto se basa en la extracción de conocimiento, para obtenerlo se debe entender cuál es su proceso y variantes, para lograr mejorar la comprensión de su conceptualización se ha elaborado el siguiente esquema que se expresa a partir de la ecuación del conocimiento ecuación (1).



**Ecuación 1.** Modelo Formal de Estructuración de Conocimiento.

Para el desarrollo de sistemas con un enfoque de Ingeniería del Conocimiento se utiliza como un estándar la metodología Common KADS. La fortaleza de esta metodología se evidencia en dos conceptos importantes.

El primer concepto hace énfasis en el análisis de la Organización de las Estrategias de Introducción y el Desarrollo de Sistemas de Información (Schreiber, Wielinga, Akkermans, Velde, & Anjewierden, 1994).

El segundo concepto presenta a Common KADS como una metodología estándar del conocimiento, la misma soporta aplicaciones de ingeniería aplicada (Iglesias, Garijo, González, & Velasco, 1998).

El proceso de desarrollo de los SBC se inicia con el análisis del problema, seguidamente se realiza un análisis del dominio del conocimiento, en una siguiente instancia se realiza el análisis de la viabilidad y finalmente se realiza el modelado del conocimiento (abstracción de todos los conocimientos), esta etapa se basa en el conocimiento y experiencia del profesional experto (Palma et al., 2000). Por tanto, este tipo de sistemas no parte de un levantamiento de requisitos, como los sistemas que se desarrollan en base a metodologías de la ingeniería de software tradicional.

El proyecto propuesto se basa en ingeniería del conocimiento y pretende evaluar varios de los factores inherentes en la retinopatía diabética no proliferativa que podría afectar a la visión de una persona. Para el desarrollo de las etapas de este proyecto se trabaja conjuntamente con un profesional especialista en Oftalmología del Hospital de Especialidades Fuerzas Armadas Nro. 1 (experto humano en el dominio de aplicación), Docentes investigadores y Tesista de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe (Ingenieros de Conocimiento y Técnicos de Desarrollo).

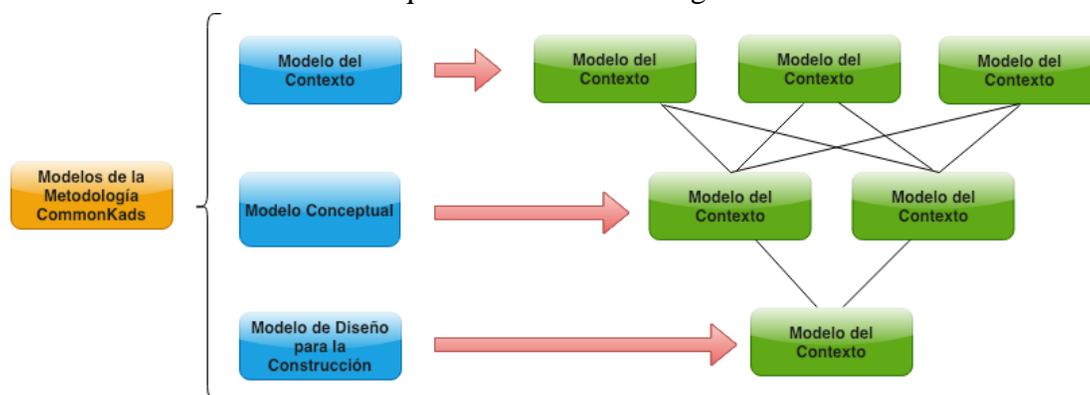
Una vez que se entiendan los conceptos de ingeniería del conocimiento se puede construir sistemas expertos, siempre y cuando se respeten los principios de esta, expresados en la siguiente tabla 2.

**Tabla 2.** Principios de Ingeniería de Conocimiento.

Principios	Caracterización
<b>I</b>	La IC no intenta apoderarse del pensamiento de los expertos, la misma consiste en la construcción de modelos de los diversos aspectos del conocimiento humano.
<b>II</b>	Durante el modelado, se debe centrar en la estructura conceptual del conocimiento, dejando para etapas posteriores los detalles de implementación.
<b>III</b>	El conocimiento, se centra en una estructura interna estable, la misma se analiza distinguiendo los tipos específicos de conocimiento y roles.
<b>III</b>	La gestión se realiza a partir de las experiencias, en forma de espiral controlada.

Fuente. (Palma et al., 2000)

De los principios expuestos anteriormente se desprende el modelo Common KADS, el mismo se divide en tres sub-modelos que se detallan en la Figura 4.

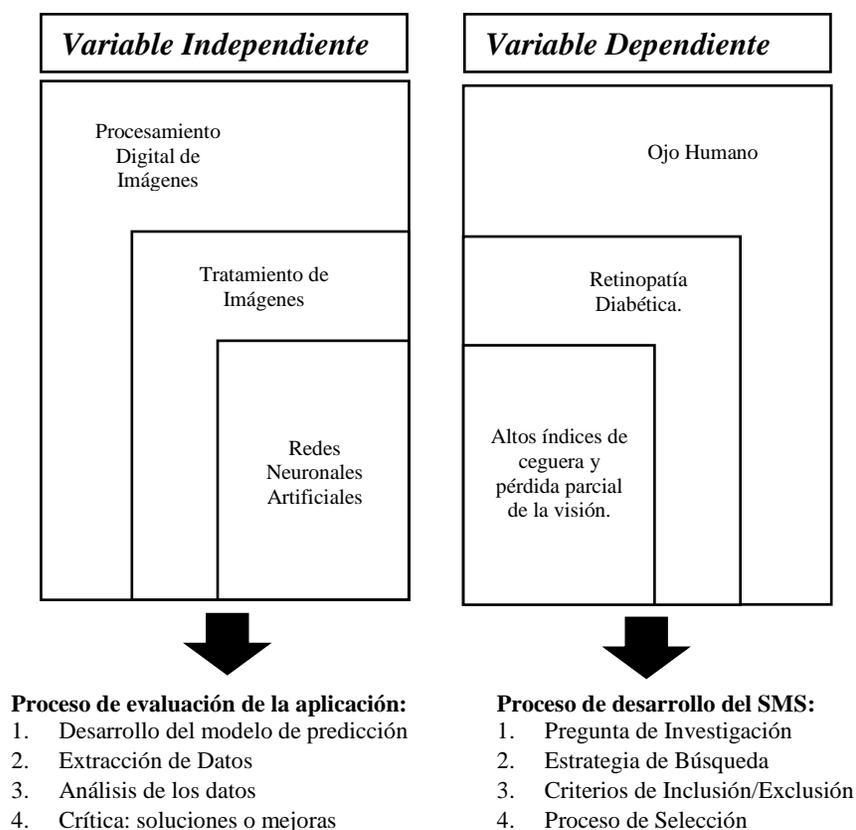
**Figura 4.** Modelos de la Metodología Common KADS.

El proyecto propuesto se basa en ingeniería del conocimiento y pretende evaluar varios de los factores inherentes en la retinopatía diabética no proliferada que podría afectar a la visión de una persona. Para el desarrollo de las etapas de este proyecto se ha trabajado conjuntamente con un profesional especialista en Oftalmología del Hospital de Especialidades Fuerzas Armadas Nro.

1 (experto humano en el dominio de aplicación), Docentes investigadores y Tesista de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe (Ingenieros de Conocimiento y Técnicos de Desarrollo).

## 2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La fundamentación teórica del presente trabajo se basa en el análisis de una red de categorías donde están inmersas las variables categóricas de la investigación involucradas dentro del objeto de estudio; dicha red se muestra en la en la Figura 5, además de una investigación sistemática de literatura (SMS) para la estructuración adecuada de las variantes dentro del presente trabajo, donde la *variable independiente* es, aplicación para de diagnóstico preventivo de la RDNP; donde la *variable dependiente* son los factores patológicos y sociales que intervienen en pérdida de visión parcial y total.



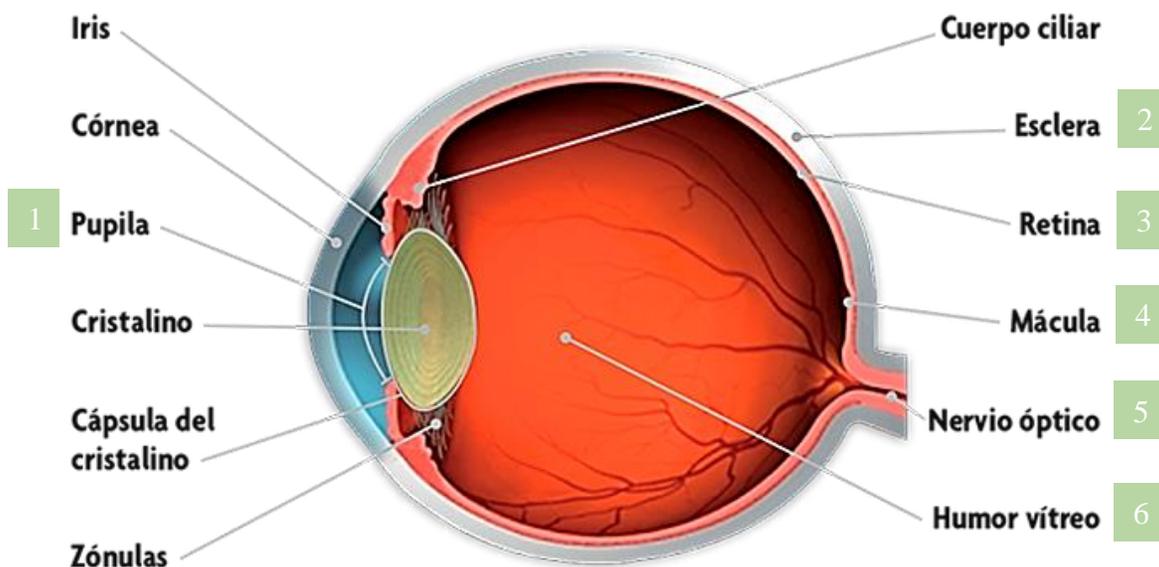
**Figura 5.** Red de categorías de las variables de categorización

## 2.2.1 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

### 2.2.1.1 OJO HUMANO

El ojo humano es un órgano foto-receptor de visión del cuerpo humano, que actúa como una cámara que enfoca la luz recibida de los rayos luminosos procedentes de imágenes visuales y los transforma en impulsos eléctricos los que son transportados al centro nervioso de la visión en la parte posterior del cerebro (Montés-Micó, Albarrán, Fernández, & Cacho, 2011).

El ojo está conformado por 3 sectores: la capa más externa ubicada entre el iris y la córnea; la capa intermedia ubicada entre el iris y el cristalino que contiene suministros de sangre; y la capa más interna donde está el espacio vítreo por detrás del cristalino donde recibe mayor nutrición de los vasos de la retina, este conocimiento estructurado de la disposición histológica permite comprender la fisiopatología de muchas alteraciones degenerativas o genéticas y que son perceptibles y posibles de tratar (Cano, Infante, González, Fernández, & Herrera, 2015).



**Figura 6.** Corte Transversal del ojo Humano

**Fuente.** (Pro Visu Foundation, 2018)

Se realiza un corte transversal del ojo humano como indica la Figura 6 para detallar los elementos que lo componen, de esta se puede delimitar el campo de estudio, ya que los mismos son de vital importancia para el estudio de las diferentes patologías que se presentan por el deterioro de este órgano o por características hereditarias a la cual reacciona nuestro cuerpo (James & Bron, 2011).

Es así, que a continuación se procede a conceptualizar cada uno de los elementos más representativos para la presente investigación y que forman parte del ojo humano, específicamente para otorgarle la visión a un individuo, como se muestra en la tabla 3:

**Tabla 3.** Conceptualización de Partes del Ojo

Parte del Ojo	Concepto
Cristalino	Es la parte clara ubicada posterior al iris, donde sobre la retina ayuda a enfocar luz e imágenes
Esclera	Es una capsula protectora que recubre con fibras resistentes que le dan solidez la membrana externa ocular
Retina	Está ubicada atrás del ojo y es sensible a la luz por los impulsos eléctricos que genera, los mismos que envía al cerebro por medio del nervio óptico
Macula	Es una zona donde existe sensibilidad para la retina, encargada de la visión principal y de ver los pequeños detalles
Nervio óptico	Es un impulso visual que se extiende desde la retina hasta el cerebro, siendo el nervio más grande del ojo
Humor vítreo	Tiene la apariencia gelatinosa y sin color, ubicada entre el lente y la retina

Fuente. (Perea, 2018)

### **2.2.1.2 RETINOPATÍA DIABÉTICA**

Según los últimos estudios médicos relacionados con la aparición de la retinopatía muestran que existe una relación directa entre el control metabólico y cómo evoluciona la enfermedad en el tiempo. Esta patología se va desarrollando en la retina del paciente hasta mostrar los primeros indicios de alteraciones típicas como microa-neurismas, exudados duros o blandos, micro-hemorragias intraretinianas, dilataciones venosas arro-sariadas y anomalías micro-vasculares intraretinianas (Aliseda & Berástegui, 2008).

La retina es una capa sumamente sensible a la luz, se encuentra ubicada en la parte posterior del globo ocular. En ese sector se encuentran fotorreceptores que cumplen la función de capturar una imagen para transportarla a través del cristalino y enfocarla en la retina para después enviarla como señales eléctricas al cerebro (Khurana, 2008).

La imagen digital de la retina se denomina retino-grafía la misma que es de vital importancia para la detección de anomalías dentro de la misma, que posteriormente servirá para la elaboración del presente trabajo (Besharse & Bok, 2011).

Una de las causas más comunes que provoca la pérdida de la visión es por las fugas de sangre y las oclusiones de los vasos sanguíneos de la retina, estos se hinchan o se tapan como resultado de los cambios químicos que causa la diabetes (Gulshan et al., 2016). Entonces, si un individuo presenta altos niveles de azúcar en la sangre, con el tiempo puede desarrollar la enfermedad de RD, esta complicación es un problema que hoy en día está inmersa en todas las clases sociedades (McGrory et al., 2017).

De acuerdo al estudio de la Retinopatía Diabética para el tratamiento oportuno se dispone de una clasificación para la evaluación, de la cual se analizan 3 tipos: Retinopatía Diabética No Proliferada (RDNP), Vasculopatía Diabética (VD) y Retinopatía Diabética Proliferativa (RDP),

esta clasificación está basada en criterios relacionadas con las lesiones producto de las fugas de sangre u oclusiones, y la posición de éstas en el ojo (Browning, 2010).

- 1) **RDNP**, se produce por la fuga de sangre de los vasos sanguíneos, y como resultado genera micro-aneurismas, exudados duros, hemorragias retinianas, entre otros. Es el RD más común y representa alrededor del 80% de los casos que se han evidenciado. En la actualidad debido a varios agentes externos se ha detectado que se producen grandes cambios en la retina de los pacientes y que pueden ser detectados y tratados por profesionales calificados (Retino-Patólogos) (Lam, Yi, Guo, & Lindsey, 2018).
- 2) **VD**, al igual que la RDNP se produce por la fuga de sangre de los vasos sanguíneos y una excesiva acumulación de grasa en el sector central de la retina, provocando una visión borrosa (Amin, Sharif, & Yasmin, 2016).
- 3) **RDP**, se produce por el crecimiento de nuevos vasos sanguíneos, provocando la pérdida de la visión debido a hemorragias o lesiones de cicatrización en el ojo (Lam et al., 2018).

Una óptima evaluación depende de la detección de anomalías dentro de la retino-grafías proporcionada por un examen de fondo de ojo, en la presente investigación se hará énfasis en las siguientes anomalías (Colvard, 2011):

- 1) **Exudados blandos:** también denominados algodinosos Son anomalías claras de forma circulares, las mismas aparecen por la inflamación de la capa superficial de la retina junto a las hemorragias (James & Bron, 2011).
- 2) **Exudados duros:** son depósitos de lípidos provocadas por la rotura de los vasos sanguíneos, la mácula sufre un engrosamiento y como resultado se tienen fugas de fluidos,

además si el lípido se extiende a la zona macular, la visión puede verse seriamente comprometida, son de color amarillento, no tienen forma o tamaño definido (Boyd & Vemulakonda, 2018; Khurana, 2008).

- 3) **Microaneurismas:** son las primeras lesiones clínicamente detectables básicamente son micro protuberancias de los vasos sanguíneos, aparecen como puntos redondos con un diámetro de 10 a 100 micras; el número de microaneurismas es directamente proporcional a la gravedad de la RDNP (Martins & Sousa, 2009).
- 4) **Hemorragias:** se las denominan Hemorragias retinianas, son manchas de sangre ubicadas en la retina las mismas se originan por la rotura de los microaneurismas. La progresión de la RDNP provocara que las hemorragias sean más evidentes (James & Bron, 2011).

La mayoría de los estudios actuales de RD recomiendan para la detección temprana y un tratamiento oportuno, al menos una evaluación anual para los pacientes sin retinopatía, un examen repetido en 6 meses para aquellos con rastros leves o moderados de RD, y una derivación oftalmológica en periodos de semanas o meses para aquellos con cuadros clínicos graves. Es así que para el presente estudio se tomó como referencia la escala de RD propuesta por la “*Asociación Francesa para el estudio de la diabetes y enfermedades metabólicas*” (ALFEDIAM), el criterio está basado en el número de microaneurismas y hemorragias, los cuales son la base del estudio. A continuación, se enlistan cuatro estados de RDNP (ADCIS) en la Tabla 4 (Société Francophone du Diabète, 2018):

**Tabla 4.** Niveles de Retinopatía Diabética.

Nivel	Característica
<b>Nivel 0, No Presencia</b>	$(\mu A = 0) \text{ Y } (H = 0)$
<b>Nivel 1, Ligera</b>	$(0 < \mu A \leq 5) \text{ Y } (H = 0)$
<b>Nivel 2, Moderada</b>	$((5 < \mu A < 15) \text{ O } (0 < H < 5))$
<b>Nivel 3, Severa</b>	$(\mu A \geq 15) \text{ O } (H \geq 5)$

Dónde:  $\mu A$ : número de microaneurismas, H: número de hemorragias.

Según la OMS la retinopatía diabética es una de las causas con un alto grado de probabilidad para la pérdida visual progresiva, alcanzando el punto de ser irreversible y medicamente no recuperable en pacientes entre los 20 y 64 años de edad, por otro lado, de acuerdo a los últimos estudios revelan que pacientes con diabetes tienen mayor riesgo de ceguera y serían aproximadamente 25 veces mayor al resto de la población (Aliseda & Berástegui, 2008).

Se provee que para el año 2030 se obtenga alrededor de 366 millones de personas diabéticas en todo el mundo (Barria, 2018), además, otras investigaciones aseguran que el 20% de los pacientes que presentan algún grado de RD fueron diagnosticadas con diabetes tipo 2, en el transcurso de sobrellevar la enfermedad por alrededor de 10 años el porcentaje aumenta al 40%, llegando hasta el 80% en pacientes que superan los 20 años con este tipo de diabetes (Organización Mundial de la Salud, 2018).

### **2.2.1.3 ALTOS ÍNDICES DE CEGUERA Y PÉRDIDA PARCIAL DE LA VISIÓN**

De acuerdo con los últimos estudios que se vienen realizando, la Organización Mundial de la Salud (OMS), indican que alrededor de 253 millones de personas tienen algún tipo de discapacidad visual, de los cuales hablando en cifras se tiene que el 14,23 % representan personas con ceguera y el 85,77% representan personas con discapacidad visual moderada, además, el 80% del total de personas pertenecen a países desarrollados. En relación con los múltiples casos presentados, las conclusiones a las que llega la OMS es que la mayoría son posibles de prevenir, evitar o tratar. Sin embargo, las enfermedades oculares pueden variar dependiendo de las características demográficas en la cual convive cada persona, eso genera que la tasa no sea constante sino estimada, eso lo realiza la OMS mediante una segmentación a la población, este varía entre el 8% en países no industrializados y un 0.01% en países industrializados, aunque los estudios también revelan que en países subdesarrollados se conoce parcialmente las causas y la magnitud de la ceguera. (Romero & Locascio, 1983).

