



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 INGENIERO EN SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**TEMA: MÉTODO ALTERNATIVO PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA
DE LOS NIVELES DE ALZHEIMER FUNDAMENTADO EN LA
IRIDIOLOGÍA CON PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES**

AUTOR: VEGA GUALLICHICO, ROBERTO JAVIER

DIRECTOR: ING. PROCEL SILVA, CARLOS TEIRON

SANGOLQUÍ

2019

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



CERTIFICADO DEL DIRECTOR

Certifico que el trabajo de titulación, “**MÉTODO ALTERNATIVO PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE LOS NIVELES DE ALZHEIMER FUNDAMENTADO EN LA IRIDILOGÍA CON PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES**” fue realizado por el señor **VEGA GUALLICHICO ROBERTO JAVIER**, 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, 08 de Julio del 2019.

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea horizontal que sirve como línea de firma.

Ing. Carlos Teiron Procel Silva

C.C.: 1705254645

DIRECTOR

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



AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **VEGA GUALLICHICO ROBERTO JAVIER**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“MÉTODO ALTERNATIVO PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE LOS NIVELES DE ALZHEIMER FUNDAMENTADO EN LA IRIDIOLOGÍA CON PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES”** 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, 08 de Julio del 2019.

Vega Guallichico Roberto Javier

C.C.: 172567206-5

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



AUTORIZACIÓN

Yo, **VEGA GUALLICHICO ROBERTO JAVIER**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**MÉTODO ALTERNATIVO PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE LOS NIVELES DE ALZHEIMER FUNDAMENTADO EN LA IRIDIOLOGÍA CON PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 08 de Julio del 2019.



Vega Guallichico Roberto Javier

CC: 172567206-5

DEDICATORIA

Este presente trabajo de titulación se lo dedico a mi mamá María Olimpia Guallichico por ser el soporte, la motivación incansable en todos los aspectos de mi vida, una luchadora ejemplar que me enseñó valores y me lleno de amor, además por ser mi voz de aliento entre éxitos y fracasos, y que estuvo en todo momento para mí le encomiendo una oración a Dios de eterna gratitud a mi hermosa mamá.

A mi papa Leonidas Hermógenes Vega por ser mi ejemplo de superación, honestidad, sencillez y sobre todo responsabilidad, que con sus consejos me inculco la superación y la motivación de hacer la diferencia por, sobre todo, con ese amor fuerte de padre pero que me lleno de un sinnúmero de valores que serán los pilares de mi vida profesional.

A mi hermana Diana Carolina Vega por sus palabras de aliento constante y ser mi confidente, mi apoyo incondicional, en si el orgullo para seguir adelante y nunca dejar de confiar en mí.

Ustedes son mi motivación para seguir adelante, luchando ante todas las adversidades y dar siempre lo mejor de mí, espero que se sientan muy orgullosos de mí como yo estoy cada día de ustedes.

Roberto Javier Vega Guallichico

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios que me guio en todos los pasos y darme las fuerzas para alcanzar este objetivo.

A mis amados padres Leonidas Vega y Olimpia Guallichico por todo el sacrificio que han hecho durante su vida, por su paciencia para aconsejarme, preocuparse y corregirme para hacer de mí sobre todo una persona de bien, se han convertido en mi soporte en todas las etapas de mi vida y que gracias a su amor se ha logrado la realización de este proyecto.

A mi gran amigo Fernando Hernández, por estar presente en los momentos más difíciles, y sobre todo por su amistad y ayuda desinteresada, que me apoyo en muchas etapas de mi vida académica.

A mi querida hermana Diana Vega, por estar pendiente de mí en cada etapa de mi vida y por sus consejos que me ayudaron a continuar y no desistir.

A mi querido primo Anthony Suntaxi, por ser un hermano más y apoyarme en los sombríos momentos de mi vida para seguir y cumplir con mis metas.

Al Ingeniero Carlos Procel por el compromiso y preocupación como un gran profesional, ya que con el aporte de sus conocimientos me permitió culminar el presente este proyecto.

Al Ingeniero Mauricio Campaña por ser un excelente profesional que me guio en el desarrollo de mi formación, aconsejándome y preocupándose por entregar siempre un valor agregado al conocimiento impartido que son los valores como persona, que lo reconozco mucho.

Al Ingeniero Freddy Tapia por ser más que un docente un gran amigo que se involucró en el cumplimiento de los objetivos académicos.

¡Gracias!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	
CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Alcance.....	5
1.6 Hipótesis	8
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO	9

2.1 Metodología	9
2.2 Fundamentos teóricos.....	11
2.2.1 Fundamentación científica de la variable independiente	13
2.2.1.1 Inteligencia artificial.....	13
2.2.1.2 Aprendizaje automático.....	14
2.2.1.3 Procesamiento digital de imágenes	16
2.2.2 Fundamentación científica de la variable dependiente.....	17
2.2.2.1 Enfermedades neuronales.....	17
2.2.2.2 Iridiología	19
2.2.2.3 Grados de alzheimer	20
CAPÍTULO III	23
DESARROLLO	23
3.1 Identificación.....	24
3.2 Conceptualización	30
3.3 Formalización.....	34
3.4 Implementación.....	35
3.5 Validación	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1 Conclusiones	74
5.2 Recomendaciones.....	75
ANEXOS	76
Anexo 1	76
BIBLIOGRAFÍA.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Preguntas de investigación	6
Tabla 2. Metodologías para el desarrollo de un sistema experto	9
Tabla 3. Criterios de soporte médico para establecer niveles de Alzheimer	21
Tabla 4. Algoritmos para la detección de bordes.....	25
Tabla 5. Api para procesamiento de imágenes	26
Tabla 6. Ventajas de la aplicación WEKA	28
Tabla 7. Comparativa entre métodos de interpolación	29
Tabla 8. Hardware de desarrollo	29
Tabla 9. Aproximación al área del cerebro (iris)	34
Tabla 10. Aproximación al área del cerebro (cerebro)	34
Tabla 11. Características extraídas	35
Tabla 12. Características evaluadas	36
Tabla 13. Categorización de la patología	36
Tabla 14. Instancias de verdad y falsedad de la matriz de confusión	37
Tabla 15. Matriz de confusión del criterio I.....	38
Tabla 16. Matriz de confusión del criterio II	38
Tabla 17. Matriz de confusión del criterio III	38
Tabla 18. Matriz de confusión del criterio IV	39
Tabla 19. Valores de análisis para la curva ROC	40
Tabla 20. Eficiencia de los clasificadores	40
Tabla 21. Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 40 pupila y 110 cerebro)	42
Tabla 22. Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 30 pupila y 100 cerebro)	43
Tabla 23. Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 20 pupila y 90 cerebro)	44
Tabla 24. Valores referenciales de comparación entre funciones del escenario 1	48
Tabla 25. Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 40 pupila y 110 cerebro)	48
Tabla 26. Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 30 pupila y 100 cerebro)	49
Tabla 27. Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 20 pupila y 90 cerebro)	50
Tabla 28. Valores referenciales de comparación entre funciones del escenario 2	54

Tabla 29. <i>Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 40 pupila y 110 cerebro)</i>	55
Tabla 30. <i>Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 30 pupila y 100 cerebro)</i>	56
Tabla 31. <i>Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 20 pupila y 90 cerebro)</i>	57
Tabla 32. <i>Valores referenciales de comparación entre funciones del escenario 3</i>	61
Tabla 33. <i>Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 40 pupila y 110 cerebro)</i>	61
Tabla 34. <i>Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 30 pupila y 100 cerebro)</i>	62
Tabla 35. <i>Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 20 pupila y 90 cerebro)</i>	63
Tabla 36. <i>Valores referenciales de comparación entre funciones del escenario 4</i>	67
Tabla 37. <i>Valor mínimo de error al área del cerebro</i>	68

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Modelo de ciclo de vida propuesto por Buchanan.....	10
<i>Figura 2.</i> Red de categorías de las variables de categorización	13
<i>Figura 3.</i> Tipos de aprendizaje automático.	15
<i>Figura 4.</i> Chuleta de algoritmos para la selección de algoritmo.	15
<i>Figura 5.</i> Plantilla de Iridiología.	20
<i>Figura 6.</i> Plantilla de Iridiología del ojo.	31
<i>Figura 7.</i> Etapas para la detección y diagnóstico de los niveles de Alzheimer.....	32
<i>Figura 8.</i> Muestra de la segmentación de la imagen.	33
<i>Figura 9.</i> Sector correspondiente al área del cerebro.	33
<i>Figura 10.</i> Imagen normalizada y sus características.....	34
<i>Figura 11.</i> Curva ROC para la matriz de confusión.	39
<i>Figura 12.</i> Árbol de decisión.....	41
<i>Figura 13.</i> Modelado de la función matemática (40 pixeles pupila y 110 pixeles cerebro).	42
<i>Figura 14.</i> Modelado de la función matemática (30 pixeles pupila y 100 pixeles cerebro).	43
<i>Figura 15.</i> Modelado de la función matemática (20 pixeles pupila y 90 pixeles cerebro).	44
<i>Figura 16.</i> Comparación modelo A1 en rojo; con modelo A2 en azul.	45
<i>Figura 17.</i> Valor de error entre modelo A1 y modelo A2.	45
<i>Figura 18.</i> Comparación modelo A1 en rojo; con modelo A3 en azul.	46
<i>Figura 19.</i> Valor de error entre modelo A1 y modelo A3.	46
<i>Figura 20.</i> Comparación modelo A2 en rojo; con modelo A3 en azul.	47
<i>Figura 21.</i> Valor de error entre modelo A2 y modelo A3.	47
<i>Figura 22.</i> Modelado de la función matemática (40 pixeles pupila y 110 pixeles cerebro).	49
<i>Figura 23.</i> Modelado de la función matemática (30 pixeles pupila y 100 pixeles cerebro).	50
<i>Figura 24.</i> Modelado de la función matemática (20 pixeles pupila y 90 pixeles cerebro).	51
<i>Figura 25.</i> Comparación modelo B1 en rojo; con modelo B2 en azul.	51
<i>Figura 26.</i> Valor de error entre modelo B1 y modelo B2.	52
<i>Figura 27.</i> Comparación modelo B1 en rojo; con modelo B3 en azul.	52
<i>Figura 28.</i> Valor de error entre modelo B1 y modelo B3.	53

Figura 29. Comparación modelo B2 en rojo; con modelo B3 en azul.	53
Figura 30. Valor de error entre modelo B2 y modelo B3.	54
Figura 31. Modelado de la función matemática (40 pixeles pupila y 110 pixeles cerebro).	55
Figura 32. Modelado de la función matemática (30 pixeles pupila y 100 pixeles cerebro).	56
Figura 33. Modelado de la función matemática (20 pixeles pupila y 90 pixeles cerebro).	57
Figura 34. Comparación modelo C1 en rojo; con modelo C2 en azul.	58
Figura 35. Valor de error entre modelo C1 y modelo C2.	58
Figura 36. Comparación modelo C1 en rojo; con modelo C3 en azul.	59
Figura 37. Valor de error entre modelo C1 y modelo C3.	59
Figura 38. Comparación modelo C2 en rojo; con modelo C3 en azul.	60
Figura 39. Valor de error entre modelo C2 y modelo C3.	60
Figura 40. Modelado de la función matemática (40 pixeles pupila y 110 pixeles cerebro).	62
Figura 41. Modelado de la función matemática (30 pixeles pupila y 100 pixeles cerebro).	63
Figura 42. Modelado de la función matemática (20 pixeles pupila y 90 pixeles cerebro).	64
Figura 43. Comparación modelo D1 en rojo; con modelo D2 en azul.	64
Figura 44. Valor de error entre modelo D1 y modelo D2.	65
Figura 45. Comparación modelo D1 en rojo; con modelo D3 en azul.	65
Figura 46. Valor de error entre modelo D1 y modelo D3.	66
Figura 47. Comparación modelo D2 en rojo; con modelo D3 en azul.	66
Figura 48. Valor de error entre modelo D2 y modelo D3.	67
Figura 49. Interfaz de ingreso a la aplicación.	68
Figura 50. Interfaz principal de la aplicación.	69
Figura 51. Gestión de citas médicas.	69
Figura 52. Gestión de médicos.	70
Figura 53. Gestión de pacientes.	70
Figura 54. Gestión de consultorios.	71
Figura 55. Gestión de especialidades.	71
Figura 56. Gestión de usuarios.	72
Figura 57. Reporte (parte A).	72
Figura 58. Reporte (parte B).	73

Figura 59. Modelo de encuesta realizada para obtención de los criterios del Alzheimer.76

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Modelo de mezclas Gaussianas.....	16
Ecuación 2. Modelo de clústeres k-Means.....	17
Ecuación 3. Modelo de agrupamiento jerárquico.....	17
Ecuación 4. Calculo del valor de precisión.....	37
Ecuación 5. Calculo del valor de sensibilidad.....	37
Ecuación 6. Calculo del valor de especificidad.....	38

RESUMEN

El Alzheimer esta categorizado como uno de los tipos de demencia prioritarios para la salud pública del Ecuador y el mundo, es una de las causas principales de discapacidad y dependencia familiar, debido al deterioro progresivo de las capacidades intelectuales, provocado por una serie de factores genéticos, ambientales, factores de salud (lesiones en el cerebro, enfermedades degenerativas, etc.) o incluso hasta el mismo estilo de vida. Sin embargo, esta patología podría ser detectada en etapas tempranas mediante la aplicación de técnicas de inteligencia artificial, para la implementación de prototipos de sistemas expertos. El presente trabajo de investigación aborda una revisión sistemática de literatura contrastando trabajos relacionados, que sirvan de soporte para poner en evidencia que la extracción de características de una imagen del iris permite verificar la evolución de una patología, a tal punto de generar un patrón de referencia como resultado del estudio. Este proyecto se orienta en el desarrollo de un prototipo de predicción de niveles de Alzheimer, con el fin de brindar un aporte clínico a los especialistas como el Neurólogo, Psiquiatra o Psicólogo quienes abordan el tema en cuestión. Por otra parte, toda la información correspondiente a la base de datos de imágenes del iris fue obtenida en la fundación “CASA AURORA DEL PERPETUO SOCORRO”, estas imágenes permitieron obtener los resultados que se presentan en el proyecto. Finalmente, la información es analizada mediante el uso de algoritmos de entrenamiento no supervisado y procesamiento de imágenes.

Palabras clave:

- **IRIDOLOGÍA**
- **ALZHEIMER**
- **APRENDIZAJE NO SUPERVISADO**
- **PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES**
- **SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTO**

ABSTRACT

Alzheimer's is categorized as one of the priority types of dementia for public health of Ecuador and the world, it is one of the main causes of disability and family dependence, due to the progressive deterioration of intellectual abilities, caused by a series of genetic factors, environmental, health factors (injuries to the brain, degenerative diseases, etc.) or even to the same lifestyle. However, this pathology could be detected in early stages through the application of artificial intelligence techniques, for the implementation of prototypes of expert systems. This research work addresses a systematic review of literature contrasting related works, which serve as support to show that the extraction of characteristics of an iris image allows to verify the evolution of a pathology, to the point of generating a reference pattern as a result of the study. This project focuses on the development of a prototype prediction of Alzheimer's levels, in order to provide a clinical contribution to specialists such as the Neurologist, Psychiatrist or Psychologist who address the issue in question. On the other hand, all the information corresponding to the database of images of the iris was obtained in the foundation "CASA AURORA DEL PERPETUO SOCORRO", these images allowed obtaining the results that are presented in the project. Finally, the information is analyzed through the use of unsupervised training algorithms and image processing.

Keywords:

- **IRIDOLOGY**
- **ALZHEIMER**
- **NON-SUPERVISED LEARNING**
- **DIGITAL PROCESSING OF IMAGES**
- **SYSTEMS BASED ON KNOWLEDGE**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se encuentran detallados los antecedentes, así como el problema y la importancia que tiene abordar la detección temprana de los niveles de Alzheimer fundamentado en la iridiología con procesamiento digital de imágenes para su posterior análisis, así como los objetivos que permitirán cumplir el alcance establecido, y finalmente demostrar el cumplimiento de la hipótesis propuesta. La realización del trabajo fue posible gracias al apoyo y compromiso de la fundación “CASA AURORA DEL PERPETUO SOCORRO”, el docente tutor de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, el estudiante Tesista y un médico especialista en Neurología.

1.1 ANTECEDENTES

Iridiología es la rama de la ciencia médica que estudia el iris de los ojos y los rasgos clínicos asociados con ella (Salud180, 2017). El iris de un ojo está conectado a un gran número de filamentos nerviosos; las fibras musculares y los vasos sanguíneos en las diferentes áreas del iris pueden reproducir las condiciones cambiantes en los órganos correspondientes (Naturísima, 2017).

El iris de un ser humano no sólo es importante para la biometría; también es relevante para la predicción y el diagnóstico de la salud del ser humano, siendo capaz de detectar varios trastornos más comunes que afectan a la población mundial, como diabetes, colesterol,

hipertensión y hasta enfermedades neurológicas, como esclerosis múltiple y Alzheimer (Pan American Health Organization (PAHO), 2019).

Es así que la misma Organización Mundial de la Salud (OMS) ha recomendado un diagnóstico temprano para posibilitar un tratamiento precoz y adecuado, lo que permitirá mantener la salud física, cognición, actividad y bienestar del paciente, según la Organización Mundial de la Salud, el Alzheimer es la forma más común de demencia, afectando a 36,5 millones de personas en el mundo (Pan American Health Organization (PAHO), 2019).

En Ecuador según la fundación “Trascender con Amor, Servicio y Excelencia (TASE)” habría unas 59 mil personas con Alzheimer y otras demencias (TASE, 2011). Por la que algunos profesionales de la salud recomiendan que las personas deben realizarse por lo menos una vez al año un “examen del fondo del ojo”, una técnica diagnóstica que consiste en observar y evaluar el globo ocular, que incluye retina, disco óptico, coroides y vasos sanguíneos (Acosta, 2015).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los trastornos más comunes que afectan a la población mundial hoy en día es la demencia que presenta una naturaleza progresiva deteriorando la función cognitiva y, afectando la memoria, comprensión, capacidad de aprendizaje y juicio para tomar decisiones; siendo el Alzheimer el principal tipo de demencia abarcando un total de 60% al 70% de casos (Pan American Health Organization (PAHO), 2019).

Las enfermedades cerebrales se pueden diagnosticar a través del estudio de los ojos (Naturísima, 2017). De hecho, gracias a la tomografía óptica, ahora es posible localizar tumores cerebrales y rastrear trastornos degenerativos como la esclerosis múltiple, el Alzheimer y el

Parkinson. Y es que, según la literatura médica, debido a que el cerebro está conectado a cada ojo por un nervio óptico, cualquier degeneración puede dañar las células del nervio y de la retina (Instituto Espaillat Cabral, 2017).

Un problema importante con el Alzheimer es que la gente suele desconocer los síntomas hasta que aparecen y empeora el cuadro clínico, dependiendo del nivel de demencia en que se encuentre la persona, causando consecuencias tan graves como la muerte debido a la falta de intervención temprana.

El propósito de la presente investigación es extraer la información clínica del iris, basado en el uso de nuevas técnicas de procesamiento de imágenes, que permitan interpretar y seleccionar las marcas más significativas en el área correspondiente al cerebro, al fusionar este enfoque, se lograra minimizar los errores humanos, dado que se ha demostrado el alto grado de correlación entre la enfermedad y el cambio en el iris.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La demencia hoy en día impone un desafío mundial de carácter médico, económico y de salud pública (Pan American Health Organization (PAHO), 2019). El interés de abordar la patología del Alzheimer en el caso de estudio es con la finalidad de generar diagnósticos prematuros de la demencia, para ayudar a prevenir y lograr un tratamiento antes de que sea irreversible.