Actualmente, la OMS con los resultados de los estudios ha logrado establecer un método universal que permite medir el nivel de agudeza visual o ceguera de una persona, dicho método consiste en calcular la distancia de posición de la persona sobre la referencia de texto a leerse, estableciendo que una calificación inferior a 20/200 aun con el uso de lentes o gafas, es considerada ciega parcial o completamente. Los factores se pueden reflejar de forma repentina o a medida que transcurre el tiempo, sea por golpes, enfermedades progresivas o congénitas; eso implica que una enfermedad ocular no tratada a tiempo puede desarrollar una discapacidad visual motivo de alteraciones progresivas en el ojo que podrían convertirse en crónicas, siendo esta la principal razón de la pérdida de la visión en la población mundial. (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Un estudio de la revista ‘British Journal of Ophthalmology’ menciona que en el transcurso de los últimos 20 años las estadísticas en cuanto a molestias visuales y ceguera progresiva no son alentadoras, tanto así, que sus estudios revelan que en países desarrollados la degeneración macular reemplazo a la catarata como una de las causas más comunes de ceguera. Todo eso ha provocado que no se pueda establecer una definición clara de las patologías oftalmológicas, eso principalmente por las diversas metodologías que se utilizan para la recolección, análisis, tratamiento e interpretación de los datos, generando más incertidumbre en establecer las particularidades epidemiológicas de la pérdida de la visión (Romero & Locascio, 1983).

En Latinoamérica el estudio se enfoca patologías como: la catarata, retinopatía diabética y el glaucoma, como las principales causas que provocan la pérdida de la visión, mostrando un índice del 80% de casos en el cual las personas tienen una edad promedio de 50 años en adelante. En la Tabla 5 se muestra un estimado de personas con enfermedades oftalmológicas (Lansingh, 2018):

**Tabla 5.** Porcentaje de la ceguera debido a diversas enfermedades oftálmicas

País	Ceguera (%)	Catarata (%)	Diabetes (%)	Retinopatía Diabética (%)
<b>Argentina</b>	1,1-1,8	54-56	—	—
<b>Brasil</b>	1,5-2,0	28-41	11,4	15,9
<b>Chile</b>	1,6	57	4,3	8,5
<b>Cuba</b>	2,3	51	26,2	9,2
<b>República Dominicana</b>	2,1	64	15,8	5,0
<b>Ecuador</b>	1,7	74	7,1	7,1
<b>Guatemala</b>	4,1	68	—	—

**Fuente.** (Lansingh, 2018)

### 2.2.1.3.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA PERDIDA DE LA VISIÓN

Según la OMS en sus estudios recientes muestran que hay causas ya definidas para los trastornos que ocasionan la pérdida visual de forma paulatina desde las etapas moderadas a graves, como se muestra en la tabla 6 (Organización Mundial de la Salud, 2018):

**Tabla 6.** Estadística de problemas visuales a nivel mundial.

Discapacidad visual a nivel mundial	Causas	Porcentaje	Causas ceguera a nivel mundial	Causas	Porcentaje
	Ametropías no corregidas	53%		Cataratas no operadas	35%
	Cataratas no operadas	25%		Ametropías no corregidas	21%
	Degeneración macular relacionada con la edad	4%		Glaucoma	8%
	Retinopatía diabética	18%			

**Fuente.** (Organización Mundial de la Salud, 2018)

Por otro lado, los últimos estudios realizados por la ONCE revelan que las posibles causas de la ceguera en una persona podrían ser por las siguientes razones (ONCE, 2018):

**Tabla 7.** Causas de la ceguera según la ONCE

Causas	Prioridad
Anomalías heredadas o congénitas	Alta
Lesiones en el nervio óptico	Alta
Ametropías	Alta
Traumatismos	Media

Enfermedades infecciosas, endocrinas e intoxicaciones	Media
Lesiones en el globo ocular	Media
Parasitosis	Bajo
Perturbaciones de los órganos anexos al ojo	Bajo

**Fuente.** (ONCE, 2018)

Los factores mostrados en la Tabla 7 tienen mayor incidencia para provocar ceguera en una persona, sin embargo, las estadísticas en el país tienen una variación significativa en al menos el 8% de ceguera en relación con la alta tasa de referencia de las personas que tiene cuadros clínicos de diabetes. Estos factores tienen alta incidencia en los países subdesarrollados, debido a que en los mismos hay escasas de herramientas para el tratamiento de patologías oftalmológicas en la población (Organización Mundial de la Salud, 2018).

## **2.2.2 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE**

### **2.2.2.1 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES**

Se conoce también como visión artificial al proceso de analizar y manipular la imagen digitalizada, especialmente para mejorar la calidad del procesamiento de imágenes obtenidas por diversos métodos, con el fin de obtener datos que pueden ser utilizados para tomar decisiones o generar soluciones aplicadas en una variedad de disciplinas como: diagnóstico a partir de imágenes, planificación quirúrgica, la detección y localización de objetos, reconocimiento de patrones, detección remota, nitidez de imágenes, procesamiento de color y video, tratamiento médico, localización de tumores, medición de volúmenes de tejidos, sistemas de control de tráfico, reconocimiento facial, reconocimiento de iris, imágenes agrícolas e imágenes médicas (McGrory et al., 2017).

El procesamiento digital de imágenes (PDI) consiste en mejorar o acoplar el aspecto de una imagen digital, esto puede ser mediante su tamaño, intensidad, contraste, color, etc., esto permite resolver desafíos y problemas como la pérdida de calidad de imagen para mejorar la imagen degradada. Una imagen en procesamiento digital de imágenes es su conversión en formato digital, en la cual se realiza operaciones sobre la misma, con el fin de obtener una imagen mejorada y recuperar datos, además, es considerada como una matriz bidimensional de valores discretos y finitos de intensidad de luz. Cada punto que está representado por la intersección de una fila y columna se lo denomina pixel (Gonzalez & Woods, 2008b).

En la actualidad existen distintas formas de representación de una imagen, una de ellas se caracteriza bajo la representación de modelos, que básicamente persiguen su representación bajo ecuaciones matemáticas que alteran la conceptualización de la imagen generando alteraciones en la misma para el estudio especializado de cada uno de ellos, además existen modelos reconstructivos que interactúan en la alteración de una imagen bajo parámetros estadísticos inherentes dentro de una imagen (Gonzalez & Woods, 2008b).

El área de conocimiento del PDI se extiende vertiginosamente en el desarrollo y mejoramiento de algoritmos mediante la aplicación de técnicas de procesamiento de señales bidimensionales sobre el dominio de las imágenes, normalmente implica filtrar o mejorar la imagen utilizando varios tipos de funciones además de otras técnicas para extraer información de las imágenes (Jimenez, Prieto, & Ramirez, 2016).

Generalmente, los datos de una imagen están conformados por una cantidad representativa de información redundante en su representación canónica, es así como un aspecto del PDI relaciona el proceso de compresión y codificación de la información visual ayudando a minimizar las redundancias en los datos de las imágenes sin procesar, para reducir el ancho de banda de

almacenamiento y comunicación, mejorando la representación compacta de los datos. Todo ese proceso está estructurado por una serie de etapas que necesariamente debe cumplir para el PDI como son: pre-procesamiento, comprensión de la imagen, detección del sector, segmentación (Pitas, 2000).

Una imagen digital (ID) se define en base a una función bidimensional de Intensidad de luz (Gonzalez & Woods, 2008b) que se detallara en la Ecuación (2).

$$\begin{array}{ccc}
 \text{Imagen Digital} & & \\
 \uparrow & & \\
 ID = f(x, y) & \xrightarrow{\text{rojo}} & \text{Función Bidimensional} \\
 \downarrow & & \\
 \text{Coordenadas} & & \\
 \text{Espaciales} & & 
 \end{array}$$

### **Ecuación 2.** Función bidimensional de Intensidad Luz

Teniendo en cuenta que la amplitud de la función es proporcional al nivel de grises de la imagen en ese determinado punto (Soysal, Chen, & Schneider, 2010). Además se conoce también que ID se representa a partir de un modelo o un conjunto de espacios de color, el mismo puede ser alterado por diversos mecanismos, entre los principales tenemos ecuaciones matemáticas que adhieren algún efecto a la ID inicial, además existen modelos especiales que pueden restaurar, comprimir, modificar la estructura de una ID, sin dejar atrás las técnicas tradicionales de configuración de imágenes (efectos de entorno) (Gonzalez & Woods, 2008b). En esencia la modificación de una imagen puede aportar a la extracción de muchas características específicas que a simple vista no pueden ser evidenciadas, o también puedan cumplir alguna finalidad de modificación específica. Para la presente investigación se tomará en cuenta únicamente las ecuaciones y algoritmos necesarios en el desarrollo de la presente investigación:

### 2.2.2.2 COMPONENTES DE UNA IMAGEN DIGITAL

Una imagen digital (ID), puede representarse en varias componentes de color dependiendo de la estructura a la cual se encuentre representada, en el procesamiento digital de imágenes (PDI) las estructuras de mayor demanda son RGB y CMY, los mismos aportan colores en totalidades diferenciales, estos colores son de gran importancia para la obtención de características o la inserción de algoritmos para el tratamiento de la ID, además de estas estructuras de color, existe algoritmos para la obtención de parámetros que representan estructuras en función de parámetros de interés como HSL, que aporta criterios de matiz, saturación y luminosidad que son empleados en PDI (Andrews, Tescher, & Kruger, 1972).

#### **a. Modelo Red, Green, Blue (RGB).**

El espacio o modelo de color RGB se forma por una matriz de 3 dimensiones, las dos primeras dimensiones representan la ID bidimensional y la tercera pertenece a cada espacio de color, en esencia una ID en RGB se la puede apreciar como tres imágenes en escala de grises que al unir las forman los colores rojo, verde and azul (Gonzalez & Woods, 2008a).

#### **b. Modelo Cian, Magenta, Yellow (CMY).**

El espacio o modelo de color CMY se forma por una matriz de 3 dimensiones, las dos primeras dimensiones representan la ID bidimensional y la tercera pertenece a cada espacio de color, en esencia una ID en CMY se la puede apreciar como tres imágenes en escala de grises que al unir las forman los colores cian, magenta and yellow (Gonzalez & Woods, 2008a).

### **c. Modelo Hue, Saturation, Lightness (HSL)**

También denominado HSI (Hue, Saturation, Intensity), en el mismo una ID está formada por tres componentes, las cuales representa la profundidad, la saturación y la intensidad de la imagen (Gonzalez & Woods, 2008a).

## **2.2.2.3 OPERACIONES CON IMÁGENES**

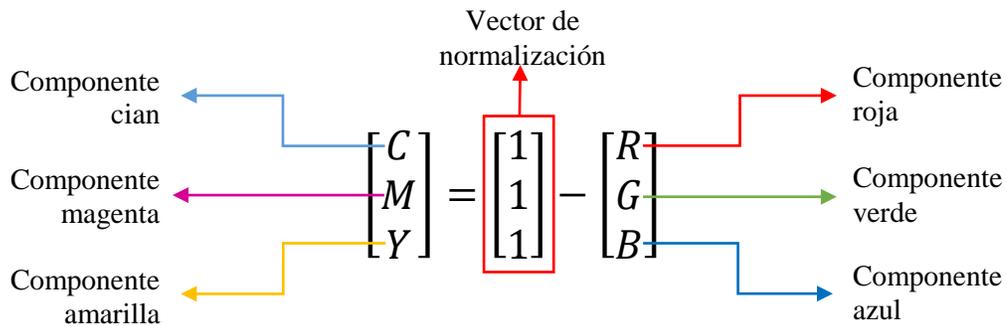
Dentro de PDI existe un sin número de algoritmos los cuales permiten realizar operaciones aritméticas entre imágenes, un ejemplo de esto es que la resultante de la suma de dos imágenes es una nueva imagen, ya que en la esencia se está sumando cada píxel de la primera con cada píxel de la segunda, así como esta operación se pueden realizar muchas más.

Las operaciones aritméticas aplicables en las imágenes son la suma, la resta, la multiplicación y la división, además existen operaciones lógicas, morfológicas, entre otras que posteriormente se explicaran a detalle (Mejía, 2005).

### **2.2.2.3.1 CONVERSIONES DE COLORES**

#### **a. Conversión RGB a CMY**

Los colores primarios en el modelo CMY representan la resta del color blanco con su cada una de las componentes de RGB, es decir, cada componente de CMY es la ausencia de color en la componente RGB. La conversión se la realiza aplicando la ecuación (3), asumiendo que todos los valores de color fueron normalizados en el rango de 0 a 1 (Gonzalez & Woods, 2008c).



**Ecuación 3.** Conversión de colores de CMY a RGB

### b. Conversión RGB a GS

Existen algoritmos de PDI que pueden únicamente ser aplicados a imágenes digitales bidimensionales, debido a este apartado es necesario seleccionar una componente de color 'x' o transformarla a GS (Gonzalez & Woods, 2008c), por lo tanto, para efectuar esta transformación se usa la ecuación (4).

$$I(GS) = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B$$

Imagen en escala de grises      Componente roja      Componente verde      Componente azul

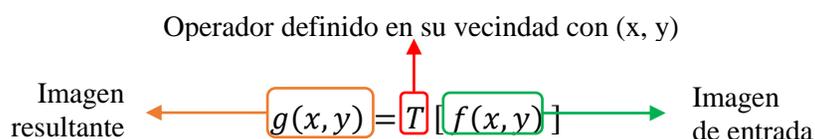
**Ecuación 4.** Conversión RGB a escala de grises

### 2.2.2.3.2 MEJORAMIENTO DE UNA IMAGEN DIGITAL

Una imagen digital (ID) pasa por un proceso de mejoramiento en base a funciones, apartados y ecuaciones matemáticas, con el fin de obtener características relevantes para dar cumplimiento a un objetivo en específico.

### a. Dominio Espacial

Se realiza un mejoramiento en base al dominio espacial, trabajando sobre el plano de una ID, en el mismo se manipula cada uno de los pixeles de la ID, como se especifica en la siguiente ecuación (5).

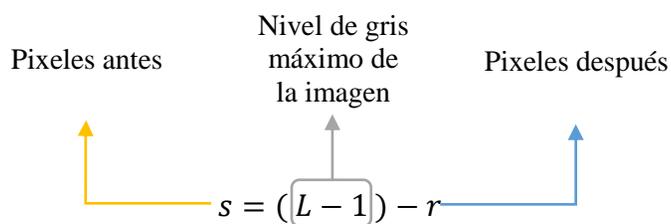


**Ecuación 5.** Conversión RGB a escala de grises

Para transformar una ID a una binaria se utiliza una función denominada umbral, donde el umbral es el identificador de dicha función que prioriza la binarización de la ID, algunas transformaciones de binarización se realizan a partir de ecuaciones como, por ejemplo, logarítmica, potencia y negativa, a continuación, se detallan funciones para el mejoramiento de la imagen digital que fueron utilizadas en el presente trabajo.

- **Transformación Negativa**

En esta transformación se invierten los niveles de intensidad obteniendo un equivalente a un negativo fotográfico, esto se realiza con la finalidad de visualizar de mejor manera algunas anomalías correspondientes a la retinopatía diabética. La ecuación (6) se usa para realizar dicho procedimiento.



**Ecuación 6.** Transformación Negativa

- **Procesamiento de Histograma**

Se conoce como histograma a la representación gráfica de una distribución de frecuencias, básicamente el histograma de una imagen en niveles de gris en el rango  $[0, (L - 1)]$  es una función discreta que se representa en la siguiente ecuación (7).

$$\begin{array}{ccc}
 \text{Nivel de gris} & & \\
 \uparrow & & \\
 h(r) = n & \longrightarrow & \text{Número de} \\
 & & \text{píxeles con ese} \\
 & & \text{nivel de gris}
 \end{array}$$

**Ecuación 7.** Procesamiento de histograma

Dentro de procesamiento digital de imágenes para normalizar un histograma se dividen sus valores para el número total de píxeles de la ID, los histogramas usan modelos estadísticos de PDI, además se puede obtener componentes de uniformidad del histograma como, componente de uniformidad oscura, clara, alto contraste y bajo contraste. En la representación gráfica del histograma se puede observar que el eje horizontal representa el valor del nivel de gris, mientras que el eje vertical representa el número de veces que aparece en la imagen aquel nivel de gris, es decir  $h(r)$  (Mejía, 2005).

### 2.2.2.3.3 MORFOLOGÍA MATEMÁTICA

La Morfología matemática se centra en procesar ID con la ayuda de formas especiales escogidas previamente, denominadas elementos estructurales que básicamente son matrices más pequeñas de la ID inicial, este elemento estructural recorre toda la ID inicial y la modifica generando una nueva ID que se ajuste a un objetivo particular, en procesamiento digital de imágenes se debe tener mucho cuidado con la forma, orientación y el tamaño del elemento estructural ya que el mismo debe responder a estructuras geométricas que cumplan con su objetivo,

en el presente trabajo se utilizaran las siguientes operaciones morfológicas (Gonzalez & Woods, 2008d).

### a. Dilatación

También denominada expansión o crecimiento, esta operación básicamente engrosa las paredes de un objeto dentro de una ID, se utiliza generalmente para aumentar el contorno de un objeto dentro de una imagen, uniendo líneas discontinuas, matemáticamente se la expresa con la siguiente ecuación (8).

$$A \oplus B = \{c \in E^N \mid c = a + b\} \forall a \in \text{de } A \text{ y } b \text{ elemento de } B$$

**Ecuación 8.** Operación Morfológica de Dilatación

### b. Erosión

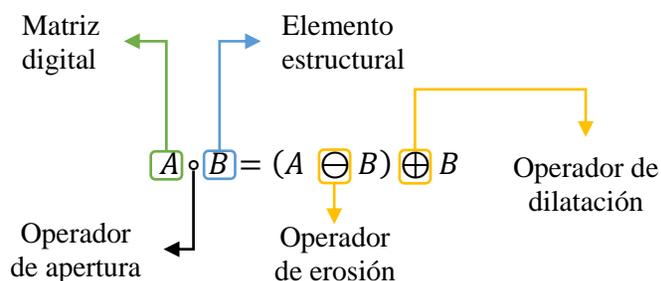
Es una función dual a la dilatación, pero no su inversa, básicamente se centra en reducir o adelgazar los objetos de una ID es utilizada para filtrar objetos dentro de una ID o para separar un objeto de otro siempre y cuando tengan alguna relación, matemáticamente se la expresa con la siguiente ecuación (9).

$$A \ominus B = \{x \in E^N \mid x + b \in \text{de } A\} \forall b \text{ elemento de } B$$

**Ecuación 9.** Operación Morfológica de Erosión

### c. Apertura

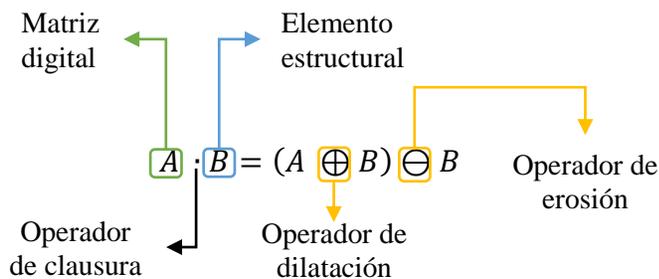
Es una función que tiene como objetivo eliminar las protuberancias de una ID, así como desconectar objetos y eliminar componentes conexas muy pequeñas, que en ocasiones son cubiertas por el elemento estructural, matemáticamente se la expresa con la siguiente ecuación (10).



**Ecuación 10.** Operación Morfológica de Apertura

### d. Clausura

Es una función que tiene como objetivo unir objetos dentro de una ID, así como llenar huecos y unir los componentes cercanos dentro de una ID, siempre y cuando los objetos sean más pequeños que el elemento estructural, matemáticamente se la expresa con la siguiente ecuación (11).



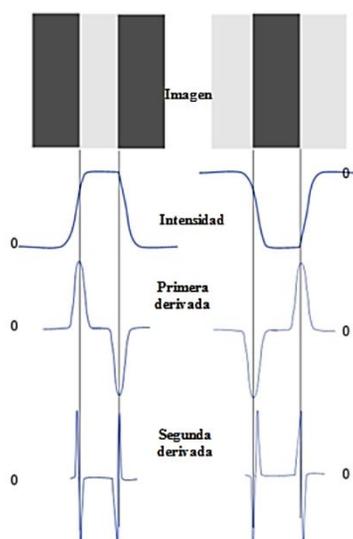
**Ecuación 11.** Operación Morfológica de Clausura

### 2.2.2.3.4 DETECCIÓN DE BORDES

Dentro del presente trabajo es relevante la detección de bordes dentro de una ID, es así que básicamente se utilizan esta operación, para detectar cambios de la intensidad dentro de una ID de 2 y 3 dimensiones. El borde de una imagen es definido como una transición brusca de los niveles de intensidad de una ID que se presenta en dos regiones adyacentes dentro de una ID (Feng-ying Cui, Li-jun Zou, & Bei Song, 2008).

En procesamiento digital de imágenes la detección de bordes se la realiza en base a algoritmos matemáticos que utilizan operadores locales basados en distintas aproximaciones discretas de la I y II derivada (Sonka, Hlavac, & Boyle, 2008).

Cuando se está trabajando en detección de bordes el valor de la I derivada es cero en todas las regiones de intensidad constante en toda su transición, además de tener valores constantes cuando ocurra un cambio de intensidad, mientras que el valor de la II derivada es cero en todos los puntos excepto en el inicio y fin de la transición, como se puede observar en la figura 7 (Gonzalez & Woods, 2008a; Shih, 2010).



**Figura 7.** Primera y segunda derivada en la detección de bordes

**Fuente.** (González, 2017)

### 2.2.2.3.5 TRANSFORMADA DE HOUGH

En procesamiento digital de imágenes la transformada de Hough es utilizada generalmente para aislar características de manera singular dentro de una imagen digital, en síntesis este apartado trata de encontrar curvas que puedan ser parametrizadas como líneas, rectas, polígonos, figuras y curvas, analíticamente se describe como una línea en varias formas, para su integración se la representa de forma paramétrica o normal ya que es más fácil para describir un conjunto de líneas (Urrea & Ospina, 2004), matemáticamente se la expresa con la siguiente ecuación (12).

Longitud de una normal desde el origen hasta la línea

$$\rho = x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta)$$

Componentes polares de la curva

Ángulo de  $\rho$  con respecto al eje x

#### **Ecuación 12.** Representación de la Transformada de Hough

El contorno paramétrico es representado por una estructura rectangular, denominada conjunto acumulador y cuyos elementos son las una especie de rectángulos acumuladoras  $A(\rho_i, \theta_i)$ , las mismas son los rangos esperados de  $(\rho, \theta)$ , además se evidencia que si los rectángulos acumuladoras obtienen un valor diferenciador a un umbral específico pueden ser consideradas como líneas, rectas, polígonos figuras y curvas posibles para ser detectadas (Paz, Velez, Saenz, Menes, & Sánchez, 2006).

### 2.2.2.4 APRENDIZAJE DE MAQUINA

Es una rama de la Inteligencia Artificial que permite desarrollar programas y generalizar comportamientos a partir de ejemplos, básicamente el computador puede aprender o automatizar tareas mediante métodos y modelos matemáticos de forma genérica, permitiendo detectar ciertos

patrones o regularidades conformando un nicho del aprendizaje automático sobre la comprensión del proceso (Provost & Kohavi, 1998). Una parte que debe considerarse es la incorporación de la inteligencia artificial sobre el sistema, es decir, debe tener la capacidad de aprender sobre el entorno, de forma que pueda adaptarse a tales cambios y no necesite prever y proporcionar soluciones para todas las situaciones posibles (Alpaydin, 2004).

Cuando comienza la etapa de estudio del aprendizaje de maquina debe considerar la selección de: tipo de entrenamiento, función objetiva de aprendizaje, representación y algoritmo que aprende la función a partir de ejemplos de entrenamiento. Todo ese proceso de aprendizaje automático comienza durante la programación de la base de conocimientos que optimizaran el rendimiento, esto se logra utilizando los datos de entrenamiento o experiencias pasadas para definir un modelo predictivo en función de algunos parámetros, para obtener conocimiento a partir de los datos (Alpaydin, 2004). Además, tiene técnicas de aprendizaje supervisadas, no supervisadas y semi-supervisadas, todas tienen el objetivo de aprender a mapear las respuestas correctas proporcionadas, que se basan en patrones de entrada y salida correcta (Godoy, 2017).

Por otro lado, los algoritmos de aprendizaje de máquina utilizan la teoría de las estadísticas en la construcción de modelos matemáticos, ya que de esta forma puede hacer inferencia a partir de una muestra y conseguir algunos propósitos como: aprender un modelo, su representación, su solución algorítmica, y sobre todo la eficiencia del algoritmo, es decir, su complejidad de espacio y tiempo, que tiene el mismo nivel de importancia como su precisión predictiva (Goodfellow, Bengio, & Courville, n.d.). Los métodos de aprendizaje de máquinas son muy utilizados en el campo de la medicina para el desarrollo de estudios científicos, con la finalidad de lograr resolver problemáticas patológicas a partir del aprendizaje automático (Delgado, Rainer, Hernández, Orozco, & Lorenzo, 2016).

A continuación, en la Tabla 8 se muestra una clasificación de los modelos de aprendizaje automático.

**Tabla 8.** Modelo de aprendizaje automático.

Modelo de aprendizaje automático	Definición
<b>Aprendizaje supervisado</b>	Es una técnica que dependen de la proyección histórica de la información almacenada. Se representa con una función donde la entrada contiene a las características analizadas y la salida lo que quiere predecir el sistema, es útil en problemas de clasificación y regresión.
<b>Aprendizaje no supervisado</b>	Es una técnica que permite extraer conocimiento de un conjunto de datos a partir de la deducción de los modelos. Se representa con una función donde la entrada es conocida, pero sin información de la categorización de los datos del sistema; eso implica el uso de patrones, es útil en problemas de análisis clúster y reducción de dimensionalidad.
<b>Aprendizaje semi supervisado</b>	Es una técnica que dispone de instancias de entrenamiento etiquetadas y no etiquetadas. Se representa con una función donde la entrada son los atributos y las salidas son los datos etiquetados, es útil para clasificar cuentas de datos, aunque resulta costoso el proceso.

<b>Aprendizaje por refuerzo</b>	Es una técnica que permiten predecir la salida de nuevas entradas. Se representa con una función donde la entrada está en retroalimentación y las salidas son provistos por el medio ambiente, es útil para aprender a base de prueba y error (premio y castigo).
---------------------------------	---

Fuente. (Flach, 2014) (Moya, 2016)

Otra clasificación de aprendizaje automático se puede dar dependiendo de la salida deseada representada en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Modelo de aprendizaje automático, según su salida deseada.

Modelo de aprendizaje automático	Definición
<b>En clasificación</b>	Las entradas se asignan o dividen en dos o más clases, normalmente es un aprendizaje supervisado.
<b>En regresión</b>	Las salidas son continuas y no discretas.
<b>En estimación de densidad</b>	Se encuentra la distribución en algún plano.
<b>En reducción de dimensionalidad</b>	Se reducen insumos mediante la asignación en espacios dimensionales inferiores.

Fuente. (Flach, 2014)

En el presente trabajo se usará aprendizaje supervisado, debido a que se tiene una base de datos previamente etiquetada por un retino-patólogo además se busca como salida en la aplicación con clasificación madura, junto con la Dra. Sonia Cárdenas se logró el acuerdo para llegar a cabo dicha investigación, trabajar con algoritmos de redes neuronales artificiales.

#### **2.2.2.4.1 REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) forma parte del complejo campo de la Inteligencia Artificial, siendo considerada como una herramienta inspirada en el funcionamiento neuronal del cerebro humano, capaz de replicar procesos de estimulación basados en la experiencia y la extracción de conocimiento dentro de un conjunto de datos para el aprendizaje automático (Flórez & Fernández, 2008).

Una RNA no es más que un conjunto de capas (vectores) de entrada, ocultas y salida interconectadas fuertemente entre sí, utiliza funciones de activación donde un nodo central simula funciones neuronales y los pesos entre los nodos simulan la memoria, eso le permite adoptar varios enfoques dependiendo del estado que tome en cada caso, de tal forma que pueda encontrar patrones altamente complejos mediante un modelo matemático o computacional para la resolución de problemas específicos. Actualmente se utiliza para el reconocimiento de voz, análisis de imágenes, control adaptativo, etc., (Cheng, Wen, & Li, 2016).

Un modelo RNA permite hallar patrones de forma inductiva partiendo de un conjunto de datos que serán procesados en la entrada, generalmente utiliza algoritmos de aprendizaje sea este supervisado o no supervisado; permitiéndole realizar tareas de clasificación, identificación, diagnóstico, optimización o predicción, mediante el balanceo entre los datos y el conocimiento ajustándose entre las interconexiones, durante este proceso se logra minimizar alguna función de error ajustando el grado en los datos (Tapia & Glaría, 2015).

La diferenciación con los modelos estadísticos es que una RNA tiene una gran variedad de técnicas aplicadas de clasificación, que no dependen principalmente de supuestos teóricos estadísticos o probabilísticos sesgados, además que admite en la entrada de la red un conjunto de datos variables sean estos cuantitativos o cualitativos, que utilizados en una investigación genera

una base de conocimiento lo menos sesgado cercano al aprendizaje automático como tal (Piloto, 2017).

#### **2.2.2.4.2 REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES**

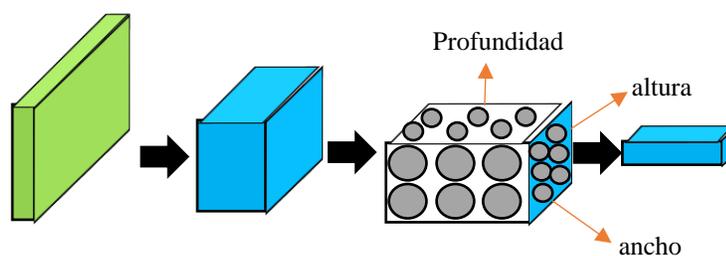
Una red neuronal Convolutiva (RNC) es un algoritmo de aprendizaje profundo, parecida a una RNA con pesos y sesgos que en base al entrenamiento tiene la capacidad de aprender las características. Su arquitectura está conformada por neuronas organizadas en 3 dimensiones: ancho, alto y profundidad, esto le permite tomar en la entrada una imagen, haciendo que las capas estén conectadas a una pequeña región no totalmente como en la RNA, y en la salida se obtiene un único vector de puntaje debido que se redujo la imagen durante el procesamiento entre las capas (Kim, 2014).

La RNC está desarrollada en base a un patrón adaptativo semejante al funcionamiento del cerebro humano analizando los estímulos que recibe respuesta y aprende, eso le permite utilizar sus capas Convolutivas para filtrar y extraer información útil en base a una función con parámetros aprendidos, eso hace que durante el algoritmo mejore considerablemente la detección de objetos optimizando el consumo en memoria, eliminando limitaciones y aumentando la eficiencia durante el procesamiento de imágenes. Existen varias arquitecturas de CNN disponibles que han sido clave en la construcción de algoritmos que potencian la IA para el aprendizaje profundo: LeNet, AlexNet, VGGNet, GoogLeNet, ResNet, ZFNet (Simard, Steinkraus, & Platt, 2003).

La RNC podría ser optimizada manejando utilizando algoritmos de descenso del gradiente que permiten adaptar a los parámetros de la red neuronal, mediante el entrenamiento logrando mejorar la precisión durante el proceso de predicción de las salidas en base a las entradas determinadas. Además, las aplicaciones de RNC más comunes son sistemas enfocados en el

reconocimiento, clasificación, etiquetado y análisis de imágenes sea en texto o lenguaje natural (Vedaldi & Lenc, 2015).

La figura 8 muestra el esquema de una Red Neuronal Convolutiva utilizado en el presente trabajo, como el clasificador principal para la toma de decisiones que se efectuará en un siguiente capítulo.



**Figura 8.** Red Neuronal Convolutiva.

**Fuente.** (Karpathy, 2018)

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO**

En el presente capítulo se describen las fases de la metodología usada para el desarrollo de la aplicación, la misma que permite diagnosticar en forma preventiva la retinopatía diabética no proliferativa. Esta aplicación se basa en Ingeniería del Conocimiento, por lo tanto, ha sido aplicada la metodología Common KADS y el Prototipado que son específicas para el desarrollo de este tipo de sistemas. Los sistemas basados en conocimiento (SBC) permiten resolver problemas complejos y reales de un dominio específico de un profesional especialista (conocido como “Experto”, (González & Dankel, 1993), mediante un trabajo conjunto con los técnicos de desarrollo (Tesista y Docentes).

El proceso de desarrollo de los SBC se inicia con el análisis del problema, seguidamente se realiza un análisis del dominio del conocimiento, análisis de la viabilidad, modelado del conocimiento (abstracción de todos los conocimientos), desarrollo del prototipo y pruebas con casos. Este tipo de sistemas no requiere de un levantamiento de requisitos, como los sistemas que se desarrollan en base a las metodologías de la Ingeniería de Software.

A continuación, se desarrollan cada una de las fases:

#### **3.1 ANÁLISIS DEL PROBLEMA**

En la actualidad dialogar acerca de la Diabetes Mellitus (DM) es un tema sumamente complejo y de una extensa variación de puntos de interés, se conoce que la DM es una patología crónica que se produce debido a que el páncreas de un individuo no produce suficiente insulina o no la utiliza de forma eficaz (Alberti & Zimmet, 1998), en países en vías de desarrollo como el

nuestro es evidente que esta enfermedad se presenta en altos índices, ya que los niveles de desnutrición y desórdenes alimenticios son de gran escala, al que en la actualidad toda nuestra población está expuesta, una patología sumamente grave que se desencadena del agravamiento de esta patología es la Retinopatía Diabética No Proliferativa (RDNP), la misma hoy en día es una de las causantes más significativas de la pérdida de la visión parcial y ceguera en nuestra población debido a que no se posee de equipos especializados, especialistas en el área en cuestión y un acceso adecuado a exámenes oportunos de dicha patología, es por esto que con el presente trabajo pretende ser de gran importancia para el tratamiento oportuno de esta patología.

### **3.2 ANÁLISIS DEL DOMINIO DEL CONOCIMIENTO**

Debido a la relevancia y el dominio de la investigación se deben poseer vastos conocimientos acerca de:

- a. El Ojo
- b. La Retina
- c. Retinopatía Diabética
- d. Retinopatía Diabética No Proliferativa
- e. Vasos Sanguíneos.
- f. Anomalías (Micro-aneurismas, Micro-hemorragias, exudados blandos y duros).

Los mismos servirán como referentes para el procesamiento que se realizara sobre las imágenes digitales proporcionadas para la presente investigación, además de ser criterios incluyentes dentro de los contextos investigativos del presente trabajo, la abstracción del

conocimiento del especialista, se la llevó a cabo en una reunión formal, donde se especificó a detalle cada uno de los conocimientos que se deben abstraer en el ámbito oftalmológico (**Ver Anexo 1**).

### **3.3 ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD**

Para el presente trabajo se dispone de los Recursos Humanos y Técnicos para el desarrollo del prototipo propuesto.

#### **3.3.1 RRHH**

- El profesional médico especialista en Oftalmología y Retino patología del HE-1, quien es nuestro experto de apoyo para la obtención y creación de la base de conocimiento.
- El docente investigador de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” que presta sus servicios en el CICTE, quien tiene la formación académica en el área de IA.
- El estudiante Tesista quien tiene la formación de la carrera de Ing. De Sistemas e Informática.

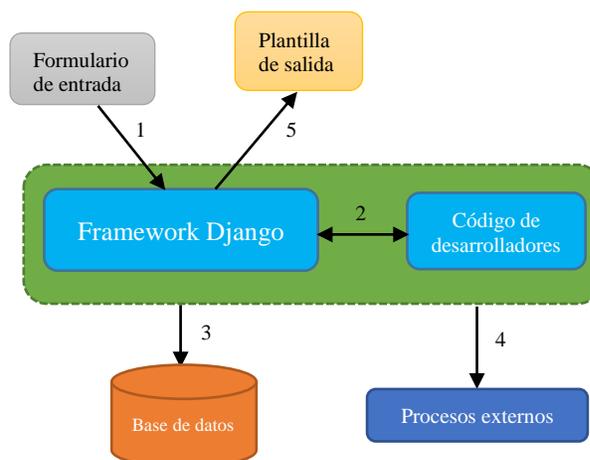
#### **3.3.2 TECNICOS**

##### **3.3.2.1 SOFTWARE DE DESARROLLO**

###### **a. Python**

Es un lenguaje de programación de alto nivel con diversos modelos de programación, principalmente la orientación a objetos. Su lenguaje es interpretado en tiempo de ejecución y en diferentes sistemas operativos. Generalmente, Python ha ido extendido su uso como una herramienta de scripting, sustituyendo al bash al momento de administrar sistemas y equipos de operaciones. Principalmente muy utilizado para el análisis estadístico debido a sus librerías dedicadas. Actualmente, Python se está enfocando al desarrollo de aplicaciones web, debido a su

gran cantidad de frameworks de desarrollo web potente como Django como se muestra en la figura 9 (Guido van Rossum, 2018).

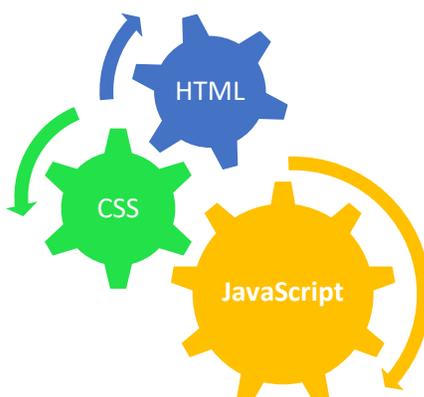


**Figura 9.** Arquitectura de funcionamiento Python.

**Fuente.** (Guido van Rossum, 2018)

## b. JavaScript

Es un lenguaje de programación dinámico, compacto y flexible, que permite el desarrollo de interfaces y funcionalidades complejas en una página web con pocas líneas de código, mediante el uso de Apis dedicados. Está en la tercera capa de los estándares en las tecnologías para la web como se muestra en la figura 10 (Eich, 2018).



**Figura 10.** Estándares en las tecnologías.

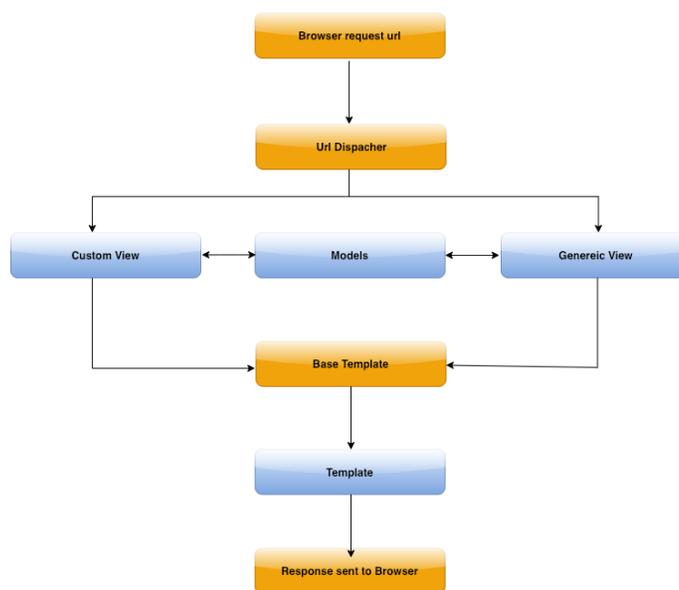
**Fuente.** (Eich, 2018)

### c. Bootstrap

Es considerado un entorno de trabajo web de Python especializado en el desarrollo rápido de sitios web adaptativos, el mismo que fue implementado por Twitter. Actualmente liberado bajo licencia publica general (GNU), con mucha comunidad que aporta al continuo desarrollo y la extensa documentación de soporte. Genera una experiencia altamente usable y atractiva al usuario para el maquetado de la página web. Además, se caracteriza por ser un software: completo, versátil, seguro, escalable, mantenible y portátil. (Bootstrap, 2018).

### d. Django

Es un marco de trabajo desarrollado en Python, enfocado en el diseño de entornos web dinámicos y seguros, con funcionalidades extendidas de código libre como: el acceso a la capa de base de datos, seguridad, sesiones, plantillas, enrutamientos y aplicaciones integradas; todos estos cumpliendo con la estandarización durante la documentación del código fuente como se muestra en la figura 11 (Django Software Foundation, 2018).