Cabe destacar que es importante detectar de manera temprana las enfermedades neurológicas que afectan a la sociedad, incluyendo a: niños, jóvenes, adultos y en mayor grado en

personas de avanzada edad a partir de los 60 años, ya que estas se originan por diversos factores externos o genéticos.

Lo anteriormente descrito provoca un aumento en la tasa de mortalidad en países subdesarrollados y, además demuestra la ineficacia de los sistemas de salud en dichos países (McGrory, y otros, 2017).

En este contexto, es importante abordar a la medicina alternativa, porque su ventaja más significativa es que permite realizar una revisión integral al paciente, por medio de tratamientos naturales como la acupuntura, además se encuentra estrechamente relacionada con la Iridiología para tratar varias afecciones del cuerpo humano.

Partiendo de ello, se propone desarrollar un prototipo que permita generar un diagnóstico preventivo del Alzheimer de forma automática en las etapas tempranas, y que pueda ser utilizado como una herramienta para la población de nivel socio económico bajo.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un método alternativo para la detección temprana de los niveles de Alzheimer, fundamentado en la iridiología, mediante el uso de procesamiento digital de imágenes, plantillas de iridiología, métodos de predicción y aprendizaje.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Analizar los mecanismos de procesamiento digital de imágenes, optimizar el uso de plantillas de iridiología, métodos de predicción y aprendizaje automático, mediante la

revisión de literatura, para evaluar su desempeño relacionado con la detección de enfermedades neuronales.

- II. Diseñar e implementar un prototipo a través del procesamiento digital de imágenes, para identificar la presencia de las características más significativas del Alzheimer en iris del ojo humano.
- III. Implementar un método de predicción y aprendizaje automático, en base a la comparación de los resultados de diferentes clasificadores de decisión, para generar un diagnóstico apropiado.
- IV. Evaluar los resultados, mediante un método de interpolación con los datos de los diagnósticos obtenidos del prototipo, para especificar la capacidad predictiva de la enfermedad del Alzheimer.

1.5 ALCANCE

El presente proyecto incluirá el diseño e implementación de un prototipo, que genere un diagnóstico preventivo de los niveles de Alzheimer de forma automática, utilizando el procesamiento digital de imágenes, plantillas de iridiología y aprendizaje automático.

Las imágenes serán obtenidas de la fundación “CASA AURORA DEL PERPETUO SOCORRO” y las muestras serán proporcionadas por el médico, para fines educativos y bajo compromiso de uso confidencial, para luego procesarlas digitalmente y extraer sus características.

El prototipo implementado permitirá procesar digitalmente las imágenes, donde se evaluará mediante validación cruzada a partir de imágenes del iris de varios pacientes de

prueba. Dentro de la evaluación, se considera la extracción de varios parámetros para detectar anomalías en el iris. Se definen diferentes clasificadores de decisión, para generar un diagnóstico sobre los niveles de Alzheimer que tiene la persona.

Los resultados de la evaluación se presentan en un reporte que indicará si la persona posee dicha enfermedad, en términos de precisión, sensibilidad y capacidad predictiva; para comprender las características de rendimiento y validez de las pruebas del sistema propuesto.

Además, será validado por la opinión técnica de un médico especialista, que contrastará los resultados obtenidos por el sistema.

Para delinear de forma adecuada el alcance de la investigación planteada, se proponen varias preguntas de investigación, asociadas a los objetivos específicos, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Preguntas de investigación

Objetivo específico	Pregunta de investigación
i. Analizar los mecanismos de procesamiento digital de imágenes, optimizar el uso de plantillas de iridiología, métodos de predicción y aprendizaje automático, mediante la revisión de literatura para evaluar sus desempeños relacionados con la detección de enfermedades neuronales.	a. ¿Qué mecanismos existen para el procesamiento digital de imágenes? b. ¿Qué enfermedades han tomado como evidencia la Iridiología, utilizando procesamiento digital de imágenes?
ii. Diseñar e implementar un prototipo a través del proceso digital de imágenes, para identificar las características más relevantes del Alzheimer en iris del ojo humano.	a. ¿Qué herramientas existen para realizar el procesamiento digital de imágenes? b. ¿Qué características en el iris del ojo humano determinan que una persona podría tener Alzheimer?

CONTINÚA

<p>iii. Implementar un método de predicción y aprendizaje automático, en base a la comparación de los resultados de diferentes clasificadores de decisión para generar un diagnóstico apropiado.</p>	<p>a. ¿Qué clasificadores se utilizan como métodos de predicción y aprendizaje automático?</p> <p>b. ¿Qué tipos de diagnóstico son pertinentes con respecto del Alzheimer?</p>
<p>iv. Evaluar los resultados, mediante un método de interpolación con los datos de los diagnósticos obtenidos del prototipo, para especificar la capacidad predictiva de la enfermedad del Alzheimer</p>	<p>a. ¿Cuáles son los métodos de interpolación más utilizados para evaluar datos y su comportamiento?</p> <p>b. ¿En qué términos se evaluarán los resultados del sistema de diagnóstico preventivo de Alzheimer?</p>

Fuente: elaboración propia.

Mediante una interfaz web utilizando un api de Matlab (MathWorks, 2019) se realizará el proceso de extracción de los parámetros, el mismo que consta de 4 subprocesos: pre procesamiento, extracción de parámetros, clasificación y resultados.

El proceso de adquisición de la imagen al aplicar un pre procesamiento previo se hace un tratamiento a la imagen, para luego extraer las características más significativas de la patología del Alzheimer las mismas que serán analizadas en un clasificador para verificar cual es el nivel de incidencia sobre los resultados que a posterior mostrará el sistema. El pre procesamiento por su lado consta de 5 pasos: captura de la imagen, proceso de transformación de intensidad, detección del sector a evaluar, segmentación de la imagen y normalización de la imagen.

Finalmente, durante el pre-procesamiento se llevan a cabo las siguientes actividades: una vez capturada la imagen se procede a suavizar la imagen mediante la transformada de la intensidad entre píxeles vecinos, luego se detecta el sector usando algoritmos de

procesamiento digital de imágenes, después se segmenta la imagen para delimitar el sector de estudio y finalmente normaliza la imagen para obtener datos válidos, los cuales serán comparados con el criterio de un médico especialista que validará el diagnóstico.

1.6 HIPÓTESIS

El diseño e implementación de un prototipo de diagnóstico para Alzheimer, utilizando el procesamiento digital de imágenes, permitirá definir un modelo para determinar los grados de Alzheimer identificados en el iris por medio de la iridiología.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo, se explica la metodología seleccionada y utilizada como base, para abordar el desarrollo del prototipo, así como, la fundamentación teórica de soporte para establecer los lineamientos, que permiten generar el posible método alternativo para la detección temprana de los niveles de Alzheimer fundamentado en la iridiología.

2.1 METODOLOGÍA

De la misma manera que se realiza la implementación de un sistema informático convencional, basado en metodologías como “Programación Extrema (XP)” y tendencias como orientadas a aspectos, hay una variedad de metodologías para el desarrollo de un sistema experto (Cataldo, 2015). Y al ser un campo relativamente nuevo que se está dando a conocer en muchas aplicaciones en variadas áreas del conocimiento, dispone de un abanico de metodologías en la que cada autor propone un proceso de acuerdo con su forma de desarrollo (Delgado, Cortez, & Ibáñez, 2016). Las investigaciones realizadas (Dávila, 2014) aplicando esas metodologías se han difundido por el éxito que han tenido a ser llevadas a cabo (tabla 2).

Tabla 2
Metodologías para el desarrollo de un sistema experto

Metodología	Característica relevante
Buchanan	Relación entre el ingeniero de conocimiento y el experto humano para la adquisición de conocimiento.
Grover	Adquisición de documentación que puede ser utilizada por diseñadores y usuarios, permitiendo reemplazar parcialmente al experto.

CONTINÚA

Brule	Implementación de un sistema experto prematuro, que progresivamente se aproxima modelo deseado.
Javier Blanquet y García Martínez	Permite plantear grafos de causalidades que permiten representar el conocimiento previo a la formalización de reglas y la verificación.
KADS	Permite describir la arquitectura y diseño técnico del sistema basado en conocimiento previo a su implementación.

Fuente: (Badaro, Ibañez, & Agüero, 2013)

Se aborda como punto de partida la metodología Buchanan, la cual se basa en el característico ciclo de vida en cascada, que se utiliza convencionalmente en la ingeniería de software, ya que permite establecer revisiones constantes y posibles cambios que irán refinando el sistema implementado. Para la implementación de la metodología Buchanan se deben cumplir 5 etapas fundamentales como parte de su ciclo de vida, como se muestra a continuación (figura 1):

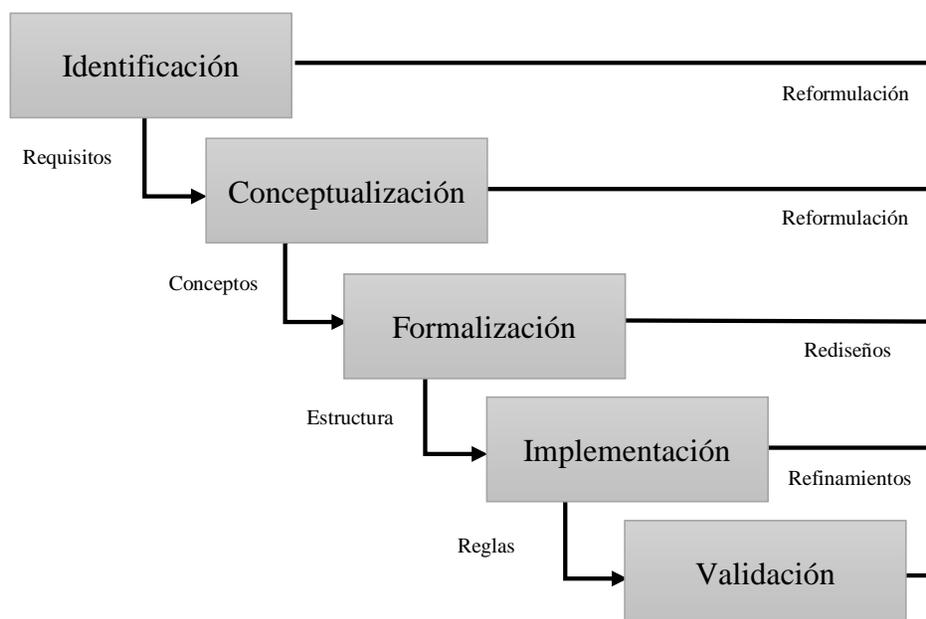


Figura 1. Modelo de ciclo de vida propuesto por Buchanan.

Fuente: (Delgado et al., 2016)

Los elementos fundamentales que interactúan para el desarrollo de la metodología son (Llangarí, 2016):

- **Ingeniero de conocimiento:** es el encargado de abstraer y analizar el conocimiento del experto para poder representar en el software que compone el sistema experto.
- **Experto Humano del Campo:** es el que tienen las competencias de especialista en el área de investigación propuesta, quien conoce a detalle y profundidad el tema en cuestión, proporcionando el conocimiento para el sistema experto.

Es importante mencionar que, durante la etapa de implementación de la metodología de Buchanan se debe considerar la relación entre el Ingeniero de Conocimiento y el Experto Humano del Campo, quienes serán los responsables de reproducir el sistema experto (Delgado et al., 2016).

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Antecedentes Investigativos

El procesamiento de imágenes médicas, se ha venido desarrollando conjuntamente con el crecimiento de las tecnologías, lo que ha generado la reducción considerable de su costo (McGrory, y otros, 2017), viniendo a desembocar en la aplicación para obtención de información compleja como la anatomía y funciones del cuerpo humano que le permiten analizar enormes cantidades de datos de forma efectiva (Sabino, 1992).

Es muy común ver la integración de la tecnología para la generación de imágenes médicas, así aparece el procesamiento digital de imágenes, que tiene por objetivo mejorar el

aspecto y la interpretación de los datos (Tsai, Hsu, Lin, & Lin, 2009), de hecho, muchas veces esos datos son utilizados como entradas de otros procesos (Yakirevich & Resnick, 2013).

Además, el poder de analizar y describir las imágenes, a partir del procesamiento de imágenes, ha generado un interés en las últimas décadas (Perner, 2014), en todas las áreas del conocimiento, especialmente en la medicina, así como en la evolución de la informática, mediante el desarrollo de algoritmos que optimicen y reduzcan el procesamiento (Acosta, 2015).

Actualmente, el procesamiento digital de imágenes constituye una herramienta de precisión, que facilita el trabajo y genera soporte al especialista médico (Pan American Health Organization (PAHO), 2019), generando criterios para valorar posibles diagnósticos de las enfermedades, además, en el campo de la medicina son varias técnicas que se emplean, desde el mejoramiento de la imagen y detección de contornos, hasta el reconocimiento de patrones (Cury, Oliveira, & Cury, 2019).

Red de Categorías

Para validar la fundamentación teórica del proyecto, se ha optado por elaborar una red con las categorías que son parte del tema de estudio y generen comprensión, desde el punto de vista científico (Kitchenham, 2007), como se muestra en la Figura 2:

- **Variable Independiente:** Aplicación para el diagnóstico preventivo de los niveles de Alzheimer.
- **Variable Dependiente:** Factores patológicos y sociales que intervienen en los niveles de severidad del Alzheimer.

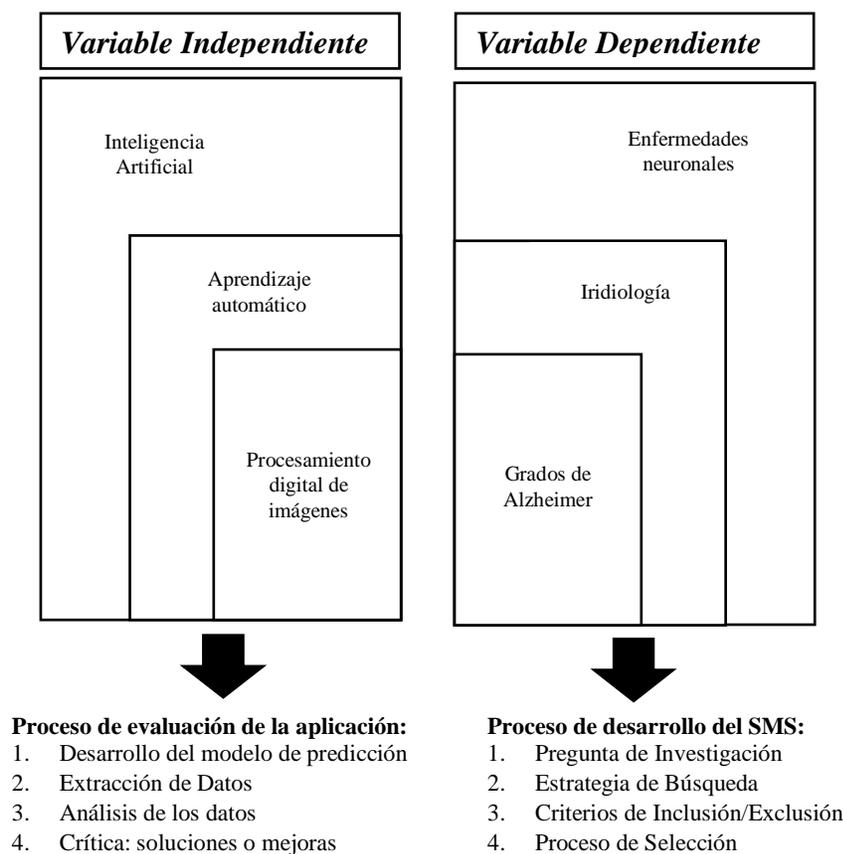


Figura 2. Red de categorías de las variables de categorización
Fuente: elaboración propia.

2.2.1 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

2.2.1.1 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial conforma todo lo que tiene que ver con sistemas autónomos e inteligentes, formando parte de la rama de la informática (Calderón & Villacís, 2018), son considerados sistemas firmware que unen el hardware y software, siendo la base para la implementación de inteligencia simulada como la del ser humano. Sin embargo, depende del enfoque que aplique (He, Ye, & Ye, 2016):

- Racionalista: usa los modelos computacionales para el análisis detallado de las capacidades mentales que puede tener por la abstracción de procesos.
- Humanista: en cambio trata de implementar una inteligencia que pueda aprender y tomar decisiones.

2.2.1.2 APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

También conocido como aprendizaje generado por las máquinas, forma parte de la inteligencia artificial, y abarca una amplia gama de campos como: ciencia cognitiva, teoría de la información, estadística, bioinformática, entre otras; su objetivo es tomar una base de conocimiento y un conjunto de reglas que le permitan a los sistemas computacionales aprender y resolver problemas (Sharma, Bajpai, & Litoriya, 2012).

Otra forma de verlo es como establecer programas que simulen el comportamiento humano, tomando la información no estructurada que es suministrada en forma de ejemplos, es decir, inducción del conocimiento (Rosenberg & Kagan, 1987).

Además, este tipo de aprendizaje es confundido por la Estadística, ya que ambas disciplinas se orientan al análisis estructurado de datos. Sin embargo, el aprendizaje automático está enfocado de forma más específica en problemas complejos de computación (Calderón & Villacís, 2018).