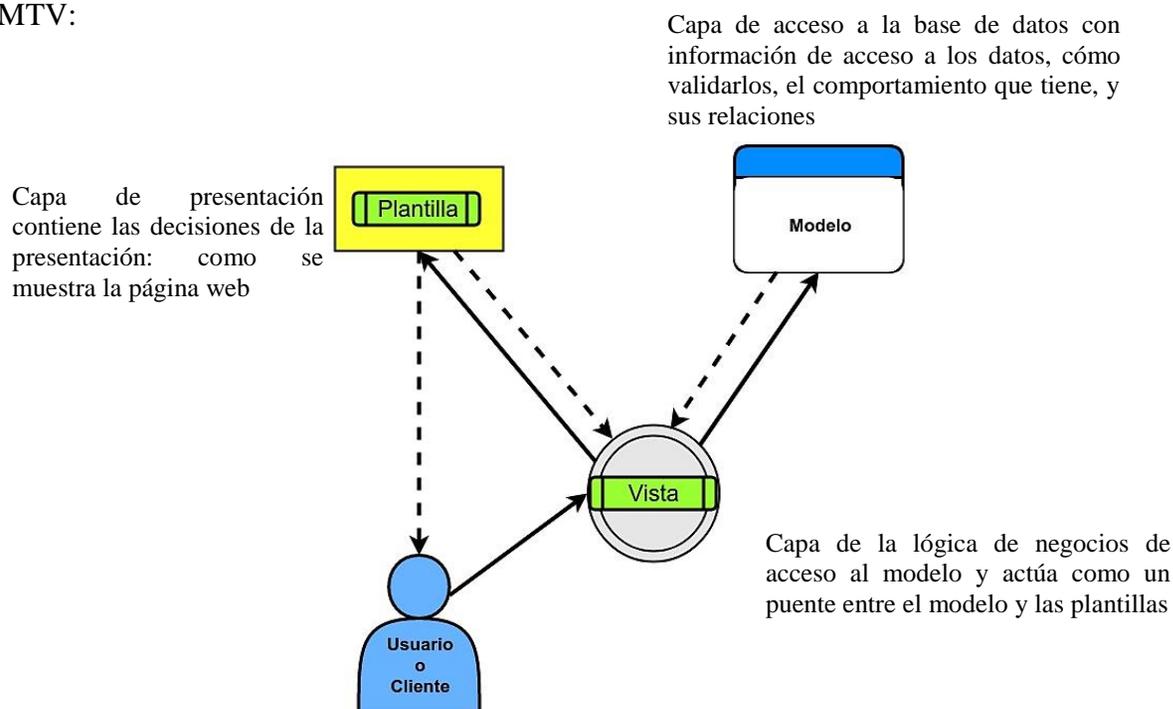
**Figura 11.** Arquitectura de Django.

**Fuente.** (Django Software Foundation, 2018)

### e. Model Template View

El patrón de diseño MTV (Model Template View) es el marco referido de Django, conformado por componentes reutilizables, escalables y de fácil mantenimiento. Este patrón permite estructurar el flujo de datos de la aplicación, proporcionando un ecosistema eficiente de programación (Django Software Foundation, 2018). En la figura 12 se muestra el diseño del patrón

MTV:



**Figura 12.** Patrón de diseño MTV.

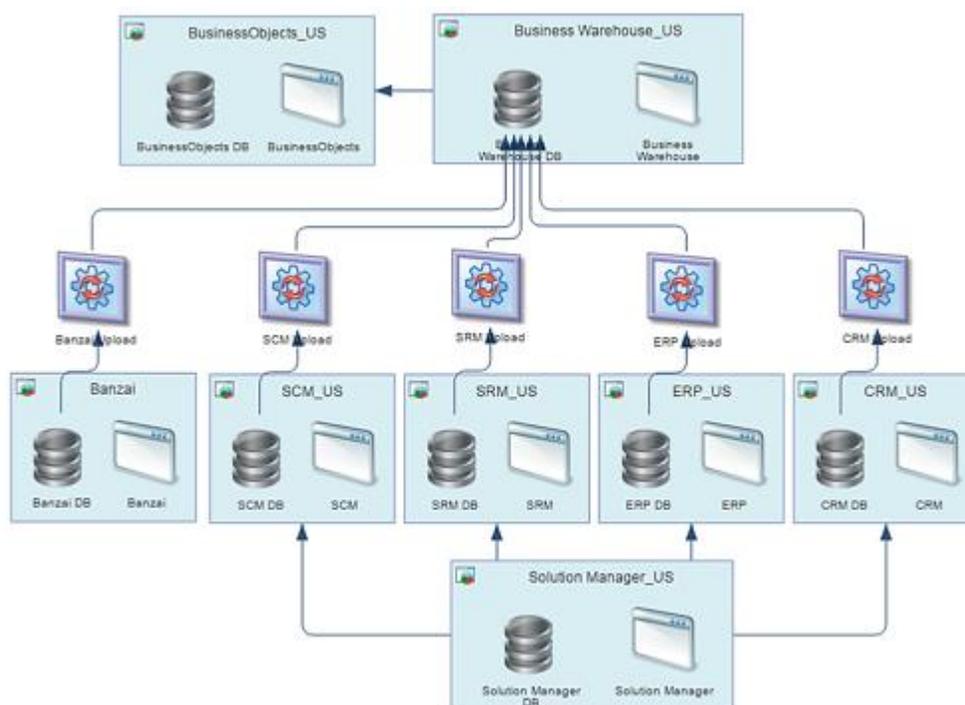
**Fuente.** (Guido van Rossum, 2018)

### 3.3.2.2 SOFTWARE DE LA BASE DE DATOS

#### a. Power Designer

Es la herramienta que ayuda en el modelado de datos (modelo conceptual, físico y lógico). Tiene una funcionalidad extendida que cubre alrededor de más de 60 sistemas de gestión de base

de datos, se caracteriza por ser utilizada por desarrolladores en aplicaciones Cliente/Servidor de alto rendimiento como se muestra en la figura 13 (Plattner, Tschira, BlackRock, & Hopp, 2018).

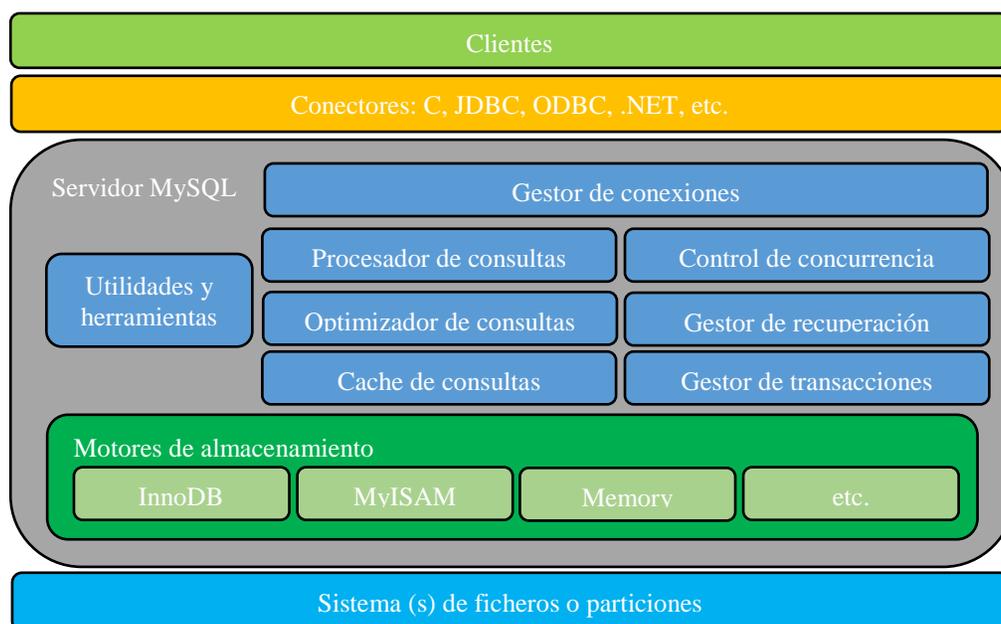


**Figura 13.** Arquitectura de funcionamiento Power Designer.

**Fuente.** (Plattner et al., 2018)

## b. MySQL

Es uno de los sistemas de gestión de base de datos más conocidos y usados, es un software de libre distribución y tiene una estructura funcional relacional multihilo y multiusuario. Está escrito en lenguaje C/C++ y es compatible con múltiples plataformas informáticas, de hecho es muy utilizado para el desarrollo web debido a su operatividad de configuración de sitios de manera simple, su velocidad y flexibilidad como se muestra en la figura 14 (MySQL AB, Sun Microsystems, & Oracle Corporation, 2018).



**Figura 14.** Arquitectura de MySQL.

**Fuente.** (MySQL AB et al., 2018)

### 3.3.2.3 SOFTWARE PARA EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES

El procesamiento digital de imágenes digitales (retino-grafías) en nuestro campo de estudio se llevó a cabo gracias a herramientas específicas como Open Cv de Python la misma que aporta con algoritmos ya establecidos, en el dominio de la visión artificial, además se utiliza librerías de Matlab los mismos persiguen ecuaciones en el dominio espacial y acoples estadísticos de primero y segundo orden que se especificaran a detalle cada una de ellas posteriormente.

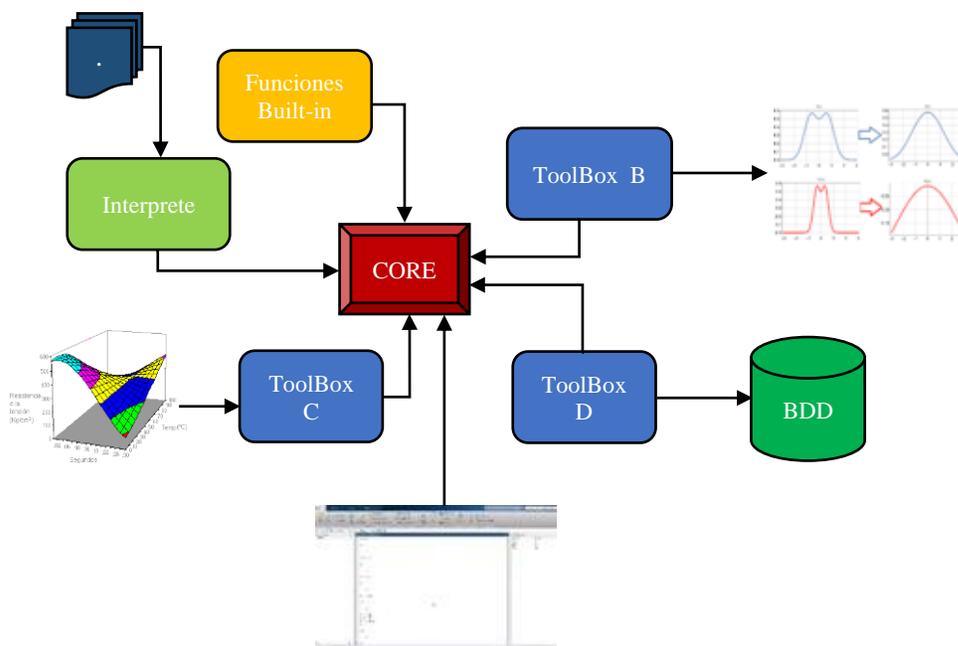
#### a. Software para la adquisición de Fotografías.

Para la adquisición de las fotografías de la presente investigación existe un convenio con el HE-1, en el mismo se especifica que el departamento de sistemas proveerá de un banco aproximado de 2500 fotografías, provenientes de un examen tradicional de fondo ojo, esta adquisición se establece a través de un ODBC entre la Base de Datos del Hospital y la Aplicación en cuestión,

esta conexión será esporádica y contara con la supervisión tanto del Tesista y el grupo de técnicos del departamento de sistemas del HE-Nro.1 FF.AA.

## b. Matlab

Es considerado un software matemático que posee su propio lenguaje de programación llamado M, el cual posee un entorno de interacción entre la programación, la computación numérica y los modelos de simulación, además fue implementado por MathWorks (Little, Moler, & Bangert, 2018). Tiene las capacidades de multiplataforma en las que incluye: Windows, Unix y Apple. Las funcionalidades que posee esta entre manipular matrices, crear GUI, modelamiento de funciones y algoritmos, además que permite interactuar con otras aplicaciones escritas en: C++ o Java que son lenguajes de alto nivel (Little et al., 2018). Un rasgo muy significativo es el manejo de librerías dedicadas e incorporadas para realizar el modelamiento de problemas matemáticos (Little et al., 2018). La modalidad de funcionamiento está representada en la figura 15:



**Figura 15.** Arquitectura de Matlab.

**Fuente.** Imagen tomada del Manual de Matlab (Little et al., 2018)

### c. Open CV.

Es una librería de código abierto que está desarrollada con la finalidad de obtener eficiencia computacional en aplicaciones que se ejecutan en tiempo real, logrando proveer una infraestructura adaptativa que permita el desarrollo de aplicaciones ‘sofisticadas’ rápidamente. Los algoritmos más importantes que posee son el de visión artificial y machine learning, interactuando con interfaces para C++, Python, Java, Matlab y otros lenguajes. El manejo de las librerías dedicadas en Open CV permite resolver problemas de aprendizaje automático, además del reconocimiento estadístico de patrones y clustering (Chen & Wang, 2014)

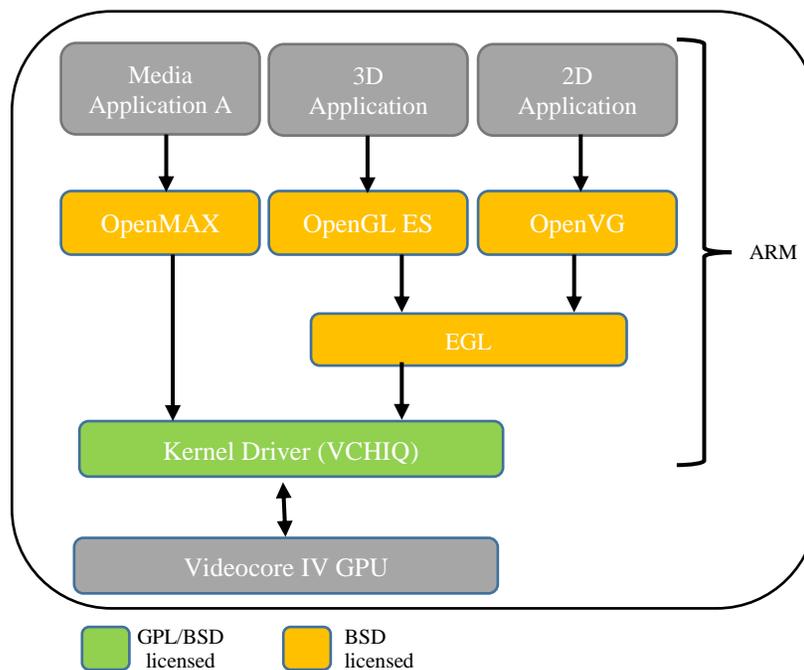
#### 3.3.2.4 HARDWARE

**Tabla 10.** Hardware de desarrollo.

Equipo	Características
MAC	Intel core i7 Memoria Ram 16 GB Disco SSD 750 GB Sistema Operativo Mohave Tarjeta de Video Nvidea 4gb
Raspberry PI 3	Memoria Ram 1GB Wifi Disco duro de 32GB Camara (8mpx) Bluetooth

### a. RASPBERRY PI 3

Es una placa con una estructura similar a un computador pequeño, de bajo costo y gran capacidad de procesamiento, siendo capaz de soportar varios componentes de conexión y e instalar una variedad de sistemas operativos como: Linux, Noobs, Raspbian Ubuntu Mate, Windows 10. Tiene una arquitectura de ARM x86 y es considerado un sistema digital de procesamiento como se muestra en la figura 16.

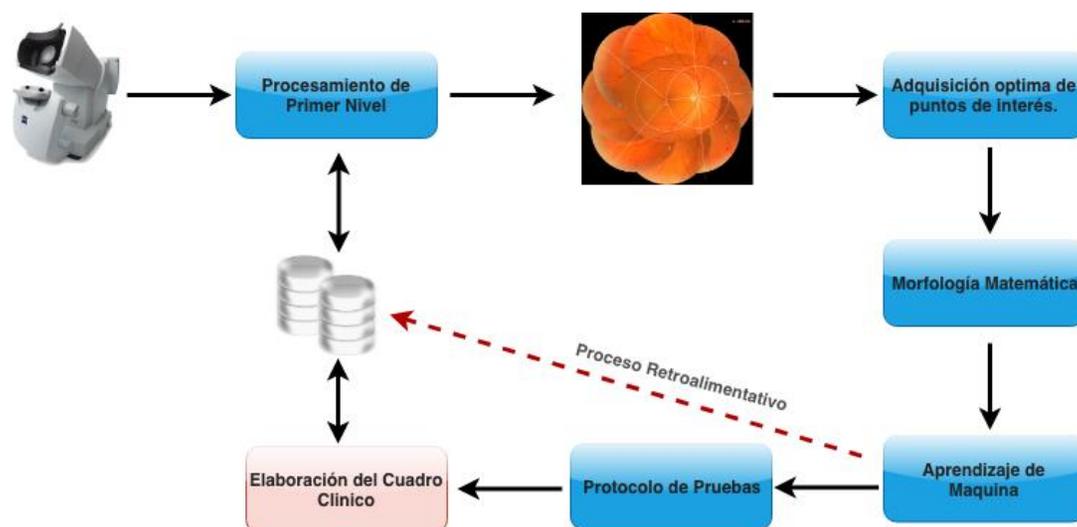


**Figura 16.** Arquitectura de Raspberry Pi 3.

**Fuente.** (Raspberry Pi Foundation, 2018)

### 3.4 MODELADO DEL CONOCIMIENTO

En este apartado se ha comenzado específicamente con la construcción del software en donde se ven involucradas tanto las herramientas de desarrollo y especificaciones teóricas que se aplicaron es así que en primera instancia se estructuró un esquema de la aplicación.



**Figura 17.** Esquema estructura de la aplicación

En la figura 17 podemos observar que, en primera instancia se obtiene las fotografías a través de un examen habitual de fondo de ojo, se realiza un procesamiento de primer nivel en el mismo existen algoritmos como redimensionamiento, normalización entre otros que ayudan a obtener una imagen adecuada para la adquisición óptima de puntos de interés, seguidamente se aplican algoritmos referentes a morfología matemática los mismos ayudan a erosionar, equalizar entre otras funciones para obtener el análisis específico de la imagen con sus puntos de interés, después se realiza un aprendizaje de máquina (Redes Neuronales Artificiales), el mismo dará alimentación para aumentar el grado de precisión de la aplicación bajo parámetros ya establecidos entre los especialistas del HE-1 y el grupo de desarrollo, la aplicación debe contar con un protocolo

de pruebas el mismo que será analizado de forma esporádica ya que todo esto es un proceso retroalimentativo que con el tiempo podrá ser un sistema maduro con grandes aportes en la obtención de resultados, además se elaborará un cuadro clínico el mismo servirá de soporte para los especialistas en el área, para posteriormente sean remitidos los pacientes a instancias más específicas de su tratamiento y evaluación de la Retinopatía Diabética No Proliferativa. Además, La capa del dominio de la aplicación se establece a través de los criterios excluyentes e incluyentes los mismos que se verán inmersos en el desarrollo de la aplicación.

### **3.5 DESARROLLO DEL PROTOTIPO**

En la siguiente sección se detalla cada uno de los puntos importantes en el desarrollo de la aplicación la misma que sirve como sustento del presente trabajo.

#### **3.5.1 OBTENCIÓN DE IMÁGENES**

Se produce mediante la extracción del servidor de que dispone el HE-1, con los criterios establecidos por el médico especialista, para este caso en específico se proveerán 1200 imágenes de personas diabéticas y 1200 no diabéticas, además las personas deben tener una edad superior a los 50 años ya que a partir de esta edad la retinopatía diabética afecta de manera mucho más agresiva a la población, un criterio sumamente relevante que se debe tomar en cuenta es que las personas de esta Base de Datos no deben poseer patologías que afecten a su nervio óptico ya que podrían inferir en la obtención de resultados generando un ruido agresivo en el prototipo que se está desarrollando.