Cuando se propone la utilización del aprendizaje automático lo que se pretende conseguir es deducir una función, modelo o reconocer patrones a partir de datos de entrada obtenidos y tener como salida una solución para analizar el comportamiento de la información. Es así que se considera una clasificación dentro del aprendizaje automático como se muestra en la figura 3:

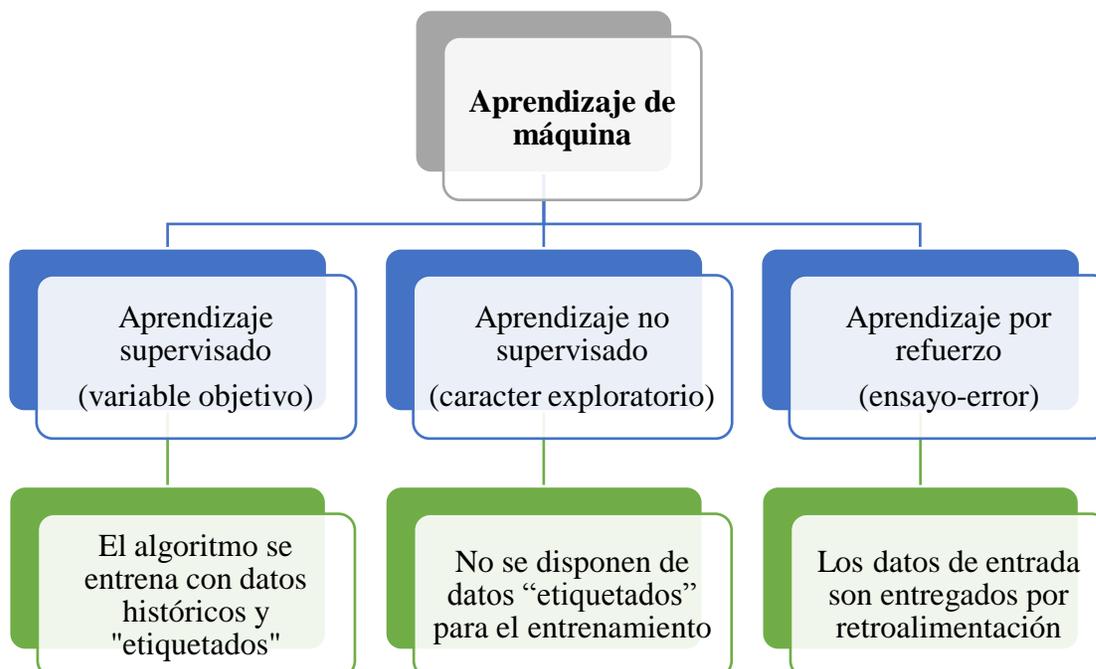


Figura 3. Tipos de aprendizaje automático.
Fuente: (Tsai et al., 2009)

Para determinar el tipo de aprendizaje se puede utilizar la famosa “chuleta de algoritmos” (Think Big, 2017), que permite la selección del aprendizaje más adecuado de acuerdo con el sistema experto propuesto, así podemos analizarlo de la siguiente manera (figura 4):

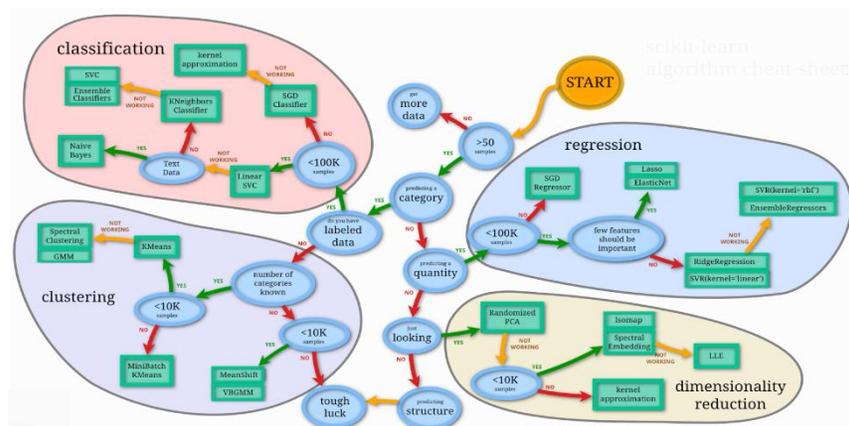


Figura 4. Chuleta de algoritmos para la selección de algoritmo.
Fuente: (Think Big, 2017)

De acuerdo con la chuleta de algoritmos podemos establecer que el aprendizaje seleccionado debe ser el no supervisado por cumplir con dos criterios en línea de discriminación: más de 50 ejemplos y sin datos etiquetados para el entrenamiento.

2.2.1.3 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Conocido también como visión artificial, es un proceso por el cual se analizan imágenes proporcionadas por el medio, para obtener información que pueda ser utilizada en la toma de decisiones o resolver tareas de una problemática puntual del escenario planteado (McGrory, y otros, 2017).

Generalmente está conformada por procesos, que le dan la capacidad para determinar o comprender las imágenes y las estimaciones automáticas de las propiedades del objeto de estudio, utilizando un conjunto de técnicas digitales, para de alguna manera facilitar la búsqueda de información (Faundez-Zanuy et al., 2013). Así tenemos algunos algoritmos que ayudan a realizar este proceso (González, 2018):

- **Mezclas de modelos gaussianos:** el clúster sigue una distribución normal multi-variante, su objetivo es encontrar una aproximación a partir de la combinación de parámetros de densidad.

$$f(y_i|\theta) = \sum_{j=1}^C \pi_j f(y_i|\theta_j)$$

The diagram illustrates the components of the Gaussian Mixture Model equation. The equation is $f(y_i|\theta) = \sum_{j=1}^C \pi_j f(y_i|\theta_j)$. A blue arrow points from the π_j term to the text "función de probabilidad de cada subpoblación". A green arrow points from the π_j term to the text "proporción o peso de la mezcla". A yellow arrow points from the j index to the text " $j = 1, \dots, C$ ". A yellow arrow points from the i index to the text " $i = 1, \dots, n$ ".

Ecuación 1. Modelo de mezclas Gaussianas.

- **Agrupación de clústeres k-Means:** segmenta los datos en clústeres según el cálculo de la distancia del centróide a cada clúster, su objetivo es agrupar en clases los datos por su grado de similitud, eso lo hace eficiente durante el uso de recursos. Sin embargo, no se recomienda en la identificación de clases que no tienen distribución esférica.

suma de errores cuadrados dentro del contexto del clustering

$$SEE = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} \text{dist}(c_i, x)^2$$

centróide del clúster

punto

distancia entre dos puntos

Ecuación 2. Modelo de clústeres k-Means.

- **Agrupamiento jerárquico:** no requiere especificar la cantidad de agrupaciones (jerarquía multinivel de clústeres) ya que lo encuentra por sí mismo, además permite visualizar la agrupación jerárquica binaria (crear árbol de clústeres).

enlace completo

minimizar la distancia máxima entre elementos de cada grupo

$$Dec(C_i, C_j) = \max\{(d(x, y) | x \in C_i, y \in C_j)\}$$

distancia entre objetos

dos clústeres que minimizan la distancia entre clústeres

Ecuación 3. Modelo de agrupamiento jerárquico.

2.2.2 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

2.2.2.1 ENFERMEDADES NEURONALES

La demencia hoy en día representa un importante desafío mundial médico, económico y de salud pública, donde la enfermedad de Alzheimer representa más del 60 % de todas las

demencias. Según el ministerio de salud pública del Ecuador, las personas que fueron diagnosticadas con demencia, el 21,4%, oscila entre los 61 y 70 años de edad a nivel nacional.

Según la OMS cada 5 años se duplica el porcentaje de pacientes que tienen Alzheimer, es así que la misma Organización Mundial de la Salud (OMS) ha recomendado un diagnóstico temprano para posibilitar un tratamiento precoz y adecuado, permitiéndose así mantener la salud física, cognición, actividad y bienestar del paciente (Pan American Health Organization (PAHO), 2019).

Conocida también como iridiología, iridiagnosis o irisdiagnosis, realiza un análisis a través del iris del ojo, como se encuentra la salud del cuerpo humano. Según la medicina alternativa el iris permite identificar y localizar las enfermedades que se encuentran en el organismo, así como los patrones genéticos y la tendencia psicológica (Yakirevich & Resnick, 2013).

Las últimas investigaciones realizadas de acuerdo con el Kaiser Permanente Washington Health Institute conjuntamente con la universidad de Washington, están entregando en sus resultados ya un sustento relacional muy estrecho entre la salud ocular y cerebral, y se está dando una apertura en la línea de investigación para ayudar a realizar pruebas con pacientes que tienen la patología del Alzheimer y generar diagnóstico con los resultados, además, de acuerdo con los comentarios del Dr. Sunir Garg médico especialista en alteraciones oculares del Retina Service at Wills Eye Hospital menciona que fisiológicamente hablando hay una correspondencia entre los nervios ópticos y la conexión al tejido cerebral, debido a que estudios de retina realizados en ratones permitiría identificar enfermedades del cerebro; y en forma general todos estos sustentos ayudaran a conocer el estado de salud general en otras áreas relacionadas con cuerpo del paciente (American Academy of Ophthalmology, 2018).

En Ecuador, se da impulso al tratamiento de estas patologías mediante fundaciones que se dedican a la labor social, sin embargo, se enfocan a ayudar cuando el diagnóstico ya es irreversible (TASE, 2011), debido a que no se han desarrollado programas de salud que permitan diagnosticar la enfermedad en edades tempranas. Actualmente, se está dando mayor prioridad de inversión a la salud en el Ecuador, lo que permitirá aprovechar la misma en la investigación de enfermedades neuronales, con el fin de reducir el índice de personas con la patología del Alzheimer, mediante tratamientos preventivos (Plan V, 2019).

2.2.2.2 IRIDIOLOGÍA

Conocida también como iridiología o iridiagnosis, realiza un análisis a través de la membrana vascular que le da coloración al ojo denominado “iris”, el cual demuestra el estado de salud del cuerpo humano (Moraga, 2012).

Los signos iridianos como: anomalías cromáticas, manchas, granularidades, texturas sobre relieves o decoloraciones en el ojo se encuentran presentes al momento de nacer y perduran hasta la muerte, son huellas genéticas que tienden un nivel de predisposición a ciertas enfermedades degenerativas como a décadas tempranas de patogenias antes de que ocurran los síntomas en el cuerpo humano (Moraga, 2012).

Según la medicina alternativa el iris permite identificar y localizar las enfermedades que se encuentran en el organismo, así como los patrones genéticos y la tendencia psicológica (Jensen, 1980). Además, la iridiología determina de forma general etapas desde agudas hasta destructivas en los órganos afectados, mediante el examen en las áreas correspondientes al iris (Garci, 2017).

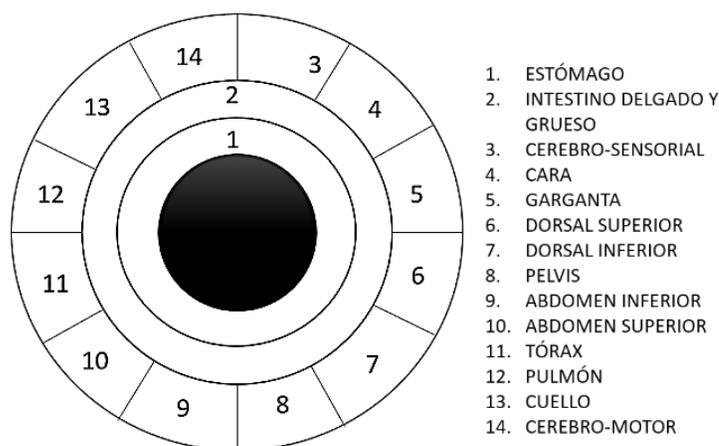


Figura 5. Plantilla de Iridiología.

Fuente: (Garci, 2017)

El mapa topográfico del iris o plantilla de iridología (figura 5), permite manejar una comparativa entre los nervios oculares del tejido conjuntivo del iris y los órganos vitales del cuerpo humano a los cuales están asociados entre sí (Jensen, 1980). La importancia del diagnóstico iridiano radica en que permite prevenir el inicio de algunas patologías.

2.2.2.3 GRADOS DE ALZHEIMER

Durante la revisión de la enfermedad del Alzheimer, se pueden determinar tres fases o etapas de la enfermedad: leve, moderada y grave (Pan American Health Organization (PAHO), 2019).

Fase Leve: tiene una duración media de 3 años y se observa un deterioro continuo en la memoria, suele olvidar los sucesos pasados 10, 15 o 20 minutos de lo sucedido, también pierde la noción del medio en el que se encuentra (Pan American Health Organization (PAHO), 2019).

Fase Moderada: ya en esta etapa la memoria comienza a fallar progresivamente, tiene una duración media de 3 años, donde se producen alteraciones a la función cerebral como:

problemas de lenguaje, funciones aprendidas y reconocimiento (Pan American Health Organization (PAHO), 2019).

Fase Grave: ya en la última etapa se ven afectadas todas las facultades intelectuales y los síntomas cerebrales se agravan, en el peor de los casos se producen las crisis epilépticas (Pan American Health Organization (PAHO), 2019).

Para llegar al nivel de detalle en cuanto a generar un criterio que permita identificar el nivel de Alzheimer, el médico especialista en neurología ha identificado factores de riesgos relacionados con la patología que permitan orientar de forma específica sobre ciertas condiciones que debe cumplir el paciente para mostrar un cuadro clínico de Alzheimer por etapas, así se determinaron las siguientes (tabla 3):

Tabla 3

Criterios de soporte médico para establecer niveles de Alzheimer

1	Edad	11	Estatura
2	Sexo	12	Peso
3	Padece de Alzheimer	13	Fuma
4	Padece de Diabetes	14	Sufre de presión arterial
5	Tienen antecedentes familiares y genéticos con Alzheimer	15	Sufre de colesterol alto
6	Sufre de Síndrome de Down	16	Tiene cambios de conducta (depresión, apatía, irritable, agresivo)
7	Sufre de disminución de la memoria	17	Sufre de glaucoma
8	Sufre de traumatismo craneal	18	Sufre de retinopatía diabética
9	Sufre de Insomnio	19	Sufre degeneración macular
10	Realiza ejercicio físico		

Fuente: elaboración propia.

Para la obtención de la información mostrada en la tabla 3 se ha solicitado al médico especialista la apertura necesaria en cuanto a las historias clínicas de los pacientes respecta, bajo el convenio de absoluta confidencialidad y de uso con fines educativos para la presente investigación. Las encuestas realizadas a posterior se verificarán tabuladas y se mostrara como influye en la toma de decisiones del sistema experto.

CAPÍTULO III

DESARROLLO

Luego de revisar algunas de las herramientas que se utilizaron para el procesamiento digital de imágenes, en los casos de estudio relacionados en el estado del arte, se decide utilizar un api de Matlab en base a las recomendaciones de (McGrory et al., 2017) en el estudio: “The application of retinal fundus camera imaging in dementia: a systematic review” sobre la utilidad de manejar librerías dedicadas al procesamiento de las imágenes y desarrollo de una interfaz GUI sobre la misma aplicación.

Por otro lado, los clasificadores de información se tomaron de (Sharma et al., 2012) en base al estudio: “Comparison the various clustering algorithms of weka tools” donde realiza una comparación entre mezclas de modelos gaussianos, agrupación de clústeres k-Means, agrupamiento jerárquico y determina que pueden ser muy útiles para verificar el rendimiento durante el aprendizaje de sistemas, además, indica que los datos pueden ser procesados directamente con la ayuda de RapidMiner, debido a que esta herramienta permite el análisis de datos mediante el encadenamiento de operadores en entorno gráfico y es multiplataforma.

Finalmente, para el análisis de correlación entre la enfermedad y el cambio en el iris se utilizará la curva ROC propuesta por (Cerdeira & Cifuentes, 2012) en base al estudio: “Uso de curvas ROC en investigación clínica. Aspectos teórico-prácticos.”, donde indica de forma explícita que es una herramienta estadística para clasificar a los individuos de una población basado en variables de decisión, principalmente utilizado en el diagnóstico clínico de enfermedades.

En el presente capítulo, se explica cómo se desarrolló el prototipo de detección temprana de los niveles de Alzheimer, el mismo que está fundamentado en la aplicación de la Ingeniería del Conocimiento. La implementación se basó en la metodología Buchanan que está enfocada para este tipo de sistemas.

A continuación, se desarrollan cada una de las fases:

3.1 IDENTIFICACIÓN

Problema: no se cuenta con métodos alternativos preventivos para detectar las etapas en las que se desarrolla el Alzheimer, lo que ocasiona la ausencia de un diagnóstico preventivo en la mayoría de los centros de salud en Ecuador.

Solución: se propone desarrollar un método alternativo para la detección temprana de los niveles de Alzheimer, fundamentado en la iridiología, mediante el uso de procesamiento digital de imágenes, plantillas de iridiología, métodos de predicción y aprendizaje, que sirva de apoyo a dichos especialistas en atención primaria, con el fin de lograr un diagnóstico oportuno de la enfermedad y evitar posibles complicaciones o incluso la muerte en etapas avanzadas del diagnóstico.

RECURSOS HUMANOS

a. Ingeniero de Conocimiento

- El docente investigador de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” quien tiene la formación académica en el área de IA.
- El estudiante Tesista quien tiene la formación de la carrera de Ingeniería de Sistemas e Informática.

b. **Experto Humano del Campo**

- El profesional médico especialista en Neurología, quien es el experto de apoyo para la obtención y creación de la base de conocimiento. Aporta 130 imágenes en el estudio.

MÉTODOS PARA DETECCIÓN DE BORDES

Existe una variedad de algoritmos que permiten realizar el proceso para detectar e identificar el borde de las formas en imágenes, que sirven de soporte en el procesamiento digital de imágenes (tabla 4):

Tabla 4

Algoritmos para la detección de bordes

Método	Función
Transformada de Hough	Uno de los métodos más comunes para detectar formas (rectas, circunferencias o elipsis) en el procesamiento digital de imágenes, es una técnica muy robusta frente al ruido y a la presencia de huecos en la frontera del objeto. Para aplicar el método en la imagen se requiere en primer lugar una imagen binaria de los píxeles que conforman la frontera del objeto.
Algoritmo de Canny	Realiza múltiples etapas para detectar bordes en imágenes, pese a tener que cumplir con criterios de: buena detección, buena localización y respuesta única no es posible conjugar “detección” y “localización” en el proceso.

CONTINÚA

Algoritmo SUSAN	Permite una aproximación para el procesamiento de imágenes de bajo nivel, se enfoca detectar bordes y esquinas e integra un método de reducción de ruido, para reducir el error de localización evita el uso de derivadas durante la etapa de obtención de las características bidimensionales.
------------------------	---

Fuente: (Hermosilla, Bermejo, Balaguer, & Ruiz, 2016)

Se toma la decisión de utilizar la transformada de Hough dado que dicho método realiza la detección de figuras por su forma en el cual solicita la imagen binaria previamente, eso implica realizar un preprocesamiento (el cual ya es considerado en el proceso) antes de aplicar la transformada para detectar los bordes.

HERRAMIENTAS DE SOFTWARE

c. Procesamiento digital de imágenes

Existe una variedad de algoritmos que permiten realizar el proceso para detectar e identificar el borde de las formas en imágenes, que sirven de soporte en el procesamiento digital de imágenes (tabla 5):

Tabla 5

Api para procesamiento de imágenes

Api	Ventajas	Desventajas
Matlab	Utiliza su lenguaje propio como lenguaje nativo, desarrollo rápido de aplicaciones científicas diversas	Software propietario

CONTINÚA

OpenCV	Software libre Utiliza lenguaje C++ Permite integración con múltiples lenguajes de programación	Para la integración durante el proceso de intercambio de mensajes hace costoso en términos de rendimiento de la aplicación. Hay versiones que tienen inconvenientes con la utilización de algunos algoritmos
ImajeJ	Software libre Utiliza lenguaje JavaScript Cuenta con un lenguaje de macros propio	No es un software demasiado intuitivo y puede parecer inicialmente algo complejo. Los algoritmos de algunos métodos de análisis más avanzados no están tan refinados como en los softwares de pago.

Fuente: (Yusleidy, Eduardo, & Oscar, 2017)

Se toma la decisión de utilizar la transformada de Hough dado que dicho método realiza la detección de figuras por su forma en el cual solicita la imagen binaria previamente, eso implica realizar un preprocesamiento (el cual ya es considerado en el proceso) antes de aplicar la transformada para detectar los bordes.

d. USB Camera

Software que permite conexión con el dispositivo móvil para capturar y reproducir imágenes y videos en tiempo real, no requiere mucho almacenamiento para su instalación y funciona con versiones Android 4.4 y posteriores (Google Play, 2019).

e. Rapidminer

Es un entorno para experimentación de análisis de datos, que posee implementadas distintas estrategias de Minería de Datos. Es de distribución libre. Opera a través de la conexión de componentes visuales (Microsystem, 2019).

f. WEKA

Es una plataforma que permite resolver una amplia gama de tareas relacionadas con el aprendizaje automático supervisado, no supervisado o por refuerzo que utiliza una librería dedicada en Java elaborada en la Universidad de Waikato, Nueva Zelanda, sus principales ventajas son las siguientes (Ravuri, Kannan, Tso, & Amatriain, 2018):

Tabla 6

Ventajas de la aplicación WEKA

Características
Software de código abierto.
Mediante la interfaz gráfica de usuario los proyectos se pueden realizar sin necesidad de programar (evita el aprendizaje de otro lenguaje de scripting)
Las funciones de software son aplicables mediante la interfaz de línea de comandos.
Utiliza una API de Java robustamente documentada.
Existe gran cantidad de información y documentación sobre el uso de la plataforma.

Fuente: (The University Waiko, 1992)

Además de todo WEKA tiene el soporte para una variedad de formatos que son utilizados para realizar el entrenamiento sobre la herramienta, así tenemos: arff (propio de WEKA), names, data, csv, json, m, libsvm, dat, bsi, xfff.

HERRAMIENTAS DE MODELAMIENTO MATEMÁTICO

g. Métodos de interpolación

Para la evaluación de modelos matemáticos de interpolación se comparan las funciones que cada uno desempeña en base a las necesidades que aporten un nivel de significancia al sistema experto (tabla 7):

Tabla 7
Comparativa entre métodos de interpolación

Polinomio	Función
Newton	Es un método simple y muy útil para aproximar rápidamente un polinomio (en avance y retroceso) que pasa por un conjunto de datos en base a una función tabulada, útil para añadir nuevos nodos dado su relación de recurrencia.
Lagrange	Útil para la implementación de funciones computacionales, la desventaja aparece cuando se aumenta el número de nodos por la dificultad de cálculo, en grado 6 aparecen oscilaciones y el método deja de ser válido (no aplica en todos los casos).
Hermite	Es un método sencillo y de fácil operación en problemas de interpolación, el inconveniente aparece cuando se requiere a solución de un polinomio de alto grado o de comportamiento periódico, entregando respuestas no satisfactorias.

Fuente: (Combe & Arrocha, 2018)

Se toma la decisión de utilizar la transformada de Hough dado que dicho método realiza la detección de figuras por su forma en el cual solicita la imagen binaria previamente, eso implica realizar un preprocesamiento (el cual ya es considerado en el proceso) antes de aplicar la transformada para detectar los bordes.

HERRAMIENTAS DE HARDWARE

Tabla 8
Hardware de desarrollo

Equipo	Características
HP	Intel core i5 Memoria Ram 8 GB Disco 1 TB

CONTINÚA

	Sistema Operativo Windows 10 Tarjeta de Video Nvidia 4gb
Cámara	20 megapíxeles
Trípode	1 metro de altura Color negro, plástico
Gafas VR BOX	Únicamente el cobertor visual (adaptado para tomar fotografías)

Fuente: elaboración propia.

Familiarización con el dominio

Para familiarizarse con el problema y el dominio se realizaron entrevistas al experto para validar la información encontrada y enriquecer la misma. Una vez identificado el problema y el dominio se pasa a identificar las tareas del Sistema Experto.

Tareas del Sistema Experto:

- Permitir ingresar una imagen del iris del ojo en el cual se identificará los síntomas y factores relacionados a la enfermedad para crear la Base de Conocimiento.
- Brindar un diagnóstico de la enfermedad expresado en niveles (leve, moderado, grave).
- Permitir el ingreso de nuevo conocimiento a la Base de Conocimientos inicial.
- Una vez identificadas las tareas que realizará el Sistema Experto, se pasa a delimitar el sistema.

3.2 CONCEPTUALIZACIÓN

En esta fase se procederá a la adquisición del conocimiento del sistema experto; en este caso se necesita obtener la información cualitativa y cuantitativa del modelo probabilístico que utilizaremos.

Las muestras de las imágenes fueron recolectadas en la Fundación “CASA AURORA DEL PERPETUO SOCORRO” de la ciudad de Quito con ayuda de los pacientes que tienen un cuadro clínico de la enfermedad de Alzheimer, luego sobre las muestras se aplica un proceso de validación cruzada para a posterior realizar el procesamiento de las imágenes y adquirir las características del iris, que permitirán determinar un diagnóstico en el grado de Alzheimer detectado.

La revisión de literatura genera un aporte muy importante al momento de analizar la relación entre el estado de alteración de los órganos del cuerpo humano y como se reproduce los efectos sobre el iris, y para corroborar estos hallazgos se utilizan las plantillas de Iridiología (figura 6) para contrastar la enfermedad o padecimiento con los órganos del cuerpo humano detectado, con el área de localización en el iris del ojo, todo esto basado en los estudios de medicina alternativa.

Para el presente estudio, se ha tomado como referencia el área del cerebro donde se puede analizar las enfermedades relacionadas neuronales causantes del Alzheimer.

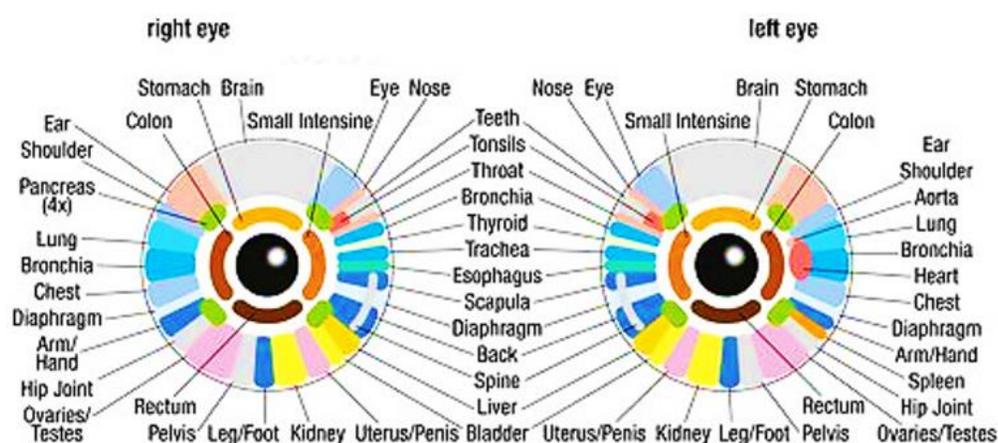


Figura 6. Plantilla de Iridiología del ojo.

Fuente: (Jensen, 1980)

En primer lugar, se procede a detectar las variaciones de color que se producen alrededor del sector del cerebro, de esas variaciones son extraídos sus parámetros que serán evaluados durante el diagnóstico de la enfermedad del Alzheimer.

Se extraen los parámetros más significativos, para reconocer los niveles de Alzheimer. Luego, se pretende establecer los criterios requeridos para que el sistema genere un diagnóstico de forma automática, a través de un aprendizaje no supervisado.

El proceso de diagnóstico sigue una serie de etapas (figura 7) hasta lograr obtener los resultados esperados que serán contrastados con el criterio médico del doctor.

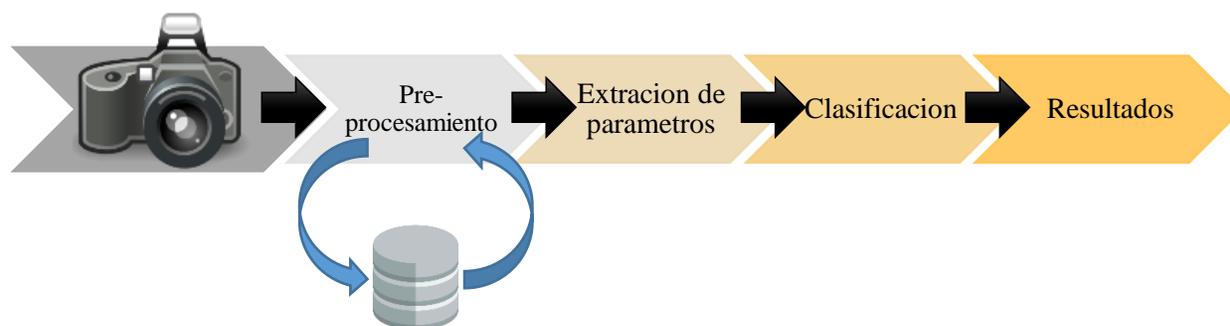


Figura 7. Etapas para la detección y diagnóstico de los niveles de Alzheimer.
Fuente: elaboración propia.

El siguiente proceso consiste en detectar los bordes circulares que conforman la estructura interna del ojo humano, como son: iris (interno) y pupila (externo), de entre tantos métodos se selecciona la transformada de Hough por su flexibilidad, precisión matemática y los estudios complementarios que mencionan su efectividad en la muestra de resultados.

Ya detectados los bordes, se emplea discontinuidad para lograr segmentar la imagen en donde se produzcan cambios abruptos de color en gris (figura 8), de esta manera se obtiene el área correspondiente al cerebro. Adicionalmente, se aclara el área de la imagen ya segmentada, mediante la aplicación de filtros de transformación de intensidad logarítmica.



Figura 8. Muestra de la segmentación de la imagen.
Fuente: elaboración propia.

Una vez definida la región, se realiza un proceso para mejorar la aproximación de la curva a las características, aplicando la interpolación de Newton mediante sus diferencias divididas, se selecciona este método numérico ya que es eficiente al trabajar con una gran cantidad de nodos y el tiempo de cálculo para matrices grandes es eficiente.

En base a las pruebas realizadas sobre las imágenes, se definen los rangos de circunferencias que cubrirán el sector del cerebro (figura 6) para el iris: 20, 30 y 40 píxeles en su contorno, así como, para área del cerebro: 90, 100 y 110 píxeles en su contorno. Este proceso se pretende adicionar para mejorar la detección del área de análisis y extracción de características, evitando posibles sesgos en los resultados.



Figura 9. Sector correspondiente al área del cerebro.
Fuente: elaboración propia.

A continuación, en las tablas 9 y 10 se indican los rangos y aproximaciones definidas en el sector del área del cerebro, para la extracción de las características más adecuadas, como se muestra a continuación:

Tabla 9*Aproximación al área del cerebro (iris)*

<i>Rango de pixel</i>	<i>Pixel promedio a la pupila</i>
[20–70]	40
[30–70]	30
[40–70]	20

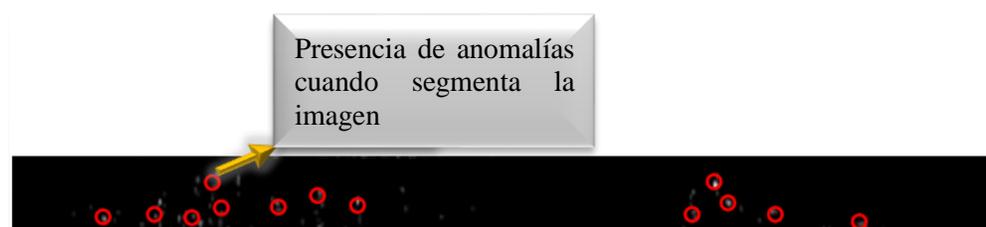
Fuente: elaboración propia.

Tabla 10*Aproximación al área del cerebro (cerebro)*

<i>Rango de pixel</i>	<i>Pixel promedio a la pupila</i>
[90–200]	110
[100–200]	100
[110–200]	90

Fuente: elaboración propia.

Se verifica si los resultados de la imagen segmentada fueron satisfactorios o de ser el caso se hace un reajuste en el proceso para su normalización, luego se realiza una transformación a medidas fijas que permitan extraer y visualizar los parámetros representados como líneas blancas en la imagen en escala de grises (figura 10).

**Figura 10.** Imagen normalizada y sus características.

Fuente: elaboración propia.

3.3 FORMALIZACIÓN

Ya normalizada la imagen se analiza como el sistema alimentará su aprendizaje, tomando en su entrada las características o parámetros extraídos los cuales se definen a continuación (tabla 11).

Tabla 11*Características extraídas*

<i>Característica o parámetro</i>	<i>Aplicación</i>	<i>Cantidad</i>
Intensidad promedio	Es la característica promedio de profundidad en el tono de gris del mapa de bits representado en la imagen.	1
Contraste promedio de la desviación estándar	Es una medida de dispersión de los niveles de gris, considerado como la variante promedio en un mapa de bits, en la textura de la misma bajo un parámetro no proporcional a la suavidad del mapa de bits.	1
Suavidad	Es la inversa del contraste promedio de la desviación estándar, incluye técnicas que proporcionan una apariencia más suave de la imagen, eliminando el ruido o suprimiendo detalles.	1
Tercer momento	Es la falta de simetría del histograma proporcional a la uniformidad del mismo, del cual se deriva un conjunto de momentos invariantes a traslaciones, rotaciones y cambios de escala.	1
Uniformidad del histograma	Tendencia de los datos para saber si la curva está aplanada o alargada.	1
Entropía	Muestra la cantidad de información promedio que contiene la imagen del iris segmentado, esto se hace para conocer la cantidad de datos útiles para procesar.	1
TOTAL		6

Fuente: (Hernandez, Vega, Tapia, Morocho, & Fuertes, 2018)

Se pretende analizar 3 técnicas de aprendizaje no supervisado, los cuales muestran gran efectividad en las pruebas realizadas en los estudios relacionados. Ya posteriormente, se procede a emplear una técnica de aprendizaje no supervisado el cual previamente es evaluado en precisión, sensibilidad, especificidad y capacidad predictiva.

3.4 IMPLEMENTACIÓN

Una vez realizada la etapa de obtención de características más significativas y definición de las técnicas de aprendizaje no supervisado, se proceder a realizar un análisis con todos los

critérios. Se evidencia que 3 de las 6 características evaluadas son relevantes para el diagnóstico (tabla 12), además, se especifica las características no relevantes en cuanto serán excluidas del clasificador, al momento de armar las reglas de decisión, con la finalidad de evitar un proceso de sobre entrenamiento.

Tabla 12

Características evaluadas

Características no significativas	
La suavidad	1
Tercer momento	1
Intensidad promedio	1
TOTAL	3
Características significativas	
Contraste promedio de la desviación estándar	1
Entropía	1
Uniformidad del histograma	1
TOTAL	3

Fuente: elaboración propia.

Para la primera etapa, se procesan los datos obtenidos para elaborar una matriz de confusión para cada criterio (tabla 13) en cuanto a los niveles de Alzheimer corresponden, que posteriormente permitirá construir la función de la curva ROC:

Tabla 13

Categorización de la patología

Criterio I	No presenta la patología.
Criterio II	Posiblemente se encuentra en la fase leve.
Criterio III	Posiblemente se encuentra en la fase moderada.
Criterio IV	Posiblemente se encuentra en la fase grave.

Fuente: elaboración propia.

Para su análisis se basa en aquellos valores que el sistema considera un diagnóstico positivo (verdaderos positivos y falsos positivos) mostrados en la tabla 15:

Tabla 14

Instancias de verdad y falsedad de la matriz de confusión

VP (Verdaderos positivos): instancias correctamente reconocidas por el sistema.

FN (Falsos negativos): instancias que son positivas y que el sistema dice que no lo son.

FP (Falsos positivos): instancias que son negativas pero el sistema dice que no lo es.

VN (Verdaderos negativos): instancias que son negativas y correctamente reconocidas como tales

Fuente: (Corso, 2016)

Así consideramos las siguientes ecuaciones:

Precisión: número de casos críticos que pretende reconocer el sistema, en relación al número total de casos examinados.

$$Precisión = \frac{(VP + VN)}{VP + VN + FP + FN} 100\% \quad (1)$$

Ecuación 4. Calculo del valor de precisión.

Sensibilidad: estima la capacidad del modelo para detectar verdaderos positivos.

$$Sensibilidad = \frac{VP}{VP + FN} 100\% \quad (2)$$

Ecuación 5. Calculo del valor de sensibilidad.

Especificidad: es el porcentaje de personas sanas que se identificaron correctamente como las que no tienen la condición.

$$\text{Especificidad} = \frac{VN}{FP + VN} 100\% \quad (3)$$

Ecuación 6. Calculo del valor de especificidad.

Capacidad predictiva: es el resultado de calcular el área bajo la curva ROC entre los valores de Verdadero Positivo y Falso Positivo correspondientes a los ejes de sensibilidad y especificidad respectivamente.

Se procede con la elaboración de las matrices de confusión para cada criterio establecido en la tabla 13, de tal forma que se permita evaluar el rendimiento de cada clasificador, así tenemos:

Tabla 15

Matriz de confusión del criterio I

		Predicción del Alzheimer	
		Si	No
Alzheimer	Si	61	13
	No	26	30

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16

Matriz de confusión del criterio II

		Predicción del Alzheimer	
		Si	No
Alzheimer	Si	45	13
	No	18	27

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17

Matriz de confusión del criterio III

		Predicción del Alzheimer	
		Si	No
Alzheimer	Si	44	12
	No	15	34

Fuente: elaboración propia.

Tabla 18*Matriz de confusión del criterio IV*

		Predicción del Alzheimer	
		Si	No
Alzheimer	Si	28	21
	No	7	40

Fuente: elaboración propia.

Para la segunda etapa de análisis, es necesario evaluar los clasificadores en términos de precisión, sensibilidad, especificidad y capacidad predictiva, para este soporte se hace uso de una herramienta denominada “curva ROC” (Zweig & Campbell, 1993) que es aplicada en el campo clínico / médico para medir el rendimiento global de una prueba y compararla con las otras pruebas, es decir, evalúa en la matriz de confusión, los criterios que generan una función en la que verifica el área bajo la curva, denominada “característica de funcionamiento del receptor” que permite entender el comportamiento de las características de rendimiento de los clasificadores. Se procede a elaborar la función de la curva ROC correspondiente a la matriz de confusión de cada criterio (tabla 13), obteniendo el siguiente resultado:

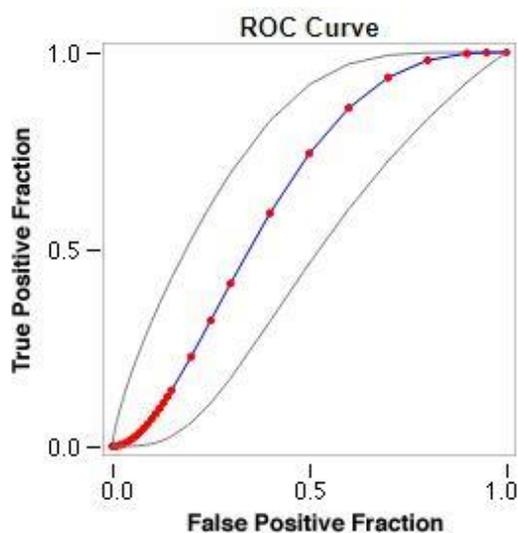


Figura 11. Curva ROC para la matriz de confusión.
Fuente: elaboración propia.

El resultado de la curva ROC (figura 12), muestra todos los posibles valores de umbral del proceso de diagnóstico en cuanto a: precisión, sensibilidad, especificidad y capacidad predictiva; en base a las características.

Tabla 19

Valores de análisis para la curva ROC

<i>Tipo de predictor</i>	<i>Valor del área bajo la curva</i>
ideal (sin superposición)	≤ 1
aleatorio	≤ 0.5

Fuente: elaboración propia.

En base a lo anterior se procede a calcular la eficiencia de cada clasificador (tabla 20), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 20

Eficiencia de los clasificadores

<i>Clasificador</i>	<i>Precisión %</i>	<i>Sensibilidad %</i>	<i>Especificidad %</i>	<i>Capacidad predictiva</i>
Agrupamiento jerárquico	77.59	71.43	67.50	0.6318
Mezclas de modelos gaussianos	78.57	74.58	73.91	0.6795
Agrupación de clústeres k-Means	82.43	70.11	69.77	0.6874

Fuente: elaboración propia.

Se puede determinar que el clasificador agrupamiento jerárquico y mezclas de modelos gaussianos, no son adecuados para el proceso de identificación de las características. En cuanto al clasificador de agrupación de clústeres k-Means con una capacidad predictiva de 0.6874 se puede determinar que el grado de confiabilidad de los resultados esperados será más idóneo al momento de establecer un diagnóstico apropiado. Tomando estos resultados se construyen un árbol de decisión (figura 11) con las reglas para verificar como interactúa durante la toma de decisiones.