### **3.5.2 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**

En el presente trabajo se procesó las imágenes digitales a través de dos herramientas una de ellas es una extensión de Python denominada OpenCV, con un enfoque en visión artificial, con esta herramienta se realizó el Procesamiento de primer nivel, el cual consistía en normalizar la imagen bajo parámetros estándar que facilitaran el campo de estudio, a continuación se realizó el procesamiento de las imágenes digitales para la extracción de los puntos de interés, para esta funcionalidad se ocupó Matlab, esta herramienta fue proporcionada por la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, en esta se implementó algoritmos más robustos como lo son el procesamiento en el dominio espacial bajo enfoques estadísticos y el acople de ecuaciones morfológicas, que ayudaron a la obtención del criterio final en el cuadro clínico que se genera a partir de estas herramientas y las redes neuronales artificiales, como producto se cuenta con una aplicación que genera un cuadro clínico que servirá de soporte a los médicos no especialistas, a remitir al paciente a un chequeo más adecuado para analizar detenidamente si el paciente en cuestión presentara esta patología o se sugerirá algún tipo de tratamiento para contrarrestarla.

### **3.5.3 ECUACIONES Y ALGORITMOS**

En esta sección se detalla las ecuaciones relevantes dentro del presente trabajo que generaron el producto final y ayudaron a cumplir con los objetivos específicos del mismo.

#### **a. Detección de Circunferencias**

La transformada de Hough es una técnica que detecta figuras geométricas dentro de imágenes digitales que puedan ser representadas por una expresión matemática, para la presente investigación se trabajara con circunferencias y curvas con trayectorias rectilíneas y no rectilíneas,

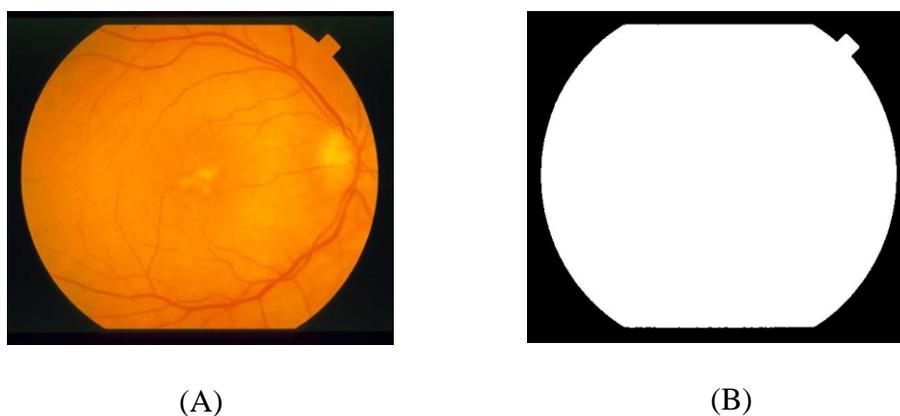
las mismas se pueden representar con ecuaciones experimentales de acople como por ejemplo la circunferencia como muestra la ecuación (13).

$$(x - c_x)^2 + (y - c_y)^2 = r^2$$

Coordenada en el eje  $x$  del centro de la circunferencia  $\leftarrow$   
 Coordenada en el eje  $y$  del centro de la circunferencia  $\leftarrow$   
 Radio de la circunferencia  $\leftarrow$

### **Ecuación 13.** Detección de circunferencias

Como resultado al aplicar esta ecuación se logró generar una imagen digital que delimitara el campo de análisis, eliminando contornos que podrían inferir en los resultados, obteniendo un objeto denominado retina el cual posteriormente se analizara a detalle. En la Figura 18, podemos apreciar cómo se obtiene el objeto de la retina, donde (A) es la imagen digital inicial y (B) es el objeto digital de la retina que posteriormente se analizara a detalle.

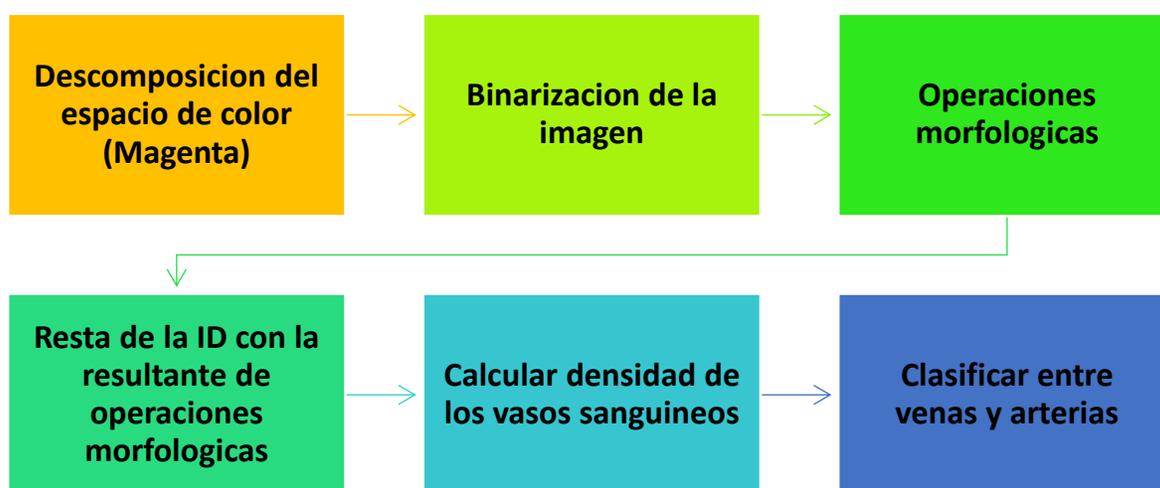


**Figura 18.** Obtención de la Retina con Transformada de Hough

#### **b. Detección de Vasos Sanguíneos**

En la presente trabajo como punto relevante es la identificación adecuada de vasos sanguíneos ya que posteriormente se realizara una clasificación específica donde se detallara que tipo de vaso sanguíneos se identificó según sus características, como venas y arterias, esta

identificación de vasos sanguíneos ayuda a determinar si posee o no RDNP, siempre y cuando existiese alguna anomalía en alguna de ellas o a su relación sea no proporcional, a continuación se detalla la estructuración del algoritmo para la identificación de vasos sanguíneos Figura 19.



**Figura 19.** Algoritmo para la obtención de Vasos Sanguíneos

La Figura 19, muestra el proceso para determinar los vasos sanguíneos presentes en la ID, como primer punto se realiza la descomposición del espacio de color de RGB a CMY con la finalidad de tener una imagen en componente magenta, como se indica en la Figura 20(A), a continuación se realiza una binarización de la imagen para poder operar morfológicamente como lo indica la Figura 20(B), después de esto se procesa a restar el elemento resultante con la ID en componente magenta para obtener ya los vasos sanguíneos, como lo indica la figura 20(C), a continuación se calcula la anchura de cada uno de ellos y se clasifica por venas y arterias como lo indica la figura 20(D) y finalmente se concluye obteniendo la relación de los clasificadores con la siguiente ecuación (14).

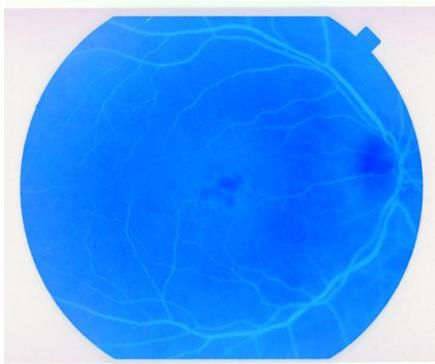
Relación de anchuras entre venas y arterias

$$R_{v-a} = \frac{\sum a(\text{venas})}{\sum a(\text{arterias})}$$

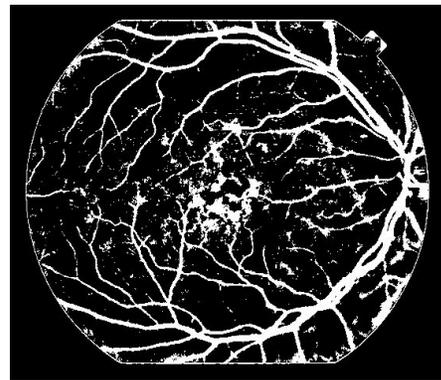
Sumatoria de las anchuras de las venas

Sumatoria de las anchuras de las arterias

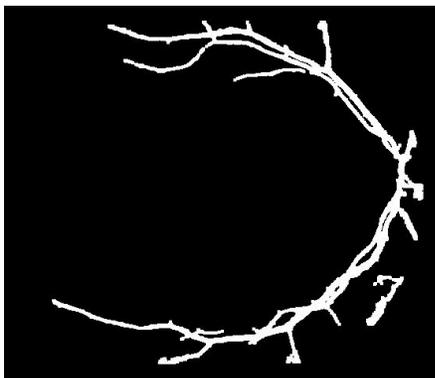
**Ecuación 14.** Relación de anchuras



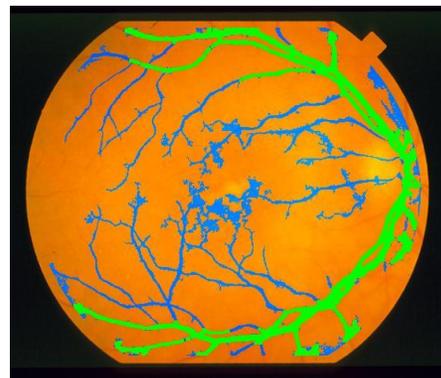
(B)



(B)



(C)



(E)

**Figura 20.** Proceso para la Obtención de Vasos Sanguíneos

### **c. Entrenamiento de la Red Neuronal Artificial**

Entrenar una red neuronal artificial (RNA) es un proceso que consiste en modificar el valor de los pesos asociados a cada neurona a partir de los datos presentados en la entrada, luego se genera una salida; de ser el caso del aprendizaje supervisado en cambio los datos no se conoce la función matemática que los representa; eso hace que durante la propagación hacia delante cada uno de estos patrones obtenga una salida de la RNA (Gómez A, 2016).

### 3.5.4 BASE DE DATOS E IMÁGENES

Para esto se desarrolló un modelado gracias a los conocimientos del grupo técnico (Tesista y Tutora), el mismo se detalla a continuación:

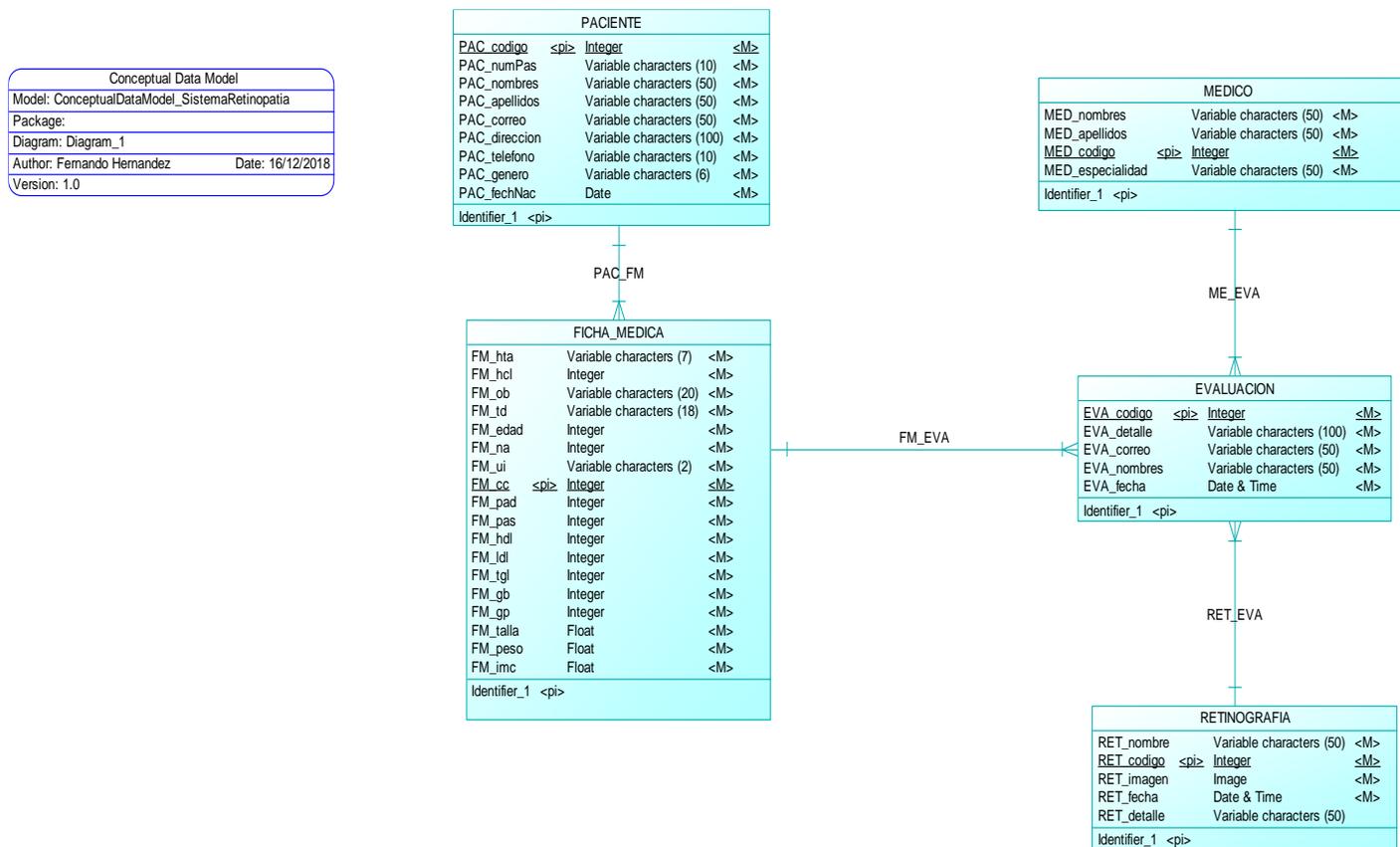


Figura 21. Modelo conceptual del sistema.

Logical Data Model	
Model: ConceptualDataModel_SistemaRetinopatia	
Package:	
Diagram: Diagram_1	
Author: Fernando Hernandez	Date: 16/12/2018
Version: 1.0	

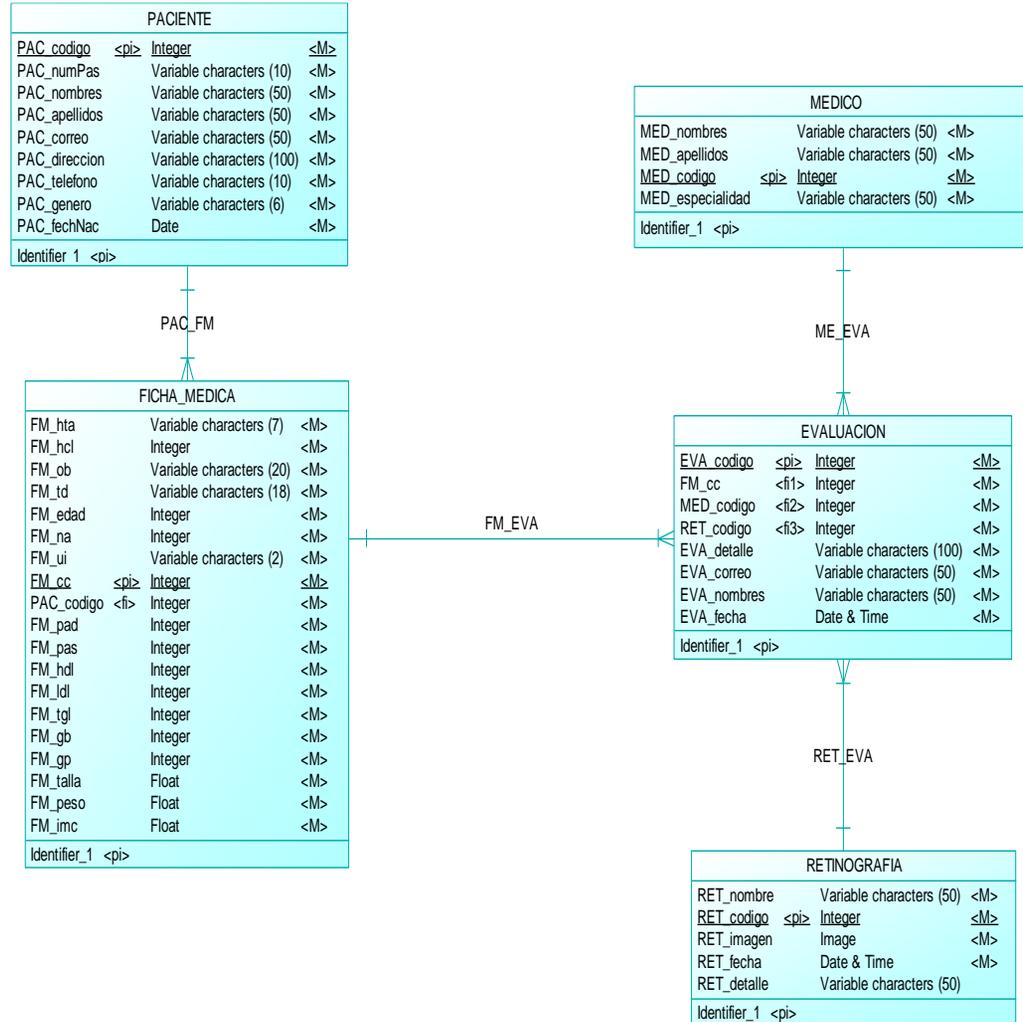
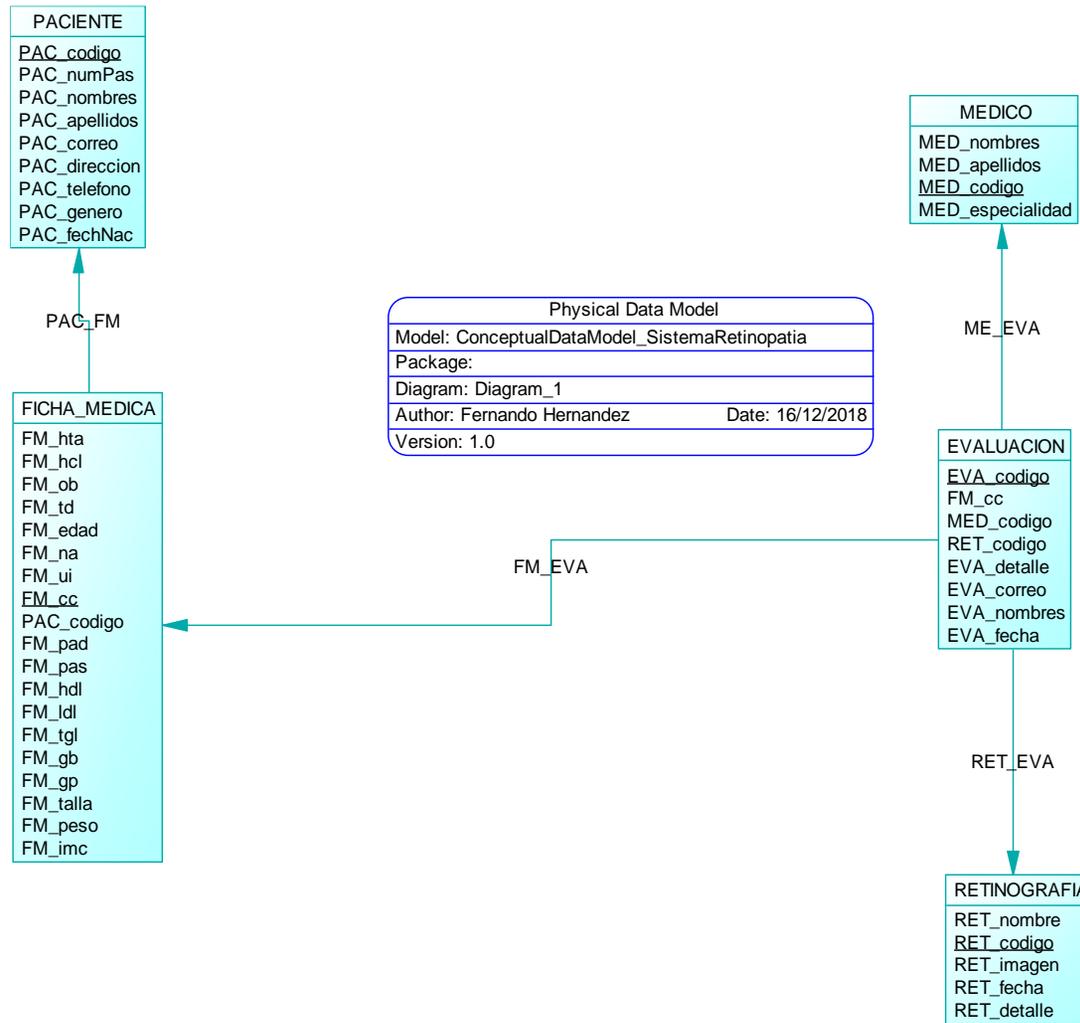


Figura 22. Modelo lógico del sistema.