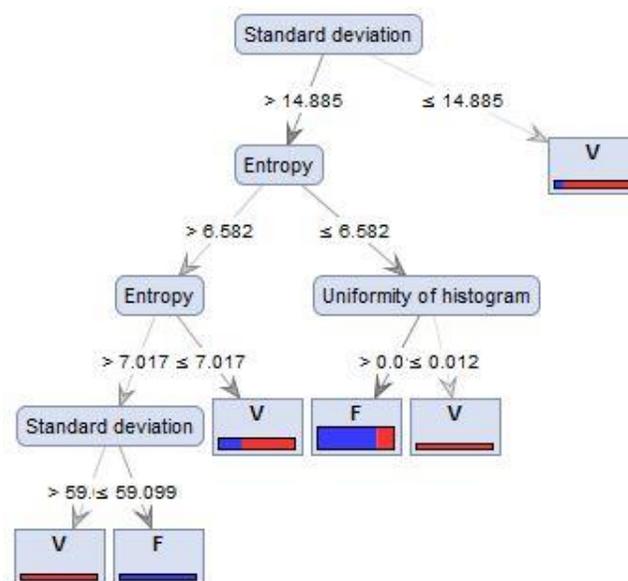


Figura 12. Árbol de decisión.
Fuente: elaboración propia.

El área bajo la curva es 0.6874 y esto contrastado con los valores de análisis de la curva ROC (tabla 16), se puede llegar a una conclusión de que hay una probabilidad del 68.74% de realizar un diagnóstico preciso de los niveles de Alzheimer a un paciente que presente el cuadro clínico, en relación con un paciente sano seleccionado al azar.

Ya establecidos los resultados, el objetivo ahora es mejorar la precisión en el diagnóstico utilizando los datos obtenidos del clasificador agrupación de clústeres k-Means, para determinar la mejor aproximación al área del cerebro utilizando la interpolación de Newton, con la finalidad de obtener un modelo de función matemática, que represente el diagnóstico para cada escenario donde se presentan los niveles de Alzheimer. Una vez obtenidas las funciones definidas, se realiza una comparación entre sí, para determinar el modelo que tiene el menor grado de error en la aproximación al área del cerebro.

3.5 VALIDACIÓN

A. Escenario 1: Análisis de la imagen 130 de la base de datos.

Resultado: “No presenta anomalías en el área del cerebro”.

Modelo A1

Tabla 21

Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 40 pupila y 110 cerebro)

X	R	Y
1	2.4650	121.71024
2	2.5970	27.62916
3	2.5070	0.01167
4	0.2550	-0.27168
5	0.2550	0.01362
6	0.2550	7.62417

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un proceso de interpolación de Newton, con la información de la tabla 21 establecida en el rango de 40 pixeles pupila y 110 pixeles cerebro, así tenemos la ecuación $0.1763x^5 - 2.1296x^4 + 3.3137x^3 + 50.7205x^2 - 242.9609x + 312.5901$ que representa el modelo matemático mostrado en la figura 13:

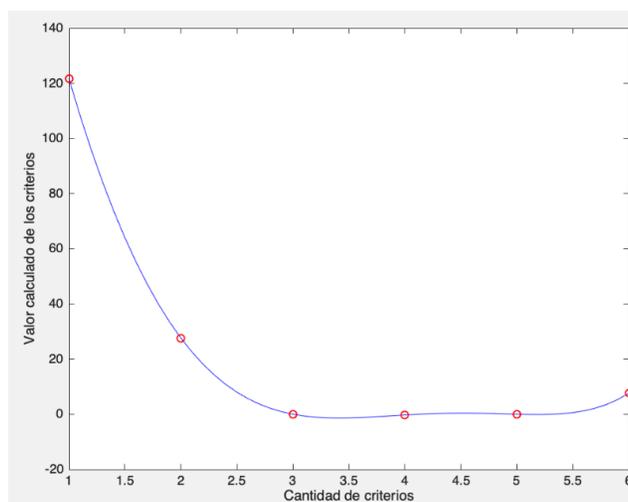


Figura 13. Modelado de la función matemática (40 pixeles pupila y 110 pixeles cerebro).

Fuente: elaboración propia.

Modelo A2

Tabla 22

Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 30 pupila y 100 cerebro)

X	R	Y
1	2.4650	117.76714
2	2.5970	25.86627
3	2.5070	0.01019
4	0.2550	-0.13377
5	0.2550	0.01181
6	0.2550	6.61292

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un proceso de interpolación de Newton, con la información de la tabla 22 establecida en el rango de 30 pixeles pupila y 100 pixeles cerebro, así tenemos la ecuación $0.1389x^5 - 1.4635x^4 - 1.1207x^3 + 63.8267x^2 - 257.8914x + 314.2770$ que representa el modelo matemático mostrado en la figura 14:

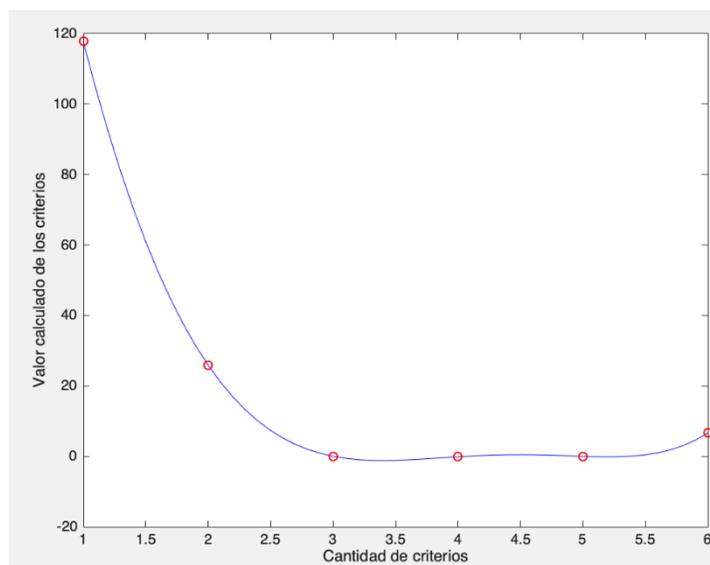


Figura 14. Modelado de la función matemática (30 pixeles pupila y 100 pixeles cerebro).

Fuente: elaboración propia.

Modelo A3

Tabla 23

Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 20 pupila y 90 cerebro)

X	R	Y
1	2.4650	110.71754
2	2.5970	18.76251
3	2.5070	0.01123
4	0.2550	-0.15627
5	0.2550	0.01232
6	0.2550	5.65412

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un proceso de interpolación de Newton, con la información de la tabla 23 establecida en el rango de 30 pixeles pupila y 100 pixeles cerebro, así tenemos la ecuación $-0.1082x^5 + 3.1389x^4 - 33.4579x^3 + 168.6162x^2 - 407.3275x + 379.8560$ que representa el modelo matemático mostrado en la figura 15:

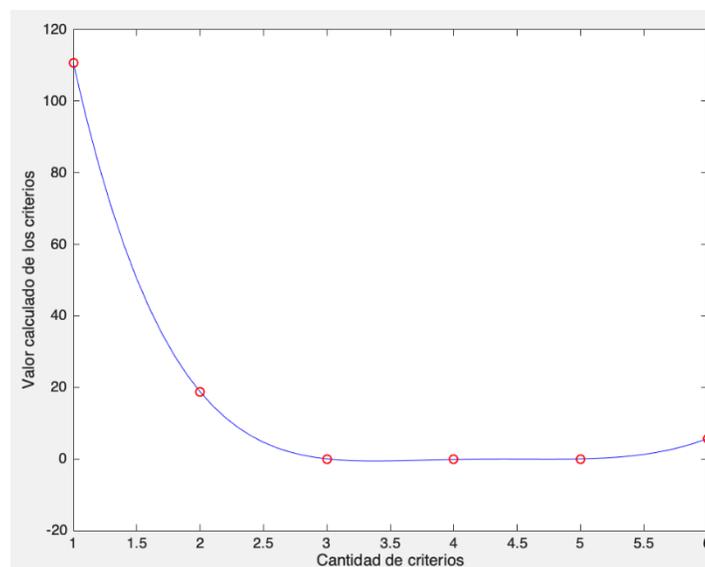


Figura 15. Modelado de la función matemática (20 pixeles pupila y 90 pixeles cerebro).

Fuente: elaboración propia.

Comparación de pares de funciones del escenario 1

Para realizar las pruebas de validación, sobre el grado de exactitud de las funciones que mejor se aproximan al área del cerebro, se propone calcular el valor de error en los intervalos de las funciones por pares del escenario 1, de tal forma que se permita apreciar gráfica y analíticamente los resultados.

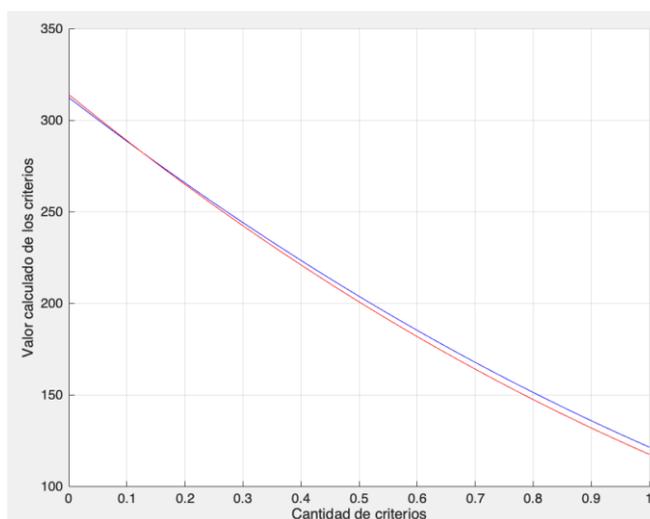


Figura 16. Comparación modelo A1 en rojo; con modelo A2 en azul.
Fuente: elaboración propia.

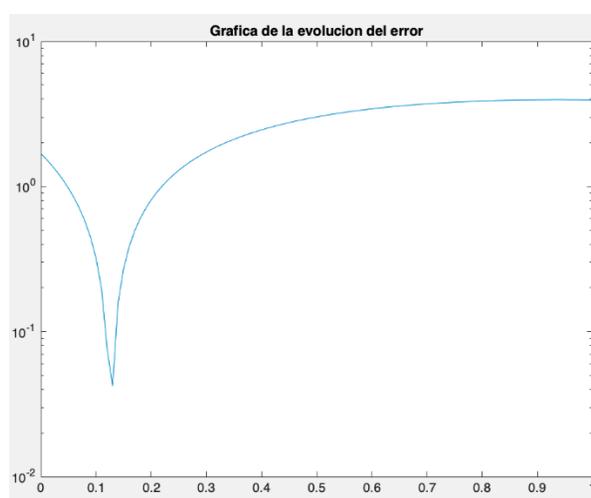


Figura 17. Valor de error entre modelo A1 y modelo A2.
Fuente: elaboración propia.

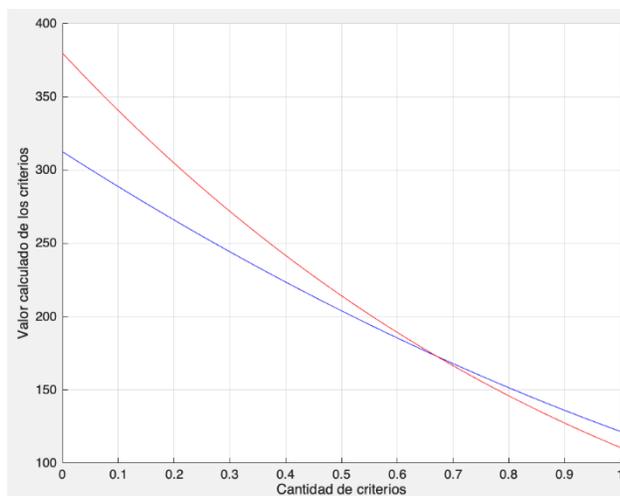


Figura 18. Comparación modelo A1 en rojo; con modelo A3 en azul.
Fuente: elaboración propia.

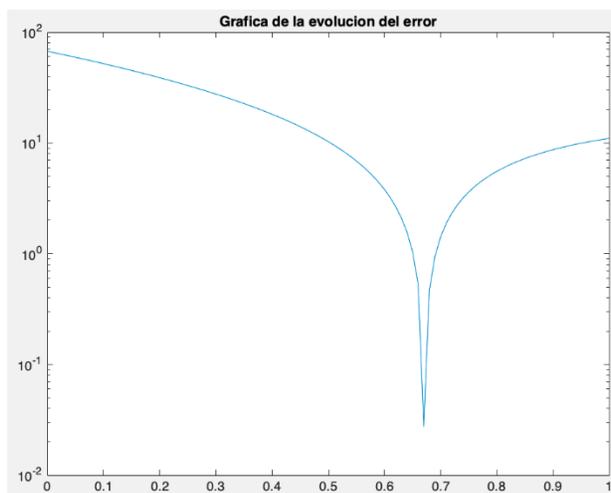


Figura 19. Valor de error entre modelo A1 y modelo A3.
Fuente: elaboración propia.

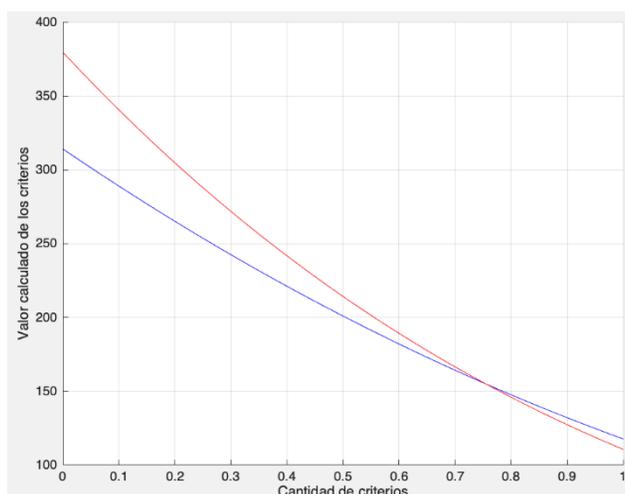


Figura 20. Comparación modelo A2 en rojo; con modelo A3 en azul.
Fuente: elaboración propia.

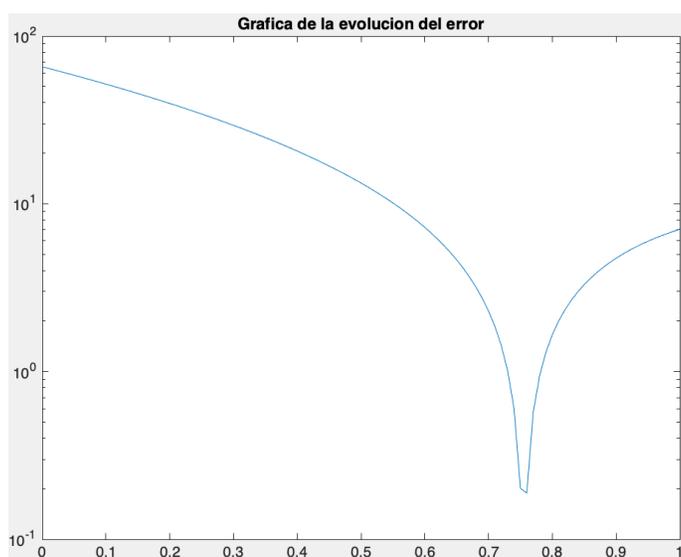


Figura 21. Valor de error entre modelo A2 y modelo A3.
Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la tabla 24 se muestran los resultados de comparación entre los pares de funciones del escenario 1, poniendo énfasis en los valores de error obtenidos en los mismos intervalos (x, y).

Tabla 24

Valores referenciales de comparación entre funciones del escenario 1

Función	Valor del error
Modelo A1 con modelo A2	0.39577
Modelo A1 con modelo A3	1.09926
Modelo A2 con modelo A3	0.70495

Fuente: elaboración propia.

B. Escenario 2: Análisis de la imagen 85 de la base de datos.

Resultado: “Presenta anomalías en el área del cerebro, posible fase leve de la patología”.

Modelo B1

Tabla 25

Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 40 pupila y 110 cerebro)

X	R	Y
1	2.4650	68.86050
2	2.5970	24.59634
3	2.5070	0.00922
4	0.2550	0.01338
5	0.2550	0.01299
6	0.2550	6.49422

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un proceso de interpolación de Newton, con la información de la tabla 25 establecida en el rango de 40 pixeles pupila y 110 pixeles cerebro, así tenemos la ecuación $0.5049x^5 - 8.8035x^4 + 56.0342x^3 - 151.7213x^2 + 135.0609x + 37.7853$ que representa el modelo matemático mostrado en la figura 22:

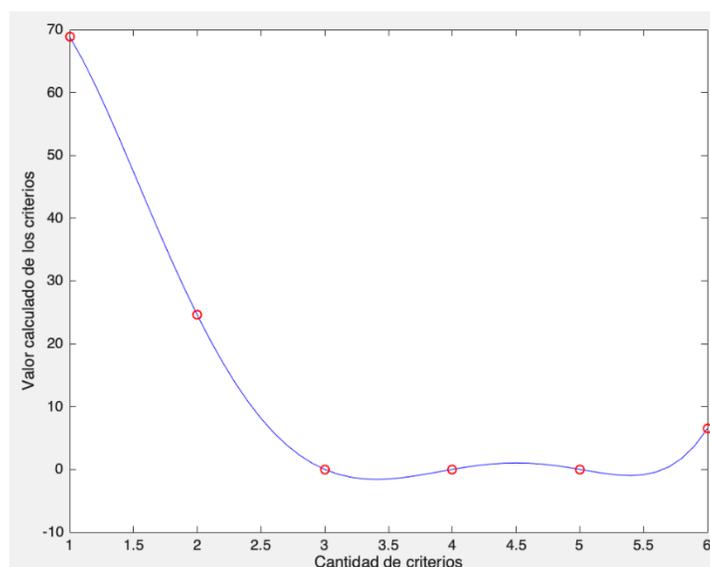


Figura 22. Modelado de la función matemática (40 píxeles pupila y 110 píxeles cerebro).
Fuente: elaboración propia.

Modelo B2

Tabla 26

Aproximación para el área del cerebro (rango píxeles – 30 pupila y 100 cerebro)

X	R	Y
1	2.4650	71.72571
2	2.5970	26.29827
3	2.5070	0.01023
4	0.2550	0.01725
5	0.2550	0.01402
6	0.2550	6.52771

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un proceso de interpolación de Newton, con la información de la tabla 26 establecida en el rango de 30 píxeles pupila y 100 píxeles cerebro, así tenemos la ecuación $0.5524x^5 - 9.6808x^4 + 62.0925x^3 - 170.6834x^2 + 160.0625x + 29.3824$ que representa el modelo matemático mostrado en la figura 23:

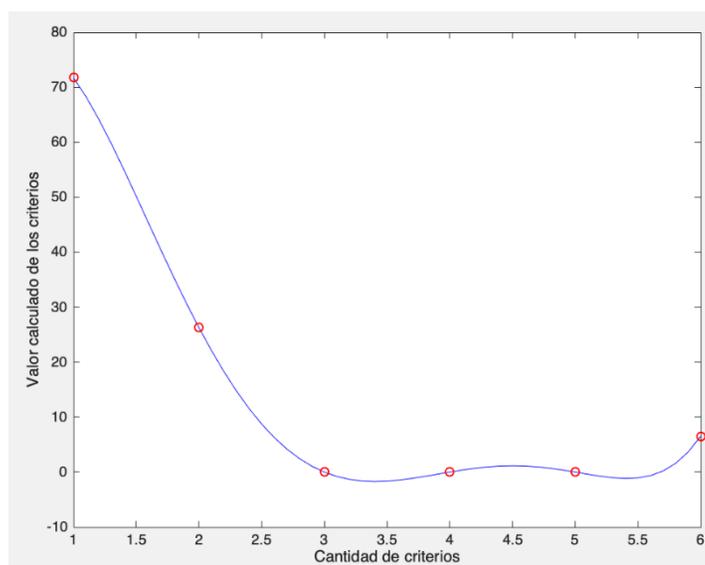


Figura 23. Modelado de la función matemática (30 píxeles pupila y 100 píxeles cerebro).
Fuente: elaboración propia.