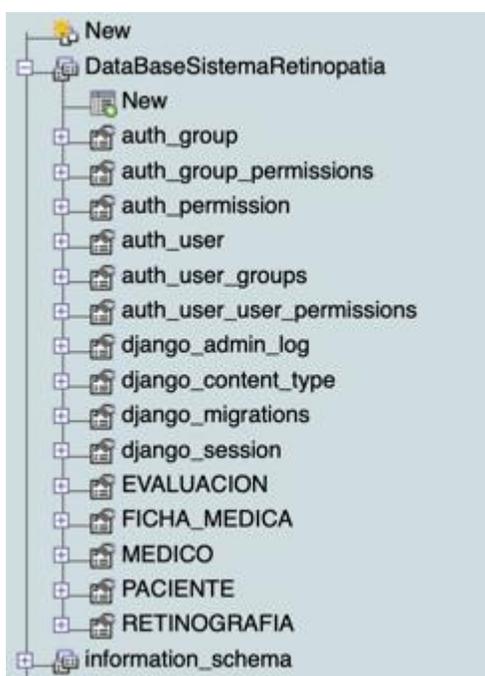


**Figura 23.** Modelo físico del sistema.

### 3.5.4.1 CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS Y CORPUS DE RETINOGRAFIAS

En el presente trabajo se utilizó una base de datos relacional implementada en MySQL, además de implementar un repositorio local en donde se almacenarán las imágenes para su análisis y entrenamiento con el fin generar el soporte clínico para los médicos del HE-1.

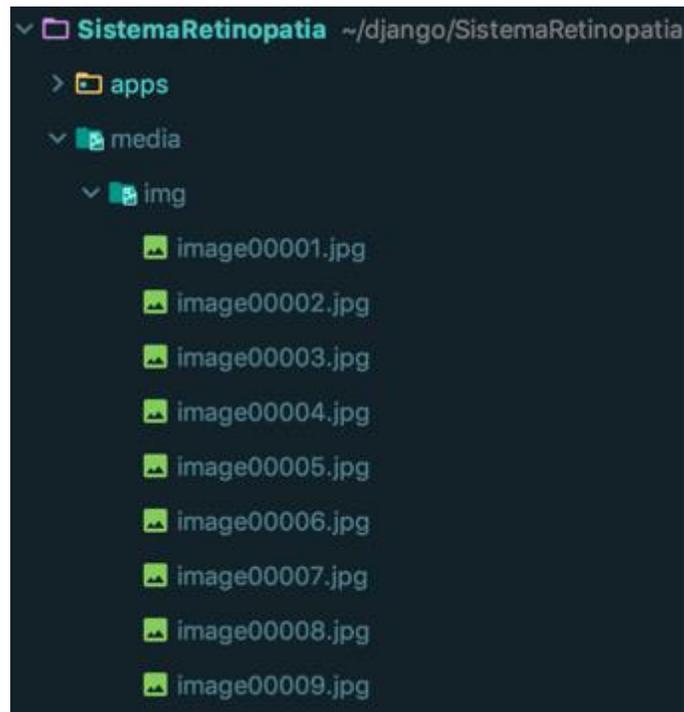
Como primer punto tenemos la estructura jerárquica de las tablas utilizadas dentro del sistema ya que al ser desarrollada bajo el patrón de diseño MTV y la estructura del Framework Django de Python.



**Figura 24.** Estructuración de la Base de Datos

La Figura 24 nos indica tres jerarquizaciones una de ellas es la de autenticación de usuarios con su prefijo AUTH, la segunda es la de administración de contenido de Django con su prefijo Django, y la última es la estructura funcional de la aplicación la cual se especificó a detalle en un apartado anterior. Como punto final de este apartado tenemos el repositorio de imaginarios que en

esta aplicación será local y se encuentra alojado dentro del dominio de la aplicación como lo podemos observar en la Figura 25.



**Figura 25.** Estructuración de la Base de Imágenes Digitales

### 3.5.4.2 MODELADO FUNCIONAL

#### a. Descripción General

- *Perspectiva del Producto*
  - Este producto Software nace debido a la necesidad de prevenir la retinopatía diabética no proliferativa en una temprana, dado que es uno de los trastornos más comunes que la mayoría de personas diabéticas tienen hoy en día.
  - El aplicativo se desarrolla como una aplicación Web.
  - Contará con una interfaz amigable de fácil acceso y reporteria adecuada.

- El software almacenara información específica detallada en el modelo conceptual (Ver Figura 21).

- *Funciones del Producto*

La aplicación realizará 5 procesos de que se detallarán a continuación:

- Agregar imágenes en el formulario.
- Visualizar los parámetros de entrada y salida que determinan si tiene o no dicha patología.
- Comparación y estructuración de detalles acerca de las Retinografías.
- Generar reportes que indicaran si las personas poseen dicha patología.
- Almacenar la información de las de los reportes generados.

- *Condiciones de Entorno*

El sistema de software está destinado a servir como herramienta de apoyo al personal de oftalmología. Con la ayuda del sistema, se agilizará los procesos de análisis para la generación de un diagnostico preventivo de la retinopatía diabética.

- **Restricciones**

- **Software**

- Lenguaje de Base de datos: SQL.
- Lenguajes de programación en uso: Python, Matlab.
- Las modificaciones en el software solo serán por parte de los programadores.

- **Hardware**

- Computadora Desktop.

- No será necesario el uso de ningún dispositivo externo para el funcionamiento del aplicativo.

- **Comunicación**

- Conector MySQL-Python para base de datos Python, permite enlazar la base de datos con el sistema operativo y el compilador Python.

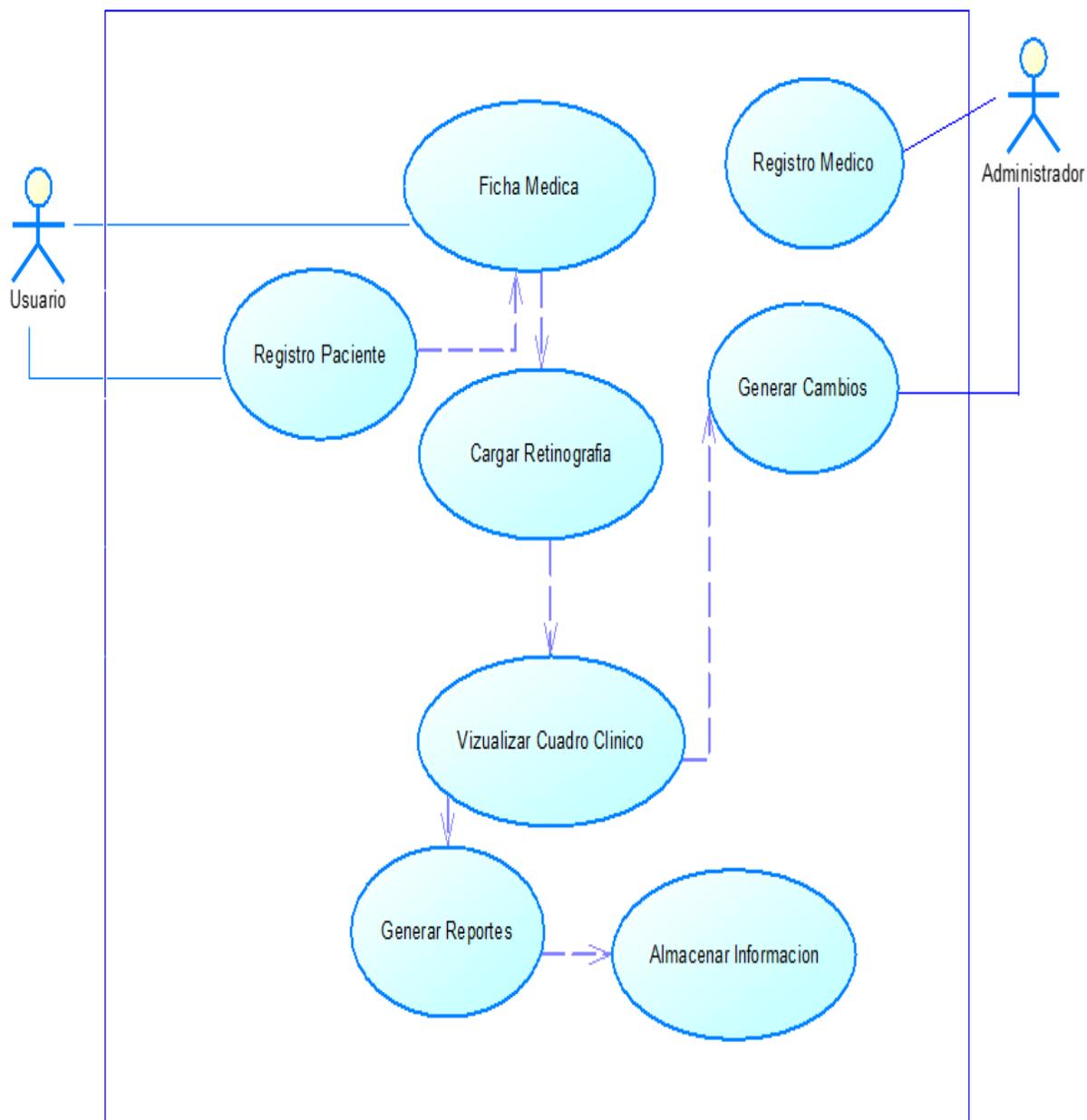
- **Requerimientos de Interfaces Externas**

- El formato a utilizar es predictivo y amigable con el usuario.
- Cada botón y espacio está plenamente identificado.
- Las advertencias dan al momento que se ingresa mal los datos y el programa nos indica el formato en el caso de requerirlo.
- Se utiliza el teclado y el mouse para escoger las opciones.
- Muestra las varias opciones en pantalla como cargar imagen, procesar, salir.

- **Requisitos Funcionales**

- **Especificación de Casos de Uso**

Con la finalidad los requisitos inherentes dentro del aplicativo se diseño es siguiente diagrama de casos de uso (Ver figura 26).



**Figura 26.** Casos de uso de la aplicación.

A continuación, se realizará una descripción detallada de cada caso de uso que tendrá la aplicación.

**Tabla 11.** Requisito Funcional 1.

Id. Requerimiento	RF001
Nombre	Registrar pacientes.
Actor	Médico Especialista / Medico.
Descripción	La aplicación debe permitir ingresar información de pacientes.
Entradas	Formulario de ingreso con los campos a llenar: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cedula</li> <li>- Nombres</li> <li>- Apellidos</li> <li>- Correo</li> <li>- Dirección</li> <li>- Teléfono</li> <li>- Genero</li> <li>- Fecha de Nacimiento</li> </ul>
Salidas	-Ingreso del Paciente.
Proceso	1) Seleccionar agregar paciente. 2) Seleccionar la opción guardar.
Precondiciones	Haber ingresado a la aplicación: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Poseer los datos del Paciente.</li> </ul>
Post condiciones	El resultado será almacenado con éxito en la base de datos.
Efectos Colaterales	Si el usuario no ingresa la información adecuada el sistema no permitirá ejecutar el proceso ni almacenado.
Prioridad	Media

**Tabla 12.** Requisito Funcional 2.

Id. Requerimiento	RF002
Nombre	Registrar ficha Medica
Actor	Médico Especialista / Medico.
Descripción	La aplicación debe permitir ingresar información correspondiente a la ficha medica de un paciente.
Entradas	Formulario de ingreso con los campos a llenar: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Datos Ficha Medica Rutinaria</li> </ul>
Salidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un registro con las fichas medicas de los pacientes</li> <li>- Un mensaje de registro generado exitosamente.</li> </ul>
Proceso	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Seleccionar agregar ficha médica.</li> <li>2) Seleccionar la opción guardar.</li> </ol>
Precondiciones	Haber ingresado a la aplicación: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Poseer los datos de la ficha Medica Rutinaria.</li> <li>- Datos en la base de datos.</li> </ul>
Post condiciones	Se obtendrá un registro con la información requerida.
Efectos Colaterales	Si el usuario no ingresa la información, el sistema no permitirá ejecutar el proceso y generar un reporte en blanco.
Prioridad	Alta

**Tabla 13.** Requisito Funcional 3.

Id. Requerimiento	RF003
Nombre	Agregar Imagen Digital (retinografia).
Actor	Médico Especialista / Medico.
Descripción	La aplicación debe permitir agregar la imagen que será procesada digitalmente.
Entradas	Formulario de ingreso con los campos a llenar: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Agregar imagen</li> </ul>
Salidas	-La imagen procesada digitalmente con las aproximaciones graficas sobre la misma. -El rango de color determinado de la retina. - Transformación lineal grafica para el análisis sobre la retina. -Se mostrará un mensaje de confirmación: “Es probable que tenga retinopatía diabética”, o bien “No presenta rasgos de tener retinopatía diabética”.
Proceso	1) Seleccionar agregar imagen. 2) Seleccionar la opción procesar.
Precondiciones	Haber ingresado a la aplicación: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Una imagen .JPG valida.</li> </ul>
Post condiciones	El resultado será almacenado con éxito en la base de datos.
Efectos Colaterales	Si el usuario no ingresa la imagen o ingresa una incorrecta, el sistema no permitirá ejecutar el proceso ni almacenado.
Prioridad	Alta

**Tabla 14.** Requisito Funcional 4.

Id. Requerimiento	RF004
Nombre	Visualizar cuadro clínico.
Actor	Médico Especialista / Medico.
Descripción	La aplicación debe permitir visualizar los parámetros de salida que determinan si tiene o no retinopatía diabética.
Entradas	Formulario de ingreso con los campos a llenar: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Agregar imagen</li> <li>- Seleccionar Procesar</li> </ul>
Salidas	-La imagen procesada digitalmente. - Transformación lineal grafica para el análisis sobre la retina.
Proceso	1) Seleccionar la opción procesar.
Precondiciones	Haber ingresado a la aplicación: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Una imagen .JPG valida.</li> </ul>
Post condiciones	El resultado será almacenado con éxito en la base de datos.
Efectos Colaterales	Si el usuario no ingresa la imagen o ingresa una incorrecta, el sistema no permitirá ejecutar el proceso ni almacenado.
Prioridad	Alta

**Tabla 15.** Requisito Funcional 5.

Id. Requerimiento	RF005
Nombre	Generar reportes.
Actor	Médico Especialista / Medico.
Descripción	La aplicación debe permitir generar reportes de los resultados de los pacientes.
Entradas	Formulario de ingreso con los campos a llenar: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Agregar imagen</li> <li>- Agregar Evaluación</li> </ul>
Salidas	- Un registro con los pacientes que tienen y no tienen retinopatía. - Un mensaje de registro generado exitosamente.
Proceso	1) Generar reporte.
Precondiciones	Haber ingresado a la aplicación: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Una imagen .JPG valida.</li> <li>- Datos en la base de datos.</li> </ul>
Post condiciones	Se obtendrá un registro con la información requerida.
Efectos Colaterales	Si el usuario no ingresa la imagen o ingresa una incorrecta, el sistema no permitirá ejecutar el proceso y generar un reporte en blanco.
Prioridad	Alta

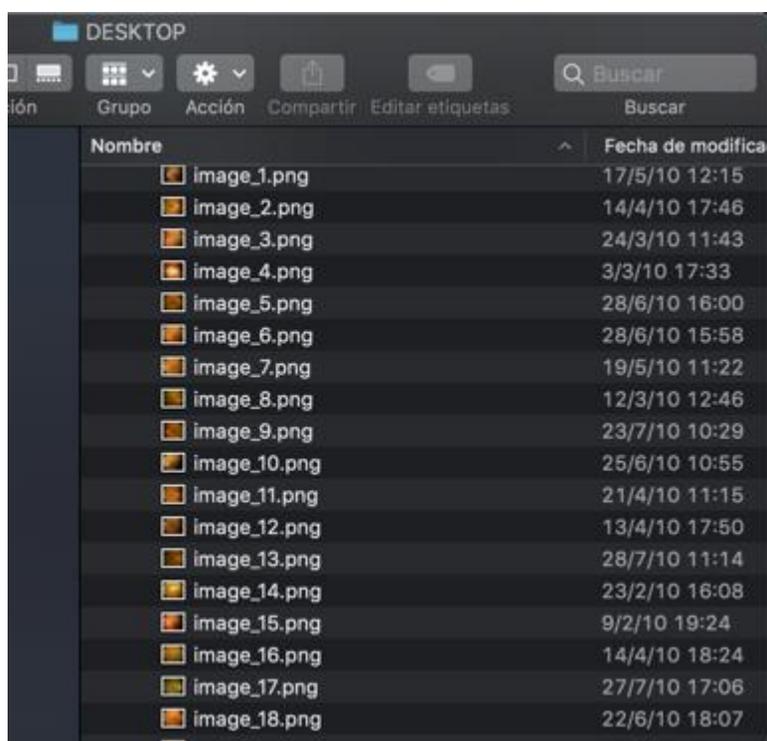
**Tabla 16.** Requisito Funcional 6.

Id. Requerimiento	RF006
Nombre	Almacenar información.
Actor	Médico Especialista / Medico.
Descripción	La aplicación debe permitir almacenar información.
Entradas	Haber generado una evaluación
Salidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desea guardar o descartar.</li> <li>- Un mensaje de registro guardado exitosamente.</li> </ul>
Proceso	1) Guardar.
Precondiciones	<p>Haber ingresado a la aplicación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Una imagen .JPG valida.</li> <li>- Conexión con en la base de datos.</li> </ul>
Post condiciones	Se obtendrá un registro almacenado en la base.
Efectos Colaterales	Si el usuario realizo una evaluación previamente, el sistema no permitirá ejecutar el proceso, tampoco almacenar en la base de datos la información obtenida de este proceso.
Prioridad	Alta

### 3.5.5 PROCESO DE ENTRENAMIENTO

#### 3.5.5.1 ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

Se Adquirió un corpus de imágenes digitales (retinografías) para el entrenamiento el mismo que fue procesado gestión entre las autoridades de la UFA-ESPE y HE-Nro.1 FF. AA para la adquisición de las retinografías. Se proporcionaron 2000 CD's aproximadamente, cada CD pertenece a un paciente. Han sido seleccionadas las retinografías a color de los ojos izquierdo y derecho para el procesamiento de la imagen. Con esto se ha creado el corpus de retinografías para realizar el entrenamiento con las redes neuronales implementadas. A continuación, en la Figura 27, se muestra el corpus de retinografías seleccionadas.

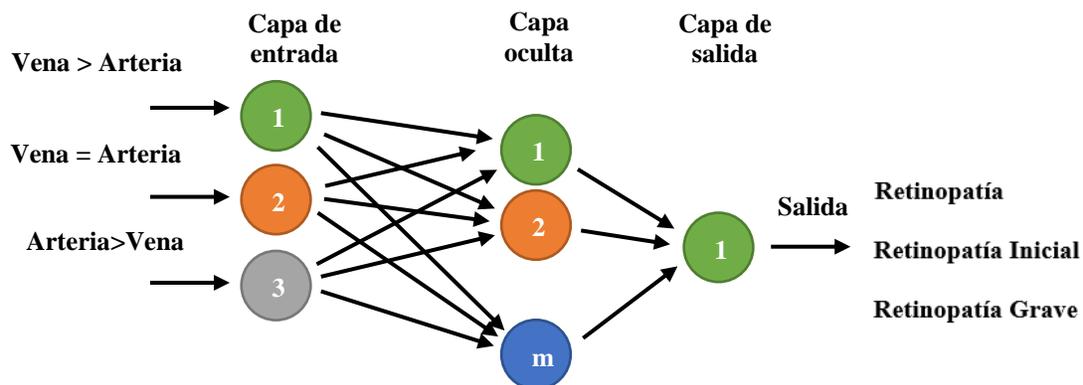


**Figura 27.** Corpus de retinografías.

### 3.5.5.2 IMPLEMENTACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

#### Perceptrón Multicapa

Se utilizó Matlab para la implementación del algoritmo. Se definieron las 6 capas para la red neuronal, tres de entrada y tres de salida tal como se muestra en Figura 28.