Modelo B3

Tabla 27

Aproximación para el área del cerebro (rango píxeles – 20 pupila y 90 cerebro)

X	R	Y
1	2.4650	65.28933
2	2.5970	21.73722
3	2.5070	0.00823
4	0.2550	0.02819
5	0.2550	0.01143
6	0.2550	6.38271

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un proceso de interpolación de Newton, con la información de la tabla 27 establecida en el rango de 30 píxeles pupila y 100 píxeles cerebro, así tenemos la ecuación $0.36647x^5 - 6.0081x^4 + 34.203x^3 - 69.764x^2 - 11.68x + 137.06$ que representa el modelo matemático mostrado en la figura 24:

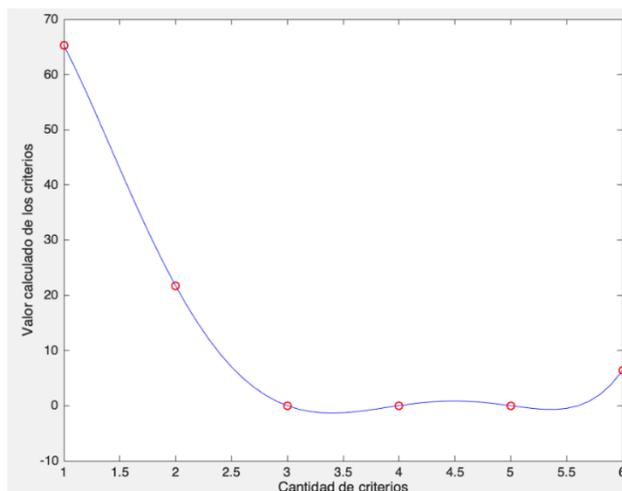


Figura 24. Modelado de la función matemática (20 pixeles pupila y 90 pixeles cerebro).
Fuente: elaboración propia.

Comparación de pares de funciones del escenario 2

De igual manera para realizar las pruebas de validación sobre el grado de exactitud de las funciones que mejor se aproximan al área del cerebro, se propone calcular el valor de error en los intervalos de las funciones por pares del escenario 2, de tal forma que se permita apreciar gráfica y analíticamente los resultados.

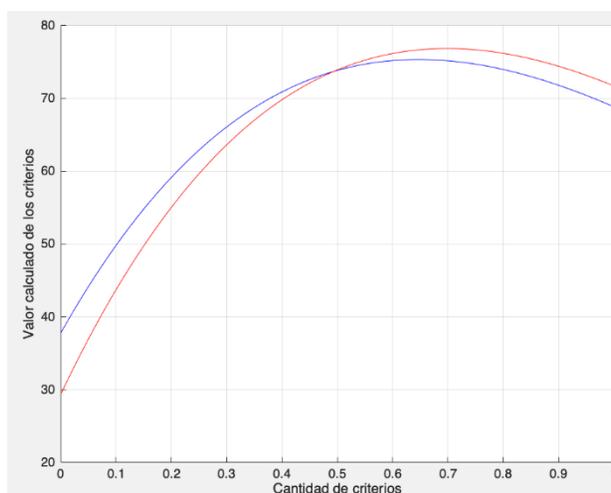


Figura 25. Comparación modelo B1 en rojo; con modelo B2 en azul.
Fuente: elaboración propia.

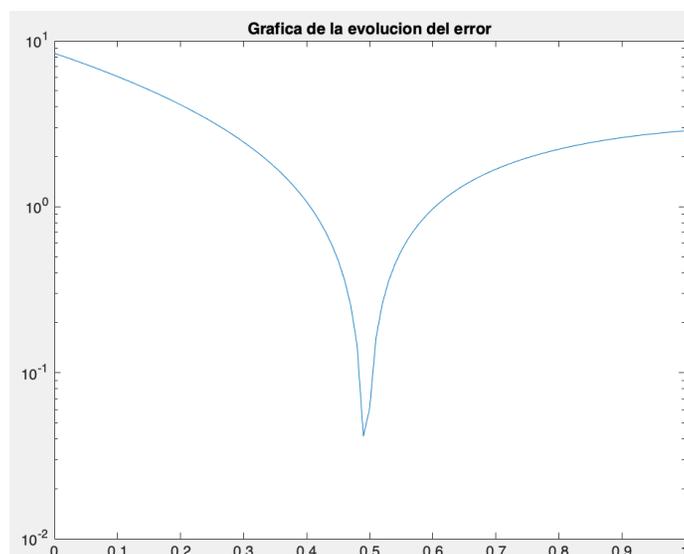


Figura 26. Valor de error entre modelo B1 y modelo B2.
Fuente: elaboración propia.

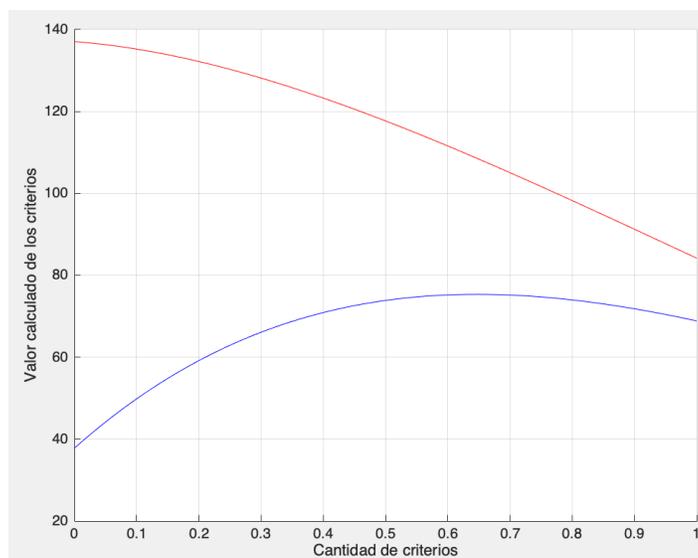


Figura 27. Comparación modelo B1 en rojo; con modelo B3 en azul.
Fuente: elaboración propia.

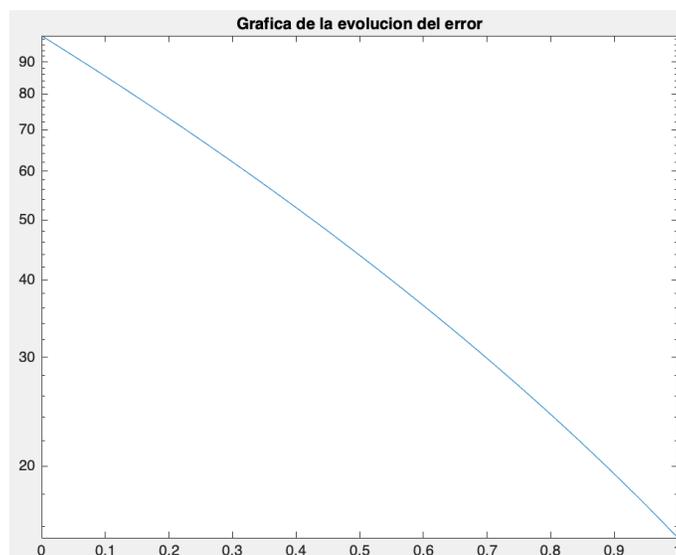


Figura 28. Valor de error entre modelo B1 y modelo B3.
Fuente: elaboración propia.

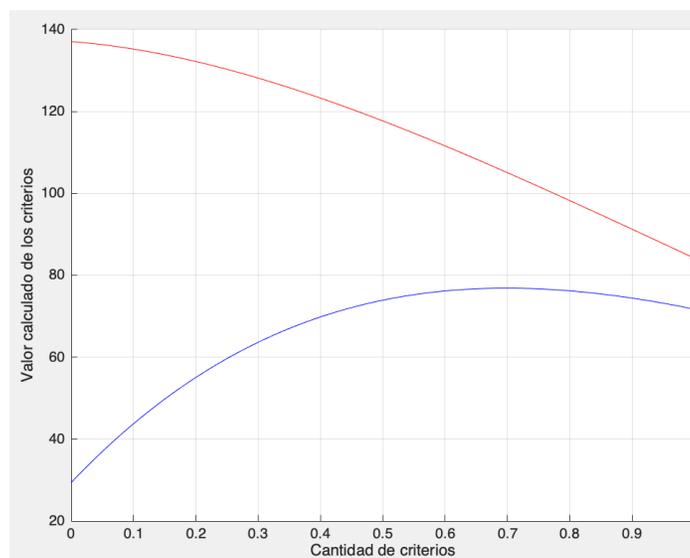


Figura 29. Comparación modelo B2 en rojo; con modelo B3 en azul.
Fuente: elaboración propia.

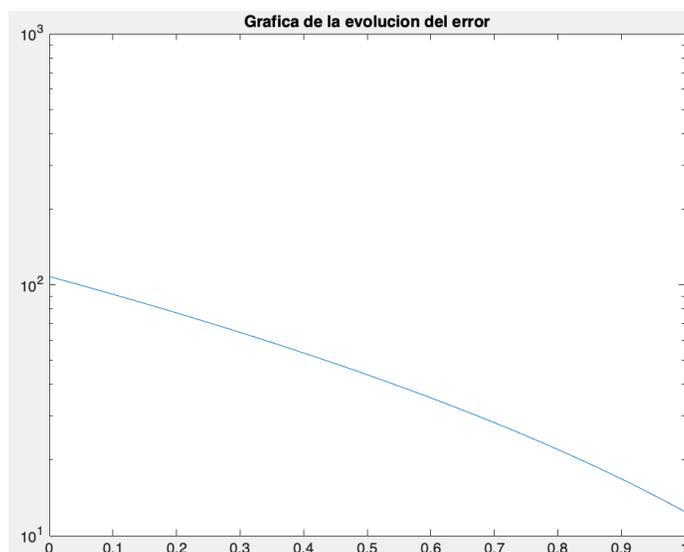


Figura 30. Valor de error entre modelo B2 y modelo B3.
Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la tabla 28 se muestran los resultados de comparación entre los pares de funciones del escenario 2, poniendo énfasis en los valores de error obtenidos en los mismos intervalos (x, y).

Tabla 28

Valores referenciales de comparación entre funciones del escenario 2

<i>Función</i>	<i>Valor del error</i>
Modelo B1 con modelo B2	0.84029
Modelo B1 con modelo B3	1.53169
Modelo B2 con modelo B3	1.24518

Fuente: elaboración propia.

C. Escenario 3: Análisis de la imagen 107 de la base de datos.

Resultado: “Presenta anomalías en el área del cerebro, posible fase moderada de la patología”.

Modelo C1

Tabla 29

Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 40 pupila y 110 cerebro)

X	R	Y
1	2.4650	79.71298
2	2.5970	15.23092
3	2.5070	0.00356
4	0.2550	-0.00533
5	0.2550	0.02223
6	0.2550	5.74882

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un proceso de interpolación de Newton, con la información de la tabla 29 establecida en el rango de 40 pixeles pupila y 110 pixeles cerebro, así tenemos la ecuación $0.0165x^5 + 0.5367x^4 - 12.1187x^3 + 82.4273x^2 - 235.498x + 244.3497$ que representa el modelo matemático mostrado en la figura 31:

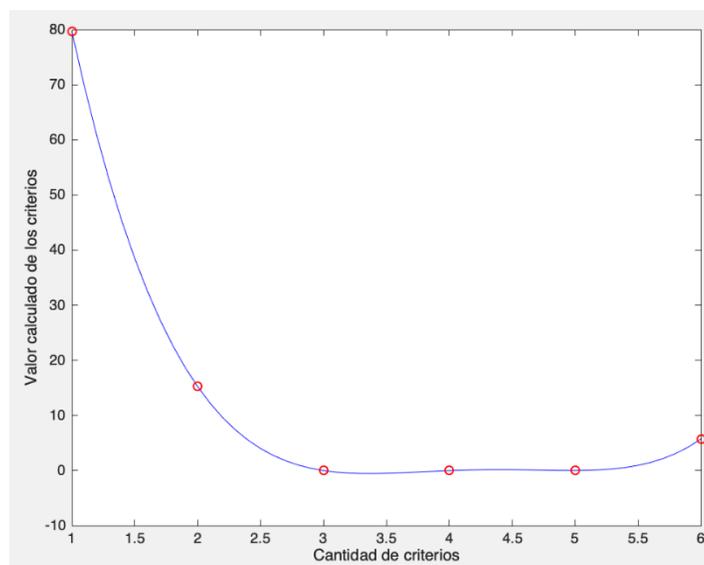


Figura 31. Modelado de la función matemática (40 pixeles pupila y 110 pixeles cerebro).

Fuente: elaboración propia.

Modelo C2

Tabla 30

Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 30 pupila y 100 cerebro)

X	R	Y
1	2.4650	81.82627
2	2.5970	17.32863
3	2.5070	0.00528
4	0.2550	-0.00723
5	0.2550	0.03132
6	0.2550	5.79247

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un proceso de interpolación de Newton, con la información de la tabla 30 establecida en el rango de 30 pixeles pupila y 100 pixeles cerebro, así tenemos la ecuación $0.0860x^5 - 0.7658x^4 - 2.9133x^3 + 52.4666x^2 - 192.6849x + 225.6376$ que representa el modelo matemático mostrado en la figura 32:

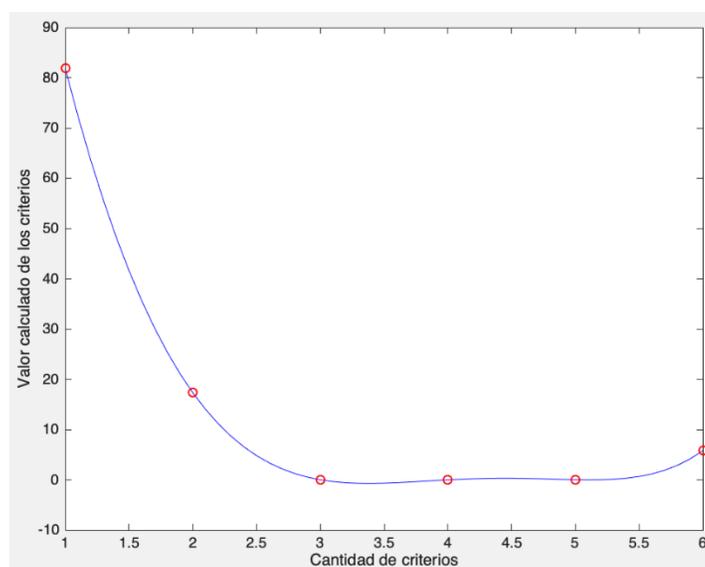


Figura 32. Modelado de la función matemática (30 pixeles pupila y 100 pixeles cerebro).

Fuente: elaboración propia.

Modelo C3

Tabla 31

Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 20 pupila y 90 cerebro)

X	R	Y
1	2.4650	74.51283
2	2.5970	13.18263
3	2.5070	0.00239
4	0.2550	-0.00428
5	0.2550	0.02123
6	0.2550	5.63773

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un proceso de interpolación de Newton, con la información de la tabla 31 establecida en el rango de 30 pixeles pupila y 100 pixeles cerebro, así tenemos la ecuación $-0.0261x^5 + 1.3016x^4 - 17.1477x^3 + 96.772x^2 - 250.3258x + 243.939$ que representa el modelo matemático mostrado en la figura 33:

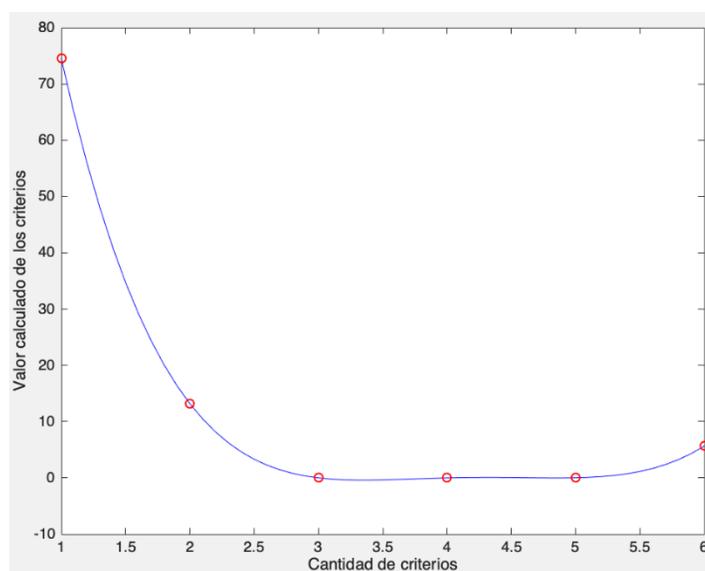


Figura 33. Modelado de la función matemática (20 pixeles pupila y 90 pixeles cerebro).

Fuente: elaboración propia.

Comparación de pares de funciones del escenario 3

De igual manera para realizar las pruebas de validación sobre el grado de exactitud de las funciones que mejor se aproximan al área del cerebro, se propone calcular el valor de error en los intervalos de las funciones por pares del escenario 3, de tal forma que se permita apreciar gráfica y analíticamente los resultados.

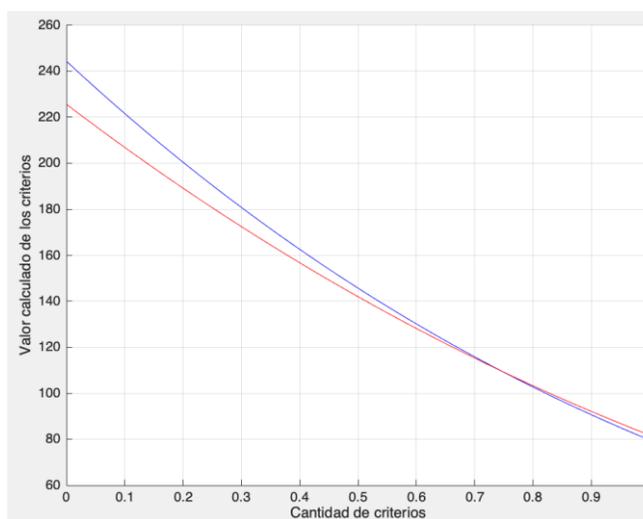


Figura 34. Comparación modelo C1 en rojo; con modelo C2 en azul.
Fuente: elaboración propia.

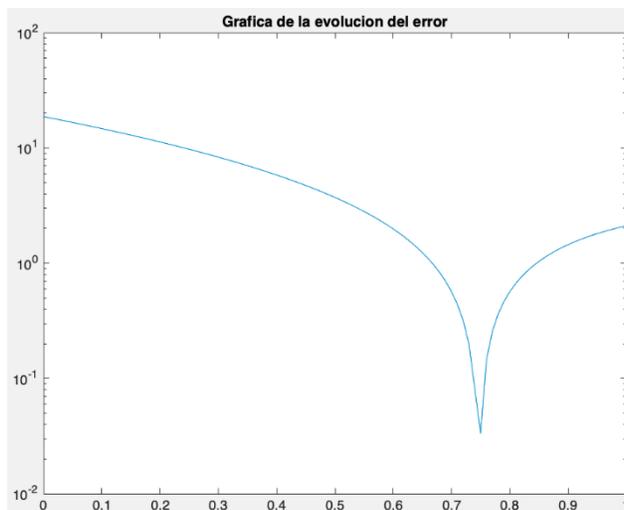


Figura 35. Valor de error entre modelo C1 y modelo C2.
Fuente: elaboración propia.

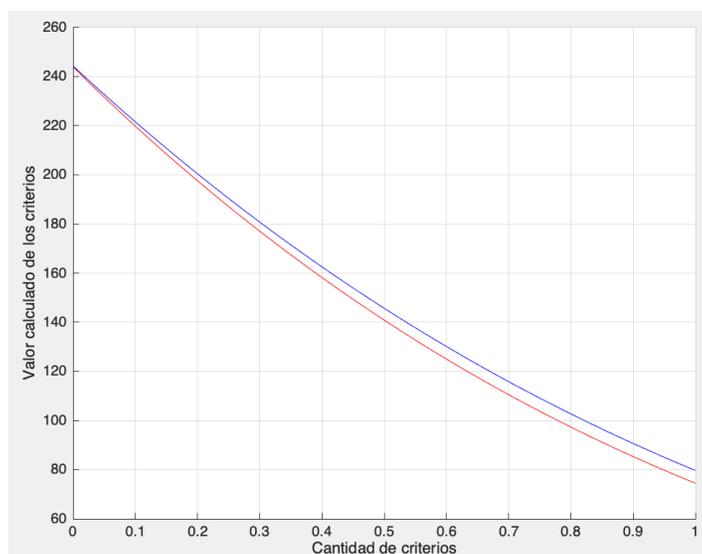


Figura 36. Comparación modelo C1 en rojo; con modelo C3 en azul.
Fuente: elaboración propia.

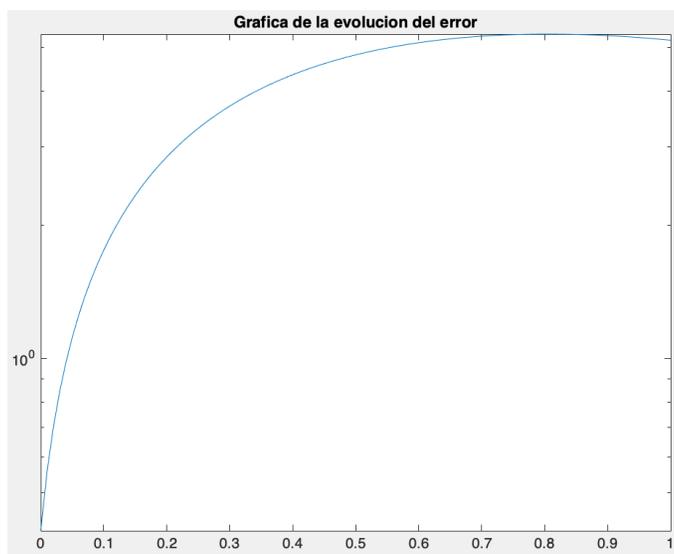


Figura 37. Valor de error entre modelo C1 y modelo C3.
Fuente: elaboración propia.

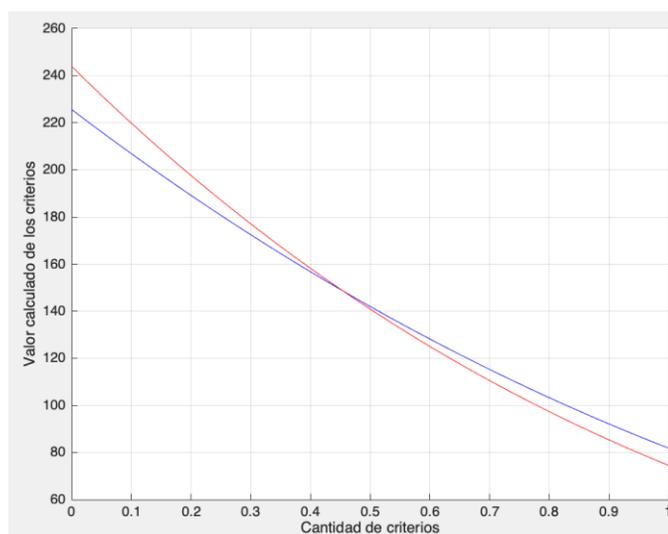


Figura 38. Comparación modelo C2 en rojo; con modelo C3 en azul.
Fuente: elaboración propia.

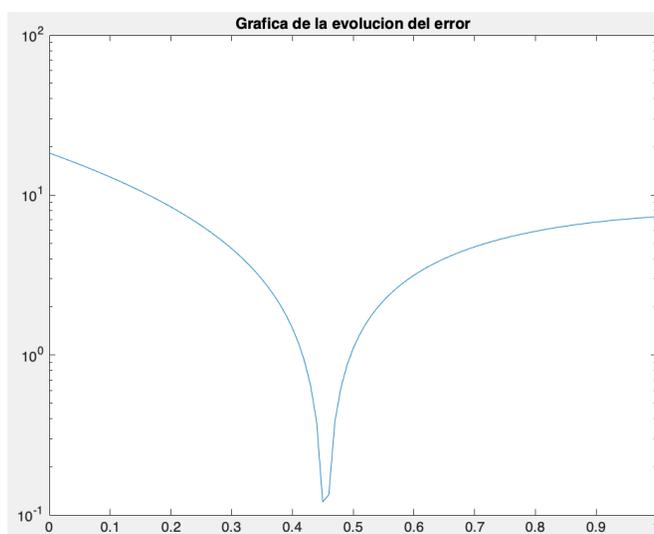


Figura 39. Valor de error entre modelo C2 y modelo C3.
Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la tabla 32 se muestran los resultados de comparación entre los pares de funciones del escenario 3, poniendo énfasis en los valores de error obtenidos en los mismos intervalos (x, y).

Tabla 32

Valores referenciales de comparación entre funciones del escenario 3

Función	Valor del error
Modelo C1 con modelo C2	1.87121
Modelo C1 con modelo C3	0.53673
Modelo C2 con modelo C3	0.73133

Fuente: elaboración propia.

D. Escenario 4: Análisis de la imagen 102 de la base de datos.

Resultado: “Presenta anomalías en el área del cerebro, posible fase grave de la patología”.

Modelo D1

Tabla 33

Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 40 pupila y 110 cerebro)

X	R	Y
1	2.4650	103.89798
2	2.5970	42.31301
3	2.5070	0.02670
4	0.2550	1.02952
5	0.2550	0.00976
6	0.2550	7.08448

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un proceso de interpolación de Newton, con la información de la tabla 33 establecida en el rango de 40 pixeles pupila y 110 pixeles cerebro, así tenemos la ecuación $1.0394x^5 - 18.4789x^4 + 121.225x^3 - 349.277x^2 - 382.631x + 33.242$ que representa el modelo matemático mostrado en la figura 40:

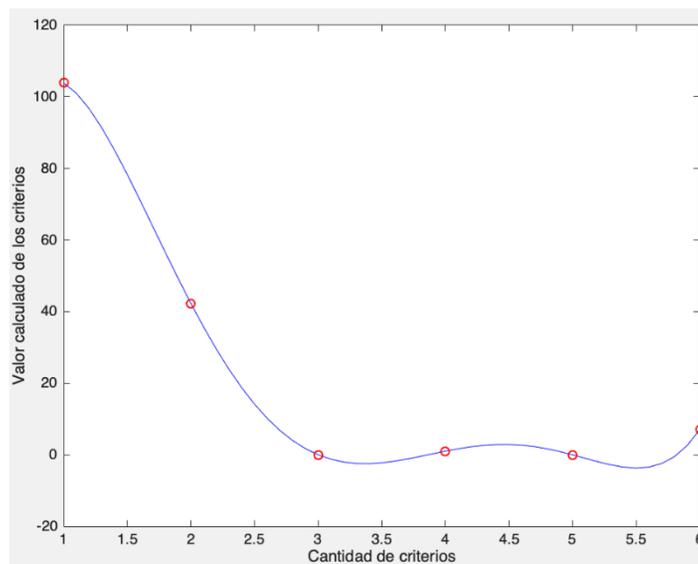


Figura 40. Modelado de la función matemática (40 pixeles pupila y 110 pixeles cerebro).
Fuente: elaboración propia.

Modelo D2

Tabla 34

Aproximación para el área del cerebro (rango pixeles – 30 pupila y 100 cerebro)

X	R	Y
1	2.4650	105.92628
2	2.5970	44.42862
3	2.5070	0.03182
4	0.2550	1.72524
5	0.2550	0.01272
6	0.2550	7.09252

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un proceso de interpolación de Newton, con la información de la tabla 34 establecida en el rango de 30 pixeles pupila y 100 pixeles cerebro, así tenemos la ecuación $1.1681x^5 - 20.7927x^4 + 136.8279x^3 - 397.734x^2 + 449.587x - 63.130$ que representa el modelo matemático mostrado en la figura 41:

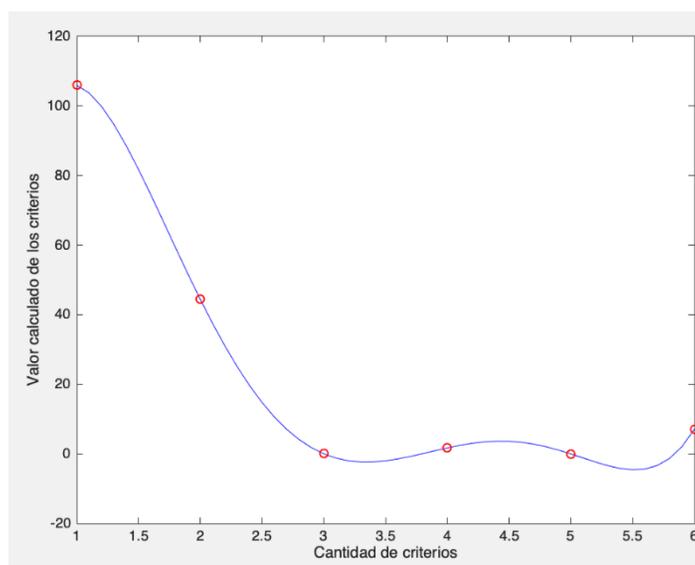


Figura 41. Modelado de la función matemática (30 píxeles pupila y 100 píxeles cerebro).
Fuente: elaboración propia.

Modelo D3

Tabla 35

Aproximación para el área del cerebro (rango píxeles – 20 pupila y 90 cerebro)

X	R	Y
1	2.4650	99.67262
2	2.5970	38.21474
3	2.5070	0.02561
4	0.2550	1.01374
5	0.2550	0.00725
6	0.2550	7.07252

Fuente: elaboración propia.

Se realiza un proceso de interpolación de Newton, con la información de la tabla 35 establecida en el rango de 30 píxeles pupila y 100 píxeles cerebro, así tenemos la ecuación $0.9026x^5 - 15.918x^4 + 103.161x^3 - 290.614x^2 + 299.0496x + 3.0917$ que representa el modelo matemático mostrado en la figura 42:

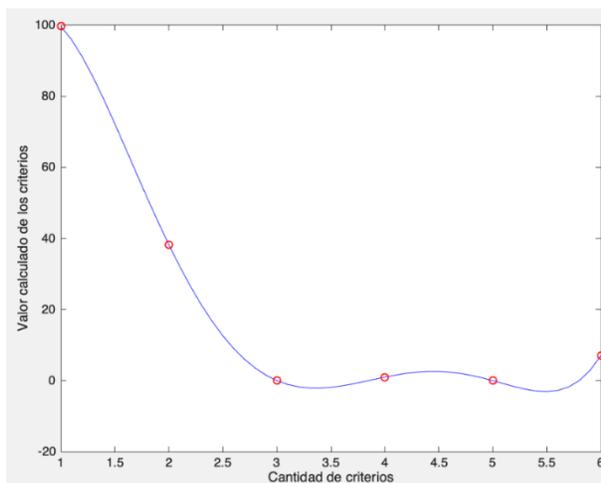


Figura 42. Modelado de la función matemática (20 pixeles pupila y 90 pixeles cerebro).
Fuente: elaboración propia.

Comparación de pares de funciones del escenario 4

De igual manera para realizar las pruebas de validación sobre el grado de exactitud de las funciones que mejor se aproximan al área del cerebro, se propone calcular el valor de error en los intervalos de las funciones por pares del escenario 4, de tal forma que se permita apreciar gráfica y analíticamente los resultados.

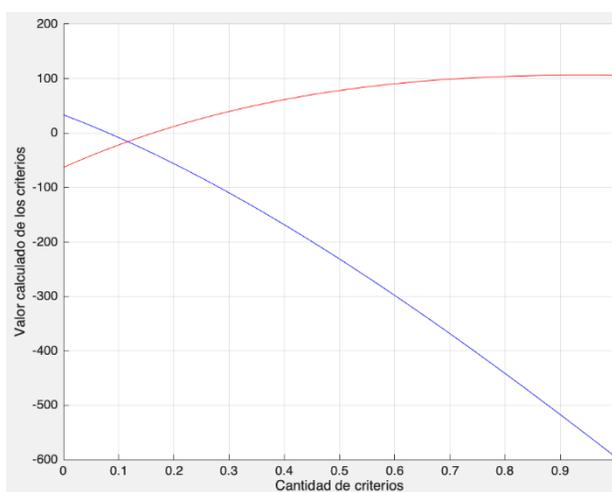


Figura 43. Comparación modelo D1 en rojo; con modelo D2 en azul.
Fuente: elaboración propia.

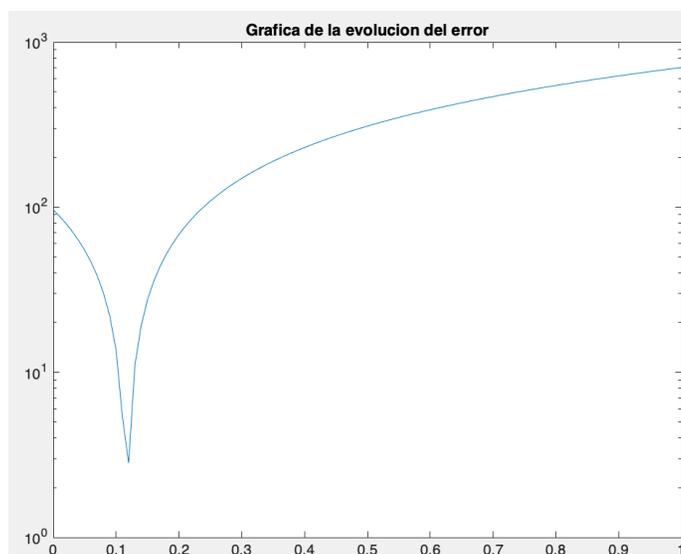


Figura 44. Valor de error entre modelo D1 y modelo D2.
Fuente: elaboración propia.

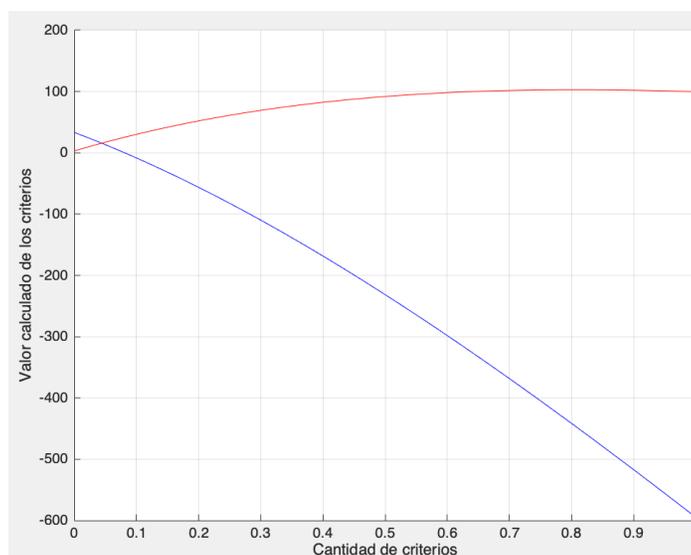


Figura 45. Comparación modelo D1 en rojo; con modelo D3 en azul.
Fuente: elaboración propia.

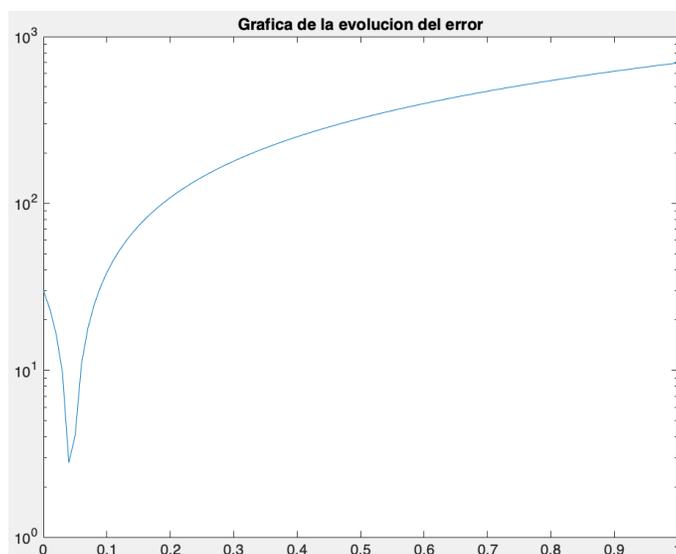


Figura 46. Valor de error entre modelo D1 y modelo D3.
Fuente: elaboración propia.

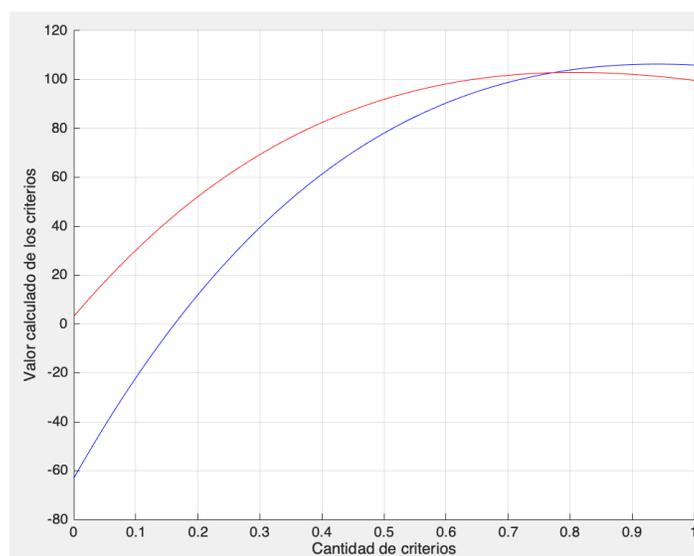


Figura 47. Comparación modelo D2 en rojo; con modelo D3 en azul.
Fuente: elaboración propia.

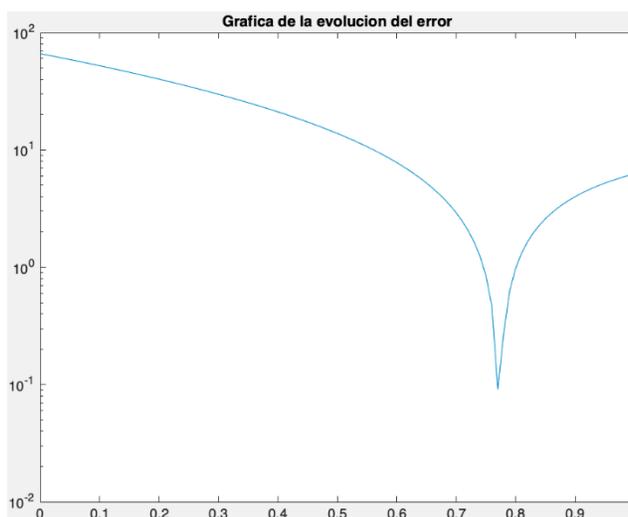


Figura 48. Valor de error entre modelo D2 y modelo D3.
Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la tabla 36 se muestran los resultados de comparación entre los pares de funciones del escenario 4, poniendo énfasis en los valores de error obtenidos en los mismos intervalos (x, y) .