**Figura 28.** Red neuronal perceptrón multicapa.

Cuando se realizó el entrenamiento con este tipo de red no se lograron aprendizajes significativos entonces se decidió implementar otro tipo de red. Basado en API's que han sido liberadas por Google, se implementó una Red Neuronal Convolutacional.

#### Implementación una Red Neuronal Convolutacional

Se levantó los servicios de Tensorflow, keras, sklearn y habilitar el notebook de jupyter, como se muestra en la figura 29.



**Figura 29.** Servicios de Tensorflow.

Se declaran las librerías matemáticas y aprendizaje, como se muestra en la figura 30.

```
In [1]: import numpy as np
import os
import re
import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import classification_report

In [*]: import keras
from keras.utils import to_categorical
from keras.models import Sequential, Input, Model
from keras.layers import Dense, Dropout, Flatten
from keras.layers import Conv2D, MaxPooling2D
from keras.layers.normalization import BatchNormalization
from keras.layers.advanced_activations import LeakyReLU

Using TensorFlow backend.
```

**Figura 30.** Declaración de librerías para el entrenamiento.

Se direccionan a los directorios donde se encuentran retinografías a entrenar, como se muestra en la figura 31.

```
In [3]: dirname = os.path.join(os.getcwd(), 'retinopatia')
imgpath = dirname + os.sep

images = []
directories = []
dircount = []
prevRoot=''
cant=0
filenames = []
print("leyendo imagenes de ",imgpath)

for root, dirnames, filenames in os.walk(imgpath):
    for filename in filenames:
        if re.search("\.(jpg|jpeg|png|bmp|tiff)$", filename):
            cant=cant+1
            filepath = os.path.join(root, filename)
            image = plt.imread(filepath)
            images.append(image)
            b = "Leyendo..." + str(cant)
            print(b, end="\r")
            if prevRoot !=root:
                print(root, cant)
                prevRoot=root
                directories.append(root)
                dircount.append(cant)
                cant=0
            dircount.append(cant)

dircount = dircount[1:]
dircount[0]=dircount[0]+1
print('Directorios leidos:',len(directories))
print('Imágenes en cada directorio', dircount)
print('suma Total de imagenes en subdirs:',sum(dircount))

leyendo imagenes de C:\Users\raul\Anaconda3\retinopatia\
C:\Users\raul\Anaconda3\retinopatia\noretinopatia 1
C:\Users\raul\Anaconda3\retinopatia\retinopatiagrave 91
C:\Users\raul\Anaconda3\retinopatia\retinopatiainicial 91
Directorios leidos: 3
Imágenes en cada directorio [92, 91, 90]
suma Total de imagenes en subdirs: 273
```

**Figura 31.** Direccionamiento de corpus de imágenes.

Se crean los grupos de acuerdo a los criterios de detección: no retinopatía, retinopatía inicial, retinopatía, como se muestra en la figura 32.

```
In [ ]: retinopatia=[]
        indice=0
        for directorio in directories:
            name = directorio.split(os.sep)
            print(indice , name[len(name)-1])
            deportes.append(name[len(name)-1])
            indice=indice+1
```

**Figura 32.** Grupos para el entrenamiento.

Se asignan las etiquetas correspondientes a cada imagen para su entrenamiento, como se muestra en la figura 33.

```
In [5]: labels=[]
        indice=0
        for cantidad in dircount:
            for i in range(cantidad):
                labels.append(indice)
                indice=indice+1
        print("Cantidad etiquetas creadas: ",len(labels))
Cantidad etiquetas creadas: 273
```

**Figura 33.** Etiquetas para el entrenamiento.

Se crean clases por cada criterio de detección, como se muestra en la figura 34.

```
In [6]: y = np.array(labels)
        X = np.array(images, dtype=np.uint32) #convierto de lista a numpy

        # Find the unique numbers from the train labels
        classes = np.unique(y)
        nClasses = len(classes)
        print('Total number of outputs : ', nClasses)
        print('Output classes : ', classes)

Total number of outputs : 3
Output classes : [0 1 2]
```

**Figura 34.** Clases del para el entrenamiento.

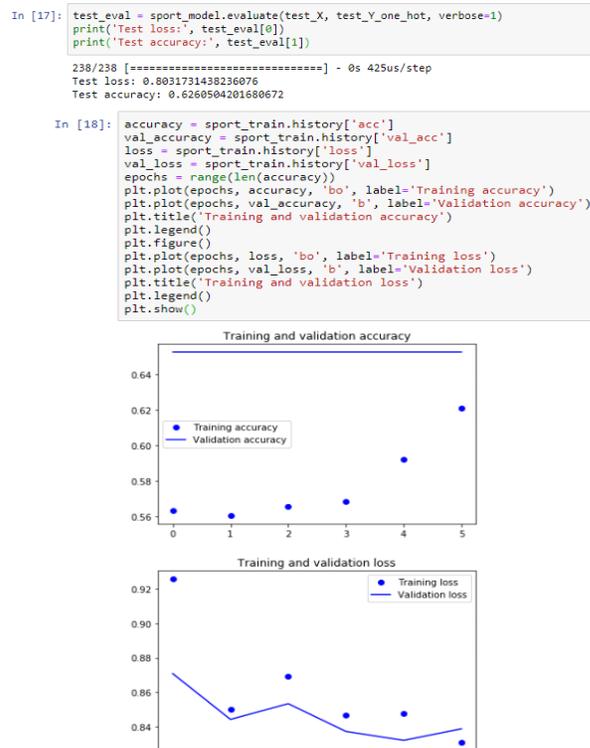
Se crean los grupos de entrenamiento y testeo 80/20, como se muestra en la figura 35.

```
In [7]: train_X, test_X, train_Y, test_Y = train_test_split(X, y, test_size=0.2)
print('Training data shape : ', train_X.shape, train_Y.shape)
print('Testing data shape : ', test_X.shape, test_Y.shape)

Training data shape : (218, 21, 28, 3) (218,)
Testing data shape : (55, 21, 28, 3) (55,)
```

**Figura 35.** Grupos de testeo y entrenamiento.

Una vez que se encuentra listo el corpus de las imágenes para el entrenamiento se procedió a realizar el entrenamiento y testeo. En la Figura 36 se muestra el porcentaje de aprendizaje que dio como resultado el 62.61%, debido a que no se ha realizado el entrenamiento con el corpus completo. Se usaron 594 imágenes, 198 imágenes por cada criterio de detección.



**Figura 36.** Resultados Obtenidos.

## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1 PRUEBAS Y VALIDACIONES

Para realizar la validación de la aplicación se realizó un esquema navegacional que se detalla a continuación:



Figura 37. Interfaz Principal

The screenshot shows the patient registration form. At the top, there is a dark blue header with the text "DETECCIÓN PREVENTIVA DE RETINOPATÍA DIABÉTICA HE-NRO.1 FF.AA." and a green "Salir" button. Below the header, there is a vertical sidebar on the left with three icons: "PACIENTE" (a person with a blood pressure cuff), "MÉDICO" (a doctor), and "EVALUACIÓN" (a clipboard with a heart rate line). The main content area contains a form with the following fields: "Cédula:" (ej. 1723421077), "Nombres:" (ej. Fernando Patricio), "Apellidos:" (ej. Hernandez Carrasco), "Correo:" (ej. fphernandez@espe.e), "Dirección:" (empty), "Telefono:" (ej. 0992312345/02234E), "Género:" (Hombre), and "Fecha de Nacimiento:" (calendar icon). A blue "Guardar" button is located at the bottom of the form. To the right of the form, there is a photograph of a doctor and a nurse talking to a patient.

Figura 38. Ingreso de Paciente

- Ingreso de Evaluación

**DETECCIÓN PREVENTIVA DE RETINOPATÍA DIABÉTICA HE-NRO.1 FF.AA.** Salir

**PACIENTE** **FICHA MÉDICA** **RETINOGRAFÍA** **EVALUACIÓN RETINOGRÁFICA**

**PACIENTE**

Paciente:  Uso de Insulina:

Presion Arterial Distólica(PAD):  Glucemia Basal(GB):

Presion Arterial Sistólica(PAS):  Glucemia Post-Prandial(GP):

Lipoproteína de Alta Densidad(HDL):  Talla:

Lipoproteína de Baja Densidad(LDL):  Peso:

Triglicéridos(TGL):  Guardar

Tipo de Diabetes:

**Figura 39.** Ingreso de Ficha Medica

**DETECCIÓN PREVENTIVA DE RETINOPATÍA DIABÉTICA HE-NRO.1 FF.AA.** Salir

**PACIENTE** **FICHA MEDICA** **RETINOGRAFIA** **EVALUACION RETINOGRAFICA**

**PACIENTE**

Imagen:

Detalle:

Guardar



**Figura 40.** Ingreso Retinografías

**DETECCIÓN PREVENTIVA DE RETINOPATÍA DIABÉTICA HE-NRO.1 FF.AA.** [Salir](#)

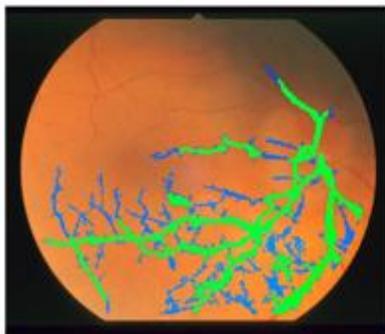
<b>PACIENTE</b> 	<b>Hospital</b> Hospital de Especialidades de las Fuerzas Armadas Nro.1
<b>MÉDICO</b> 	<b>Área</b> Oftalmología
<b>EVALUACIÓN</b> 	<b>Datos de Confirmación</b> Paciente: Fernando Patricio Hernandez Carrasco, Ficha Médica: 1 Medico: Luis Geovany Paguay Carrasco <a href="#">Ejecutar Análisis</a>

[Ejecutar](#)

**Figura 41.** Datos de Confirmación.

### Resultados del Análisis

Imagen Procesada



Paciente: Fernando Patricio Hernandez Carrasco

Ficha Médica: 1

Recomendación:

Primera Alerta de Retinopatía

Nota:

Durante el estudio se ha evidenciado que existe una relacion poco proporcionada (Vena/Arteria)

(Retinopatía Diabetica No Proliferada Etapa Inicial)

Doctor: Luis Geovany Paguay Carrasco

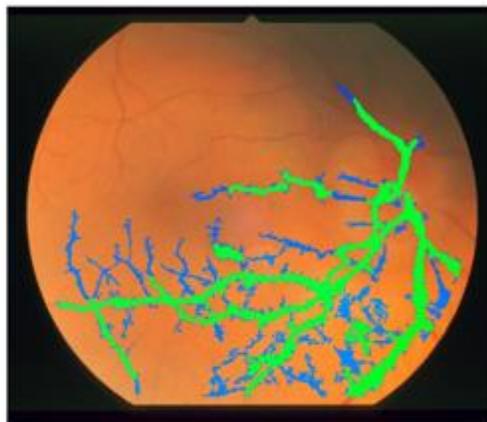
[DESCARGAR PDF](#)

**Figura 42.** Resultados Obtenidos del Análisis.



### Resultado del Análisis

#### IMAGEN PROCESADA



#### Datos Evaluación

**PACIENTE:** Fernando Patricio Hernandez Carrasco

**Ficha Medica:** 1

**MÉDICO:** Luis Geovany Paguay Carrasco

#### Detalle Evaluación

**Primera Alerta de Retinopatía**

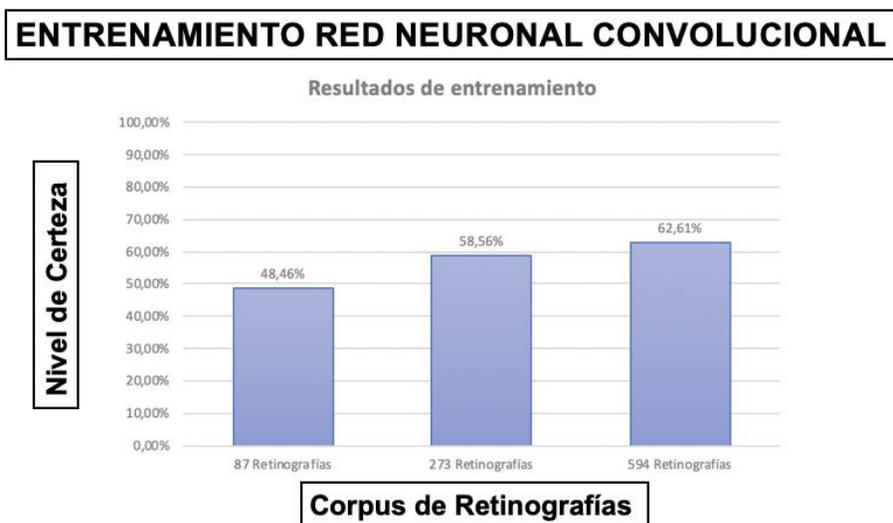
**Figura 43.** Reporte de Análisis.

## 4.2 RESULTADOS

- Se obtuvieron 2000 retinografías, de las cuales fueron pre-procesadas 594, 198 de cada criterio de detección.
- Se implementó el algoritmo de Perceptrón multicapa, no se lograron resultados significativos.
- Para el entrenamiento de las redes neuronales se necesitó tiempo y recursos computacionales.

- En el entrenamiento de redes neuronales convolucionales se pudo observar que a mayor numero de imágenes mejor el entrenamiento, pero hasta un determinado punto ya que la sobrecarga de imágenes no garantizara el nivel de certeza del algoritmo.
- Si en el entrenamiento se llega a un punto de sobre-entrenamiento se recomienda aumentar la calidad de las imágenes y los criterios de selección.

Para realizar la validación del entrenamiento de la Red Neuronal Convolucional se realizaron tres pruebas cada una con un numero diferente de retinografías (29, 91, 198), respectivamente donde se logro un nivel de certeza del 62,61 como se puede ver en la figura 44 que se muestra a continuación:



**Figura 44.** Entrenamiento de la Red Neuronal Convolucional

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

Se generó un corpus de imágenes de la retina normalizada y segmentada llegando a obtener 594 imágenes de relevancia, en el mismo se encuentran 3 grupos de acuerdo con el criterio de detección con 198 imágenes cada uno de ellos para el presente trabajo realizado.

Se definieron los parámetros relevantes para el presente trabajo con la ayuda del especialista, los mismos que fueron implementados en el aprendizaje de maquina tanto perceptrón multicapa, como las redes neuronales convencionales, mismos que generan el soporte de la aplicación realizada.

Se desarrolló una aplicación que incluye los criterios del especialista en Retinopatía del HE-Nro.1 FF. AA, dichos criterios consistieron en procesar y detectar las relaciones que existen entre las venas y arterias respecto a su tamaño (venas>arterias: venas=arterias: venas<arterias). Este fue el insumo para realizar diagnósticos preventivos de Retinopatía Diabética no proliferativa.

Esta herramienta sería de utilidad y servirá de soporte para los profesionales médicos que no tengan la especialidad en Retinopatía y/o Oftalmología, con el fin de ellos puedan remitir a los pacientes a su especialista y así prevenir la ceguera.

El procesamiento de las retinografías requiere de tiempo, pues se aplican varias técnicas de tratamiento de imágenes y selección. Esta tarea es de mucha importancia pues de eso depende que se realice un corpus adecuado para el entrenamiento.

Se realizaron pruebas y validaciones y el margen de confianza fue del 62,61%, es decir, que logra reconocer las características claves de cuando un paciente tiene o no una retinopatía diabética,

pero como no han sido incluidas todas las imágenes en el proceso de aprendizaje automático no se han obtenido resultados significativos hasta el momento.

Se comprendió el funcionamiento de los algoritmos de redes neuronales artificiales, pero los niveles de confianza no fueron buenos en el caso del perceptrón multicapa, en cambio la Red Neuronal Convolutiva demostró resultados significativamente mejores para lograr el objetivo del presente trabajo.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Para el aprendizaje y entrenamiento de una red neuronal se requiere una cantidad significativa de imágenes procesadas y seleccionadas basadas en las características definidas por el especialista en el dominio del tema que se desea tratar, por lo que se recomienda disponer de al menos 1000 imágenes por cada característica y así mejorar los resultados y el porcentaje de certeza.

Para futuras tesis y/o trabajos donde se implementen Redes Neuronales Artificiales y se realice el aprendizaje con imágenes se recomienda aplicar algoritmos de Redes Neuronales Convolutivas, indudablemente aumentar el porcentaje de confiabilidad.

Para realizar un trabajo que involucre inteligencia artificial se debe entender la estructura matemática de cada algoritmo que se desee implementar, mas no las herramientas que realizan este proceso automáticamente, por lo tanto, se recomienda que los silabos de las asignaturas incluyan estas temáticas.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Extracción del conocimiento a partir de la reunión formal con el especialista clínico.



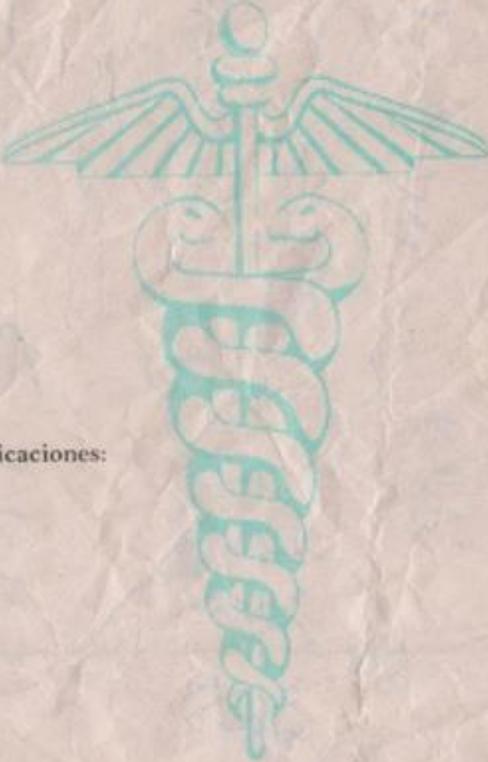
HOSPITAL DE ESPECIALIDADES DE FF.AA. N° 1

Servicio:.....N° H.C.U.:.....

Nombre:.....

Quito a.....de.....del.....

Rp.



Indicaciones:

Queceras del Medio 521 y Av. Gran Colombia Telf. PBX. 3968 300



HOSPITAL DE ESPECIALIDADES DE FF.AA. N° 1

Servicio:.....N° H.C.U.:.....

Nombre:.....

Quito a.....de.....del.....

Rp.

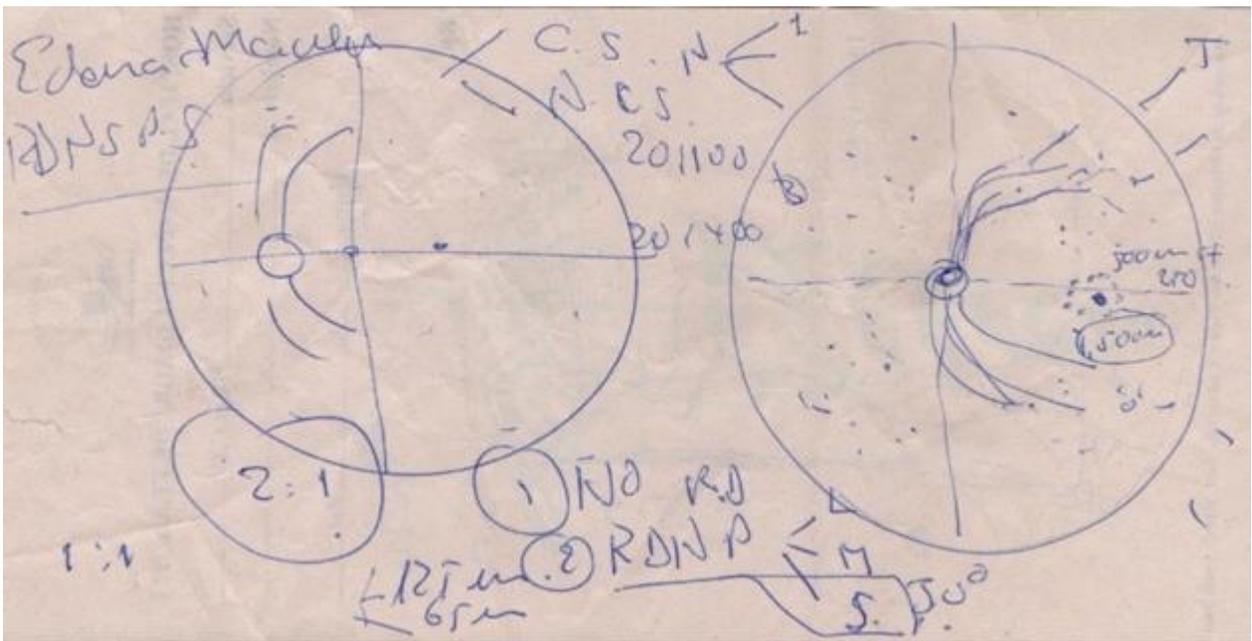
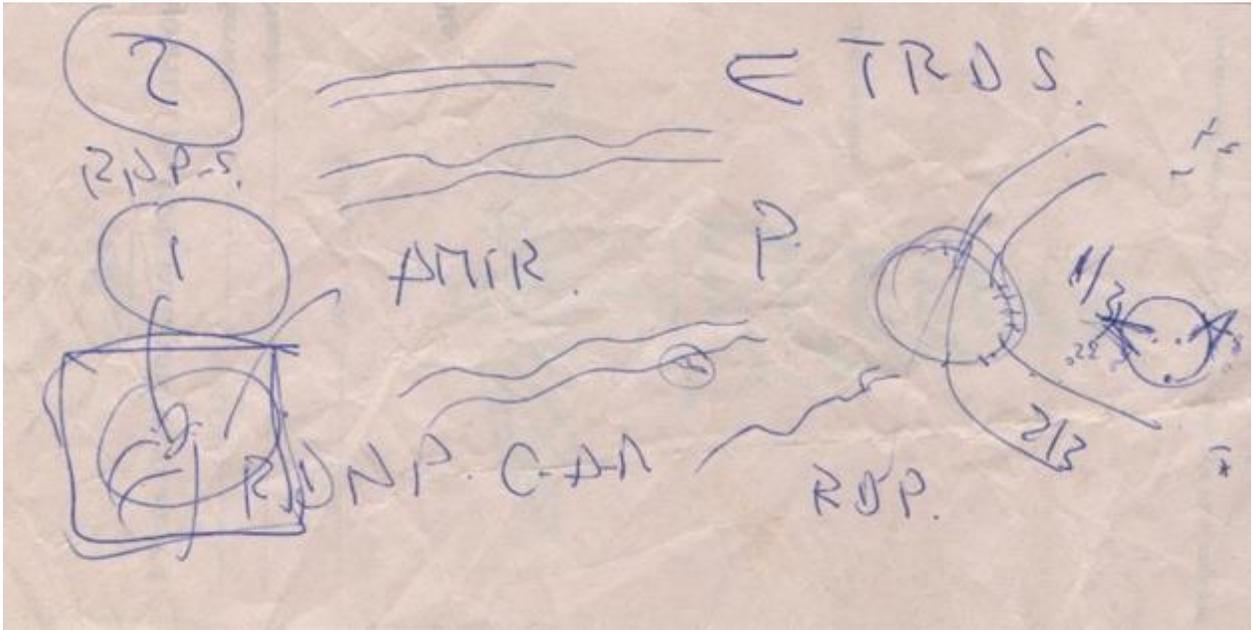
5.000 Faltan 2 Ms.

1000 Rp

0,01

40,4

Indicaciones:



## BIBLIOGRAFÍA

- Alberti, K. G. M. M., & Zimmet, P. Z. (1998). Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications. Part 1: diagnosis and classification of diabetes mellitus. Provisional report of a WHO Consultation. *Diabetic Medicine*, *15*(7), 539–553.  
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9136\(199807\)15:7<539::AID-DIA668>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9136(199807)15:7<539::AID-DIA668>3.0.CO;2-S)
- Aliseda, D., & Berástegui, L. (2008). Retinopatía diabética. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, *31*. <https://doi.org/10.4321/S1137-66272008000600003>
- Alpaydin, E. (2004). *Introduction to machine learning*. MIT Press. Retrieved from  
[https://books.google.com.ec/books/about/Introduction\\_to\\_Machine\\_Learning.html?id=1k0\\_-WroiqEC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Introduction_to_Machine_Learning.html?id=1k0_-WroiqEC&redir_esc=y)
- Amin, J., Sharif, M., & Yasmin, M. (2016). A Review on Recent Developments for Detection of Diabetic Retinopathy. *Scientifica*, *2016*, 6838976. <https://doi.org/10.1155/2016/6838976>
- Andrews, H., Tescher, A., & Kruger, R. (1972). Image processing by digital computer. *IEEE Spectrum*, *9*(7), 20–32. <https://doi.org/10.1109/MSPEC.1972.5218964>
- Badaro, S., Ibañez, L. J., & Agüero, M. (2013). SISTEMAS EXPERTOS: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones. *Ciencia y Tecnología*, *1*(13).  
<https://doi.org/10.18682/cyt.v1i13.122>
- Balibrea, F., Guirao, J., & Grácio, C. (2015). The Diversity of Dynamical Systems. *Appl. Math. Inf. Sci*, *9*(5), 2217–2219. <https://doi.org/10.12785/amis/090501>
- Barria, F. (2018). Diabetes Mellitus: Una Epidemia Mundial | VISIÓN 2020. Retrieved January 11, 2019, from <https://vision2020la.wordpress.com/2012/09/16/diabetes-mellitus-una-epidemia-mundial/>

- Besharse, J. C., & Bok, D. (2011). *The retina and its disorders*. Academic Press.
- Bootstrap. (2018). Bootstrap · The most popular HTML, CSS, and JS library in the world.  
Retrieved January 11, 2019, from <https://getbootstrap.com/>
- Bossert, T. J., & Leisewitz, T. (2016). Innovation and Change in the Chilean Health System. *New England Journal of Medicine*, 374(1), 1–5. <https://doi.org/10.1056/NEJMp1514202>
- Boyd, K., & Vemulakonda, A. (2018). ¿Qué es la retinopatía diabética? - American Academy of Ophthalmology. Retrieved January 11, 2019, from <https://www.aao.org/salud-ocular/enfermedades/retinopatia-diabetica>
- Browning, D. J. (Ed.). (2010). *Diabetic Retinopathy*. New York, NY: Springer New York.  
<https://doi.org/10.1007/978-0-387-85900-2>
- Cano, J., Infante, N., González, L., Fernández, S., & Herrera, D. (2015). *ARTÍCULO DE REVISIÓN Desprendimiento de retina: una revisión bibliográfica necesaria*  
*Retinal detachment: a necessary literature survey. MEDISAN* (Vol. 19). Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/san/v19n1/san12191.pdf>
- Chen, K., & Wang, M. (2014). Image stitching algorithm research based on OpenCV. In *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference* (pp. 7292–7297). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/ChiCC.2014.6896208>
- Cheng, T., Wen, P., & Li, Y. (2016). Research Status of Artificial Neural Network and Its Application Assumption in Aviation. In *2016 12th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS)* (pp. 407–410). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/CIS.2016.0099>
- Colvard, A. (2011). Diabetic Retinopathy. Diabetes and your eyes. Retrieved January 13, 2019, from <http://www.improveyourvision.com/>

- Delgado, D., Rainer, M., Hernández, L., Orozco, R., & Lorenzo, J. (2016). Algoritmos de aprendizaje automático para la clasificación de neuronas piramidales afectadas por el envejecimiento. *Revista Cubana de Informática Médica*, 8, 559–571. Retrieved from [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1684-18592016000300008&fbclid=IwAR1dy7mVdDOBYPnq6Qb5VC1U8Iprls63MSasVsTKBb4orjBQgZbV5WZUssQ](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18592016000300008&fbclid=IwAR1dy7mVdDOBYPnq6Qb5VC1U8Iprls63MSasVsTKBb4orjBQgZbV5WZUssQ)
- Django Software Foundation. (2018). The Web framework for perfectionists with deadlines | Django. Retrieved January 11, 2019, from <https://www.djangoproject.com/>
- Eich, B. (2018). JavaScript.com. Retrieved January 11, 2019, from <https://www.javascript.com/>
- Feng-ying Cui, Li-jun Zou, & Bei Song. (2008). Edge feature extraction based on digital image processing techniques. In *2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics* (pp. 2320–2324). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICAL.2008.4636554>
- Flach, P. A. (2014). *Machine Learning The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data*. United Kingdom. Retrieved from <http://www.cs.put.poznan.pl/tpawlak/files/ZMIO/W02.pdf>
- Flórez, R., & Fernández, J. (2008). *Las redes neuronales artificiales : fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas* (1a. ed.). Oleiros La Coruña: Netbiblo. Retrieved from <https://www.worldcat.org/title/redes-neuronales-artificiales-fundamentos-teoricos-y-aplicaciones-practicas/oclc/433872848?fbclid=IwAR2JQnA4ySXdrhM05zEZJJI-ejU2WgsrrM6GhhrU9V6VbnQPegrpFkud24>
- Godoy, Á. (2017). Técnicas de aprendizaje de máquina utilizadas para la minería de texto. *Investigación Bibliotecológica. Archivonomía, Bibliotecología e Información*, 31(71), 103. <https://doi.org/10.22201/iibi.0187358xp.2017.71.57812>

González, A. (2017). *DIAGNÓSTICO ASISTIDO POR COMPUTADORA PARA DETECCIÓN DE RETINOPATÍA DIABÉTICA*. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12512/1/T-ESPE-053615.pdf>

González, A. J., & Dankel, D. D. (1993). *The engineering of knowledge-based systems : theory and practice*. Prentice Hall. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books/about/The\\_Engineering\\_of\\_Knowledge\\_based\\_Systems.html?id=nLJQAAAAMAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/The_Engineering_of_Knowledge_based_Systems.html?id=nLJQAAAAMAAJ&redir_esc=y)

Gonzalez, R., & Woods, R. (2008a). Color Image Processing. In *Digital image processing* (p. 954). Prentice Hall. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books/about/Digital\\_Image\\_Processing.html?id=8uGOnjRGEzoC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Digital_Image_Processing.html?id=8uGOnjRGEzoC&redir_esc=y)

Gonzalez, R., & Woods, R. (2008b). Digital Image Fundamentals. In *Digital Image Processing* (2<sup>o</sup>, p. 954). Prentice Hall. <https://doi.org/10.1002/0471224634.ch1>

Gonzalez, R., & Woods, R. (2008c). Image Enhancement in the Spatial Domain. In *Digital image processing* (p. 954). Prentice Hall. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books/about/Digital\\_Image\\_Processing.html?id=8uGOnjRGEzoC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Digital_Image_Processing.html?id=8uGOnjRGEzoC&redir_esc=y)

Gonzalez, R., & Woods, R. (2008d). Morphological Image Processing. In *Digital image processing* (p. 954). Prentice Hall. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books/about/Digital\\_Image\\_Processing.html?id=8uGOnjRGEzoC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Digital_Image_Processing.html?id=8uGOnjRGEzoC&redir_esc=y)

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (n.d.). *Deep learning*. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books/about/Deep\\_Learning.html?id=Np9SDQAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Deep_Learning.html?id=Np9SDQAAQBAJ&redir_esc=y)

\_esc=y

Guido van Rossum. (2018). Welcome to Python. Retrieved January 11, 2019, from

<https://www.python.org/>

Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., Stumpe, M., Wu, D., Narayanaswamy, A., ... Webster, D.

(2016). Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of

Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs. *JAMA*, *316*(22), 2402.

<https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216>

Iglesias, C., Garijo, M., González, J., & Velasco, J. (1998). Analysis and design of multiagent systems using MAS-CommonKADS (pp. 313–327). Springer, Berlin, Heidelberg.

<https://doi.org/10.1007/BFb0026768>

International Diabetes Federation. (2018). International Diabetes Federation. Retrieved January 11, 2019, from <https://www.idf.org/>

James, B., & Bron, A. J. (2011). *Ophthalmology : lecture notes*. Wiley-Blackwell.

Jimenez, A., Prieto, M., & Ramirez, A. (2016). Teaching Image Processing in Engineering Using Python. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías Del Aprendizaje*, *11*(3), 129–136.

<https://doi.org/10.1109/RITA.2016.2589479>

Karpathy, A. (2018). Convolutional Neural Networks for Visual Recognition. Retrieved January 29, 2019, from <http://cs231n.github.io/convolutional-networks/#architectures>

Khurana, A. K. (2008). *Comprehensive ophthalmology*. Anshan.

Kim, Y. (2014). Convolutional Neural Networks for Sentence Classification. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1408.5882>

Lam, C., Yi, D., Guo, M., & Lindsey, T. (2018). Automated Detection of Diabetic Retinopathy using Deep Learning. *AMIA Joint Summits on Translational Science Proceedings*. AMIA

- Joint Summits on Translational Science, 2017*, 147–155. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29888061>
- Lansingh, V. (2018). *Impacto de la ceguera en Latinoamérica – Costo*. Retrieved from [https://www.paho.org/per/images/stories/FtPage/2013/Costo-Ceguera\\_espaol\\_Van-Lansingh.pdf?ua=1](https://www.paho.org/per/images/stories/FtPage/2013/Costo-Ceguera_espaol_Van-Lansingh.pdf?ua=1)
- Leitman, M. W. (2016). *Manual for Eye Examination and Diagnosis*. Wiley.
- Lippmann, R. (1987). An introduction to computing with neural nets. *IEEE ASSP Magazine*, 4(2), 4–22. <https://doi.org/10.1109/MASSP.1987.1165576>
- Little, J., Moler, C., & Bangert, S. (2018). MathWorks. Retrieved January 11, 2019, from <https://la.mathworks.com/>
- Maida, E., & Pacienza, J. (2015). *Metodologías de desarrollo de software*. Universidad Católica Argentina - Santa Maria de los Buenos Aires. Retrieved from <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/metodologias-desarrollo-software.pdf>
- Martins, J. C., & Sousa, L. A. (2009). *Bioelectronic Vision* (Vol. 3). WORLD SCIENTIFIC. <https://doi.org/10.1142/6777>
- McGrory, S., Cameron, J. R., Pellegrini, E., Warren, C., Doubal, F. N., Deary, I. J., ... MacGillivray, T. J. (2017). The application of retinal fundus camera imaging in dementia: A systematic review. *Alzheimer's & Dementia: Diagnosis, Assessment & Disease Monitoring*, 6, 91–107. <https://doi.org/10.1016/j.dadm.2016.11.001>
- Mejía, J. (2005). *Apuntes de Procesamiento Digital de Imágenes* (No. (Primer borrador)). Retrieved from [http://read.pudn.com/downloads159/ebook/711796/Procesamiento\\_Digital\\_de\\_Imagenes.pdf](http://read.pudn.com/downloads159/ebook/711796/Procesamiento_Digital_de_Imagenes.pdf)
- f

- Ministerio de Salud Pública. (2018). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición – ENSANUT – Ministerio de Salud Pública. Retrieved January 11, 2019, from [https://www.salud.gob.ec/encuesta-nacional-de-salud-y-nutricion-ensanut/?fbclid=IwAR1jhwumQXONV\\_7RQEkLyv3MUAyFKpTB9SsEdx2X81p6ZjyWuZOWGqN5W8s](https://www.salud.gob.ec/encuesta-nacional-de-salud-y-nutricion-ensanut/?fbclid=IwAR1jhwumQXONV_7RQEkLyv3MUAyFKpTB9SsEdx2X81p6ZjyWuZOWGqN5W8s)
- Montés-Micó, R., Albarrán, D., Fernández, J., & Cacho, M. (2011). *Optometría : principios básicos y aplicación clínica*. Elsevier España.
- Moya, R. (2016). ¿Qué es el Machine Learning? - Jarroba. Retrieved January 13, 2019, from <https://jarroba.com/que-es-el-machine-learning/>
- MySQL AB, Sun Microsystems, & Oracle Corporation. (2018). MySQL. Retrieved January 11, 2019, from <https://www.mysql.com/>
- ONCE. (2018). ONCE - Bienvenido al portal oficial de la ONCE. Retrieved January 11, 2019, from <https://www.once.es/>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Organización Mundial de la Salud. Retrieved January 11, 2019, from <https://www.who.int/es>
- Palma, J., Paniagua, E., Martín, F., & Marín, R. (2000). Ingeniería del Conocimiento. De la Extracción al Modelado de Conocimiento. Retrieved from <http://aepia.dsic.upv.es/>
- Paz, P., Velez, P., Saenz, M., Menes, M., & Sánchez, P. (2006). DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CRECIMIENTO DE CULTIVOS USANDO LA TRANSFORMADA DE HOUGH DE LAS REFLECTIVIDADES DEL FOLLAJE. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 40, 99–108. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240110>
- Perea, J. (2018). Motilidad Ocular y Estrabismos - Fisiopatología del equilibrio óculo-motor.

- Retrieved January 11, 2019, from <http://doctorjoseperea.com/libros/fisiopatologia-del-equilibrio-oculomotor.html>
- Piloto, R. (2017). *Redes Neuronales Artificiales. Conceptos básicos y algunas aplicaciones en Energía*. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría.” Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/317601698\\_Redес\\_Neuronales\\_Artificiales\\_Conceptos\\_basicos\\_y\\_algunas\\_aplicaciones\\_en\\_Energia](https://www.researchgate.net/publication/317601698_Redес_Neuronales_Artificiales_Conceptos_basicos_y_algunas_aplicaciones_en_Energia)
- Pitas, I. (2000). *Digital image processing algorithms and applications*. Wiley.
- Plattner, H., Tschira, K., BlackRock, & Hopp, D. (2018). SAP Software Solutions | Business Applications and Technology. Retrieved January 11, 2019, from <https://www.sap.com/index.html>
- Pro Visu Foundation. (2018). Ojo y visión. Retrieved January 11, 2019, from <https://www.provisu.ch/es/dossiers-es/ojo-y-vision.html>
- Provost, F., & Kohavi, R. (1998). Guest Editors' Introduction: On Applied Research in Machine Learning. *Machine Learning*, 30(2/3), 127–132. <https://doi.org/10.1023/A:1007442505281>
- Raspberry Pi Foundation. (2018). Raspberry Pi — Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi. Retrieved January 18, 2019, from <https://www.raspberrypi.org/>
- Romero, A., & Locascio, I. . (1983). Prevención de la ceguera. Algunas características clinicoepidemiológicas de las enfermedades oculares. Retrieved from <http://iris.paho.org/xmlui/handle/123456789/17080>
- Schreiber, G., Wielinga, B., Akkermans, H., Velde, W., & Anjewierden, A. (1994). CML: The commonKADS conceptual modelling language (pp. 1–25). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-58487-0\\_1](https://doi.org/10.1007/3-540-58487-0_1)
- Shih, F. Y. (2010). *Image processing and pattern recognition : fundamentals and techniques*.

IEEE Press.

Simard, P., Steinkraus, D., & Platt, J. (2003). Best practices for convolutional neural networks applied to visual document analysis. In *Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition, 2003. Proceedings.* (Vol. 1, pp. 958–963). IEEE Comput. Soc. <https://doi.org/10.1109/ICDAR.2003.1227801>

Société Francophone du Diabète. (2018). Société Francophone du Diabète. Retrieved January 13, 2019, from <https://www.sfdiabete.org/>

Sonka, M., Hlavac, V., & Boyle, R. (2008). *Image processing, analysis, and machine vision.* Thompson Learning.

Soysal, O. M., Chen, J., & Schneider, H. (2010). An Image Processing Tool for Efficient Feature Extraction in Computer-Aided Detection Systems. In *2010 IEEE International Conference on Granular Computing* (pp. 438–442). IEEE. <https://doi.org/10.1109/GrC.2010.128>

Tapia, G., & Glaría, A. (2015, June). ARTIFICIAL NEURAL NETWORK DETECTS PHYSICAL STRESS FROM ARTERIAL PULSE WAVE, p. 7. <https://doi.org/1909-9762>

Urrea, J. P., & Ospina, E. (2004). Implementación de la transformada de hough para la detección de líneas para un sistema de visión de bajo nivel. *Scientia et Technica, 1*(24). <https://doi.org/10.22517/23447214.7285>

Vedaldi, A., & Lenc, K. (2015). MatConvNet. In *Proceedings of the 23rd ACM international conference on Multimedia - MM '15* (pp. 689–692). New York, New York, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2733373.2807412>