Tabla 36

Valores referenciales de comparación entre funciones del escenario 4

<i>Función</i>	<i>Valor del error</i>
Modelo D1 con modelo D2	9.63719
Modelo D1 con modelo D3	3.01502
Modelo D2 con modelo D3	0.62536

Fuente: elaboración propia.

La media aritmética entre los valores de error de los diferentes escenarios se muestra a continuación (tabla 37):

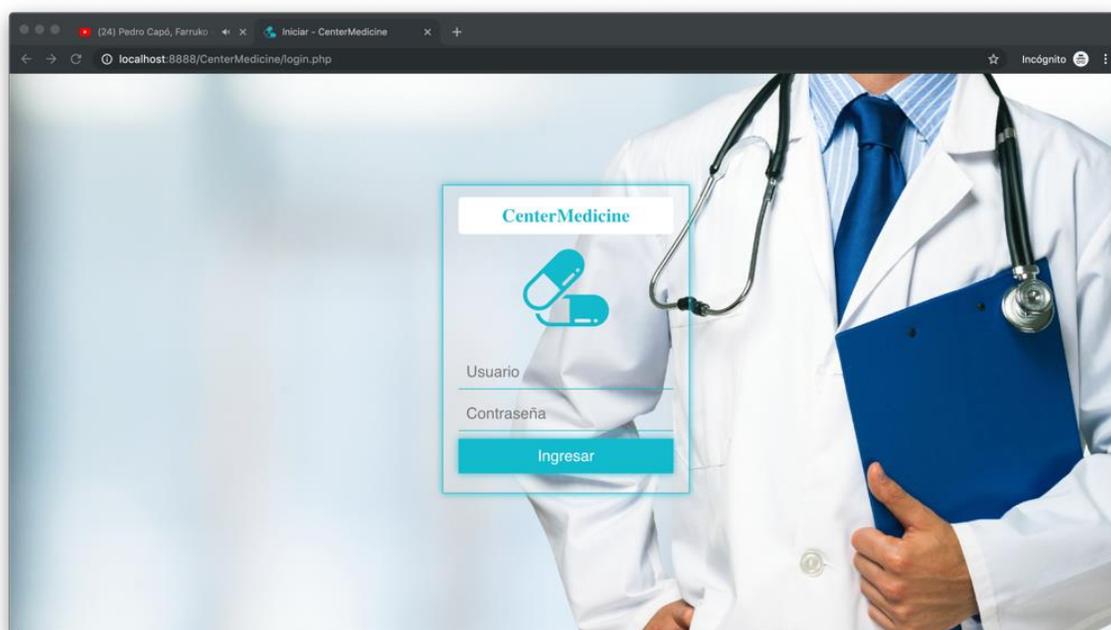
Tabla 37*Valor mínimo de error al área del cerebro*

<i>Rango de pixel promedio a la pupila</i>	<i>Valor promedio del error</i>
20 – 90	3.186115
30 – 100	1.545675
40 – 110	0.826705

Fuente: elaboración propia.

En base a la corrección de la aproximación al área del cerebro se toma como valores de referencia para el rango de la pupila entre 40 – 110 píxeles para el trazado de las curvas y detectar el área que corresponde al cerebro, de tal manera, que se adaptan los cambios al sistema experto para realizar las pruebas con la base de datos de imágenes y validar los resultados.

Resultados de la salida de la interfaz

**Figura 49.** Interfaz de ingreso a la aplicación.

Fuente: elaboración propia.

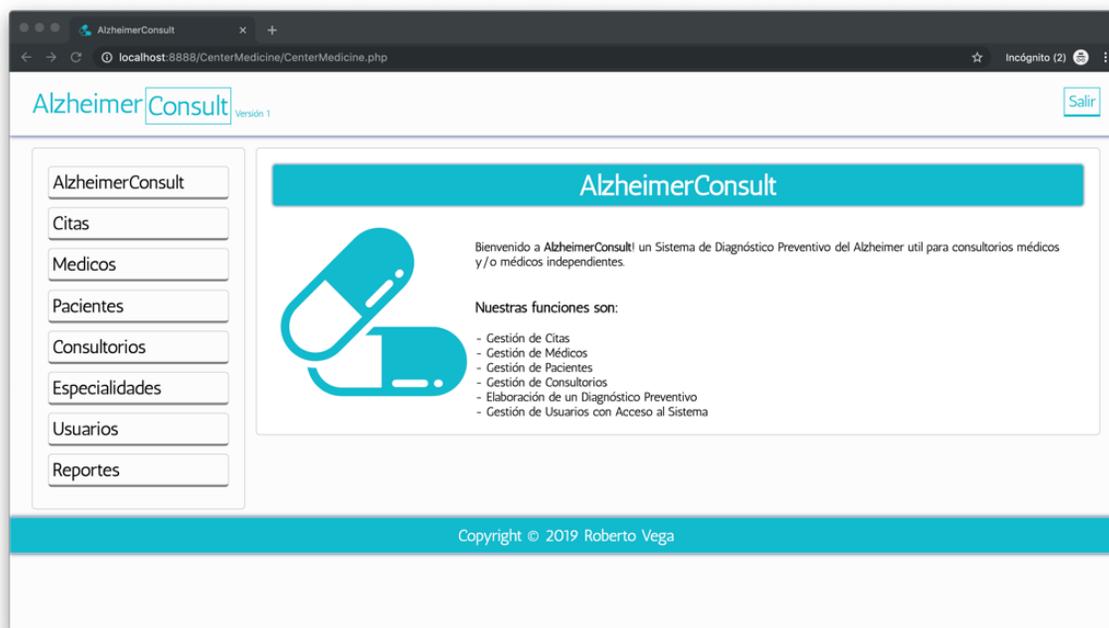


Figura 50. Interfaz principal de la aplicación.
Fuente: elaboración propia.

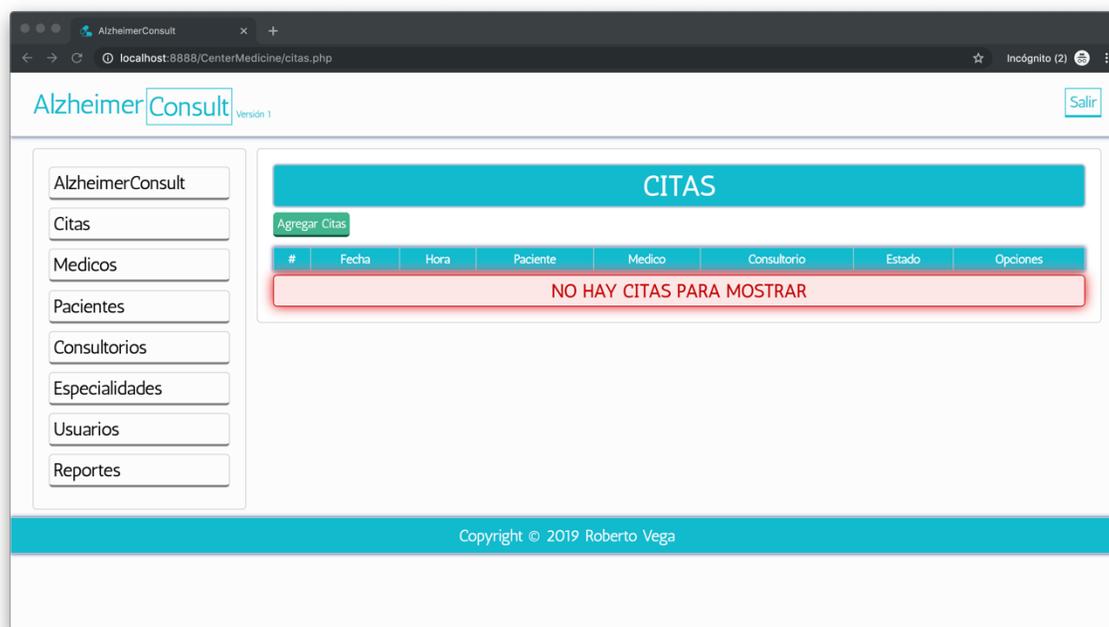


Figura 51. Gestión de citas médicas.
Fuente: elaboración propia.

The screenshot shows the 'MEDICOS' management page in the AlzheimerConsult application. The page features a sidebar with navigation links: AlzheimerConsult, Citas, Medicos, Pacientes, Consultorios, Especialidades, Usuarios, and Reportes. The main content area is titled 'MEDICOS' and includes a green 'Agregar Medico' button. Below this is a table with the following data:

Identificacion	Nombre	Apellidos	Correo	Cargo	Opciones
ASD123	Anthony	Suntaxi	robcapri2@hotmail.es	neurologia	Editar Eliminar
ASD456	Rosalía	Vera	ravera@gmail.com	oftalmologia	Editar Eliminar
ASD987	Alonso Brito	Cantillo 45	abrto@hotmail.com	pediatra	Editar Eliminar

The footer of the page contains the text: Copyright © 2019 Roberto Vega.

Figura 52. Gestión de médicos.
Fuente: elaboración propia.

The screenshot shows the 'PACIENTES' management page in the AlzheimerConsult application. The page features a sidebar with navigation links: AlzheimerConsult, Citas, Medicos, Pacientes, Consultorios, Especialidades, Usuarios, and Reportes. The main content area is titled 'PACIENTES' and includes a green 'Agregar Paciente' button. Below this is a table with the following data:

Identificacion	Nombre	Apellidos	Fecha Nacimiento	Sexo	Opciones
ASD123	pepito	Perez	2019-07-15	Masculino	Editar Eliminar
6	juan	Veles	2019-07-11	Masculino	Editar Eliminar

The footer of the page contains the text: Copyright © 2019 Roberto Vega.

Figura 53. Gestión de pacientes.
Fuente: elaboración propia.

AlzheimerConsult Versión 1

Salir

CONSULTORIOS

Agregar Consultorio

#	Nombre	Opciones
1	Cotocollao	Editar Eliminar
3	Condado	Editar Eliminar

Copyright © 2019 Roberto Vega

Figura 54. Gestión de consultorios.
Fuente: elaboración propia.

AlzheimerConsult Versión 1

Salir

ESPECIALIDADES

Agregar Especialidades

#	Nombre	Opciones
1	oftalmologia	Editar Eliminar
2	neurologia	Editar Eliminar

Copyright © 2019 Roberto Vega

Figura 55. Gestión de especialidades.
Fuente: elaboración propia.

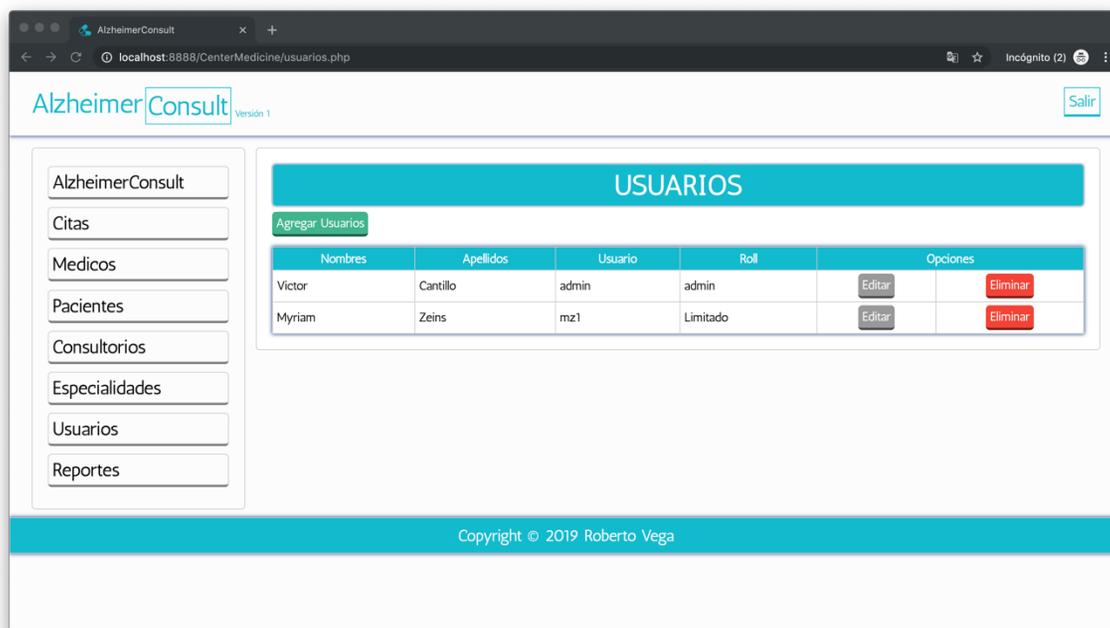


Figura 56. Gestión de usuarios.
Fuente: elaboración propia.

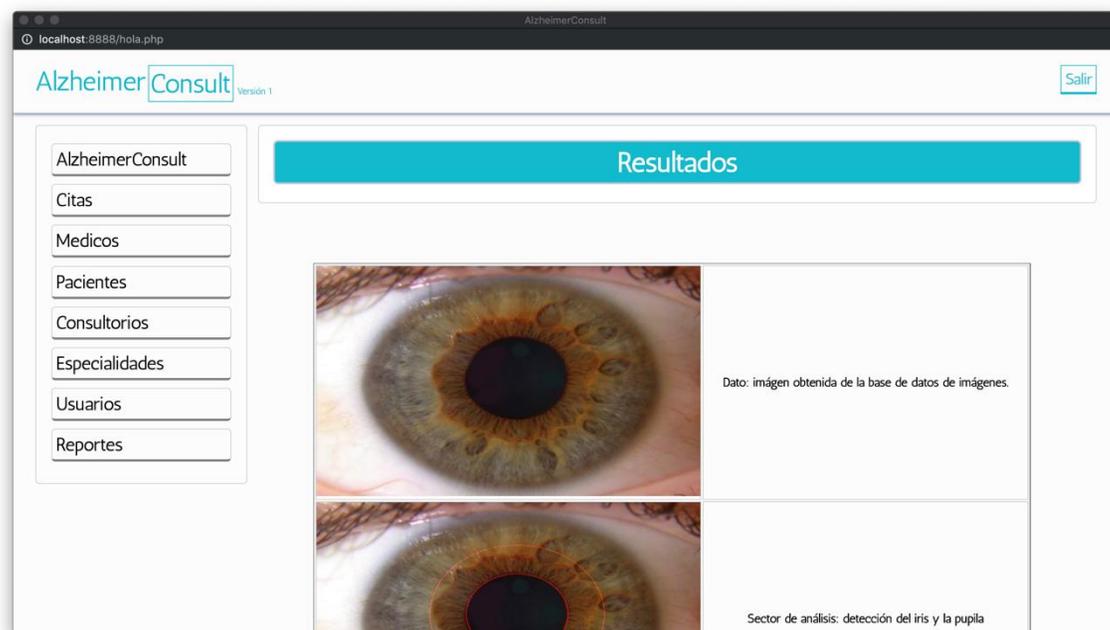


Figura 57. Reporte (parte A).
Fuente: elaboración propia.

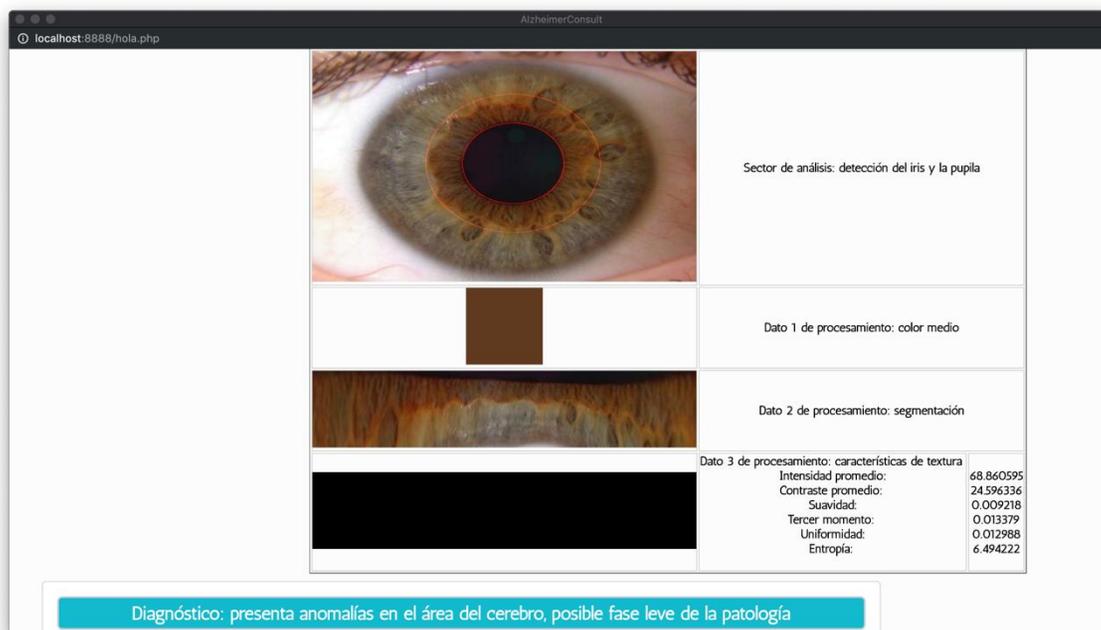


Figura 58. Reporte (parte B).

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Una de las diferencias más significativas entre cada algoritmo de clasificación es el porcentaje de precisión, que puede variar según las características que se implementan en cada uno de ellos.

Para alcanzar una caracterización adecuada de los subtipos de esta patología, se deben usar características más significativas y más relevantes, es decir, un mejor tratamiento específico basado en patrones que puedan presentarse con estas características.

La adecuada extracción de características es proporcional a una adecuada recomendación de la patología en cuestión, se puede lograr con un trabajo exhaustivo de procesamiento de imágenes espaciales.

En el trabajo en cuestión, el clasificador más relevante es agrupación de clústeres k-Means con un 82.43 % de diagnósticos precisos, con un 70,11 % de probabilidad de éxito de que un paciente con esta patología obtenga un diagnóstico con un resultado asertivo y un 69,77 % de un paciente en condiciones óptimas esta patología no lo hace.

Los valores de este estudio permiten tener un mejor panorama de la situación que se está manejando y de las variantes que un futuro podría intervenir para la mejora del algoritmo propuesto.

El uso de herramientas de visión artificial se limita al presente trabajo, ya que no se cuenta estrictamente con datos suficientemente sólidos para su uso.

El aprendizaje supervisado y no supervisado puede ayudar significativamente a la cristalización de un proyecto, los parámetros que se usarán siempre deben ser definidos por un

grupo multidisciplinario donde los especialistas y técnicos del área siempre estén involucrados, de modo que la emisión de resultados siempre tenga un valor significativo.

5.2 RECOMENDACIONES

La diferenciación entre los subtipos de patologías debe investigarse utilizando muestras bien caracterizadas y de mayor tamaño, es decir, los datos de la imagen deben ser más sólidos y con una mejor resolución para evitar influir en los resultados.

Dado que el potencial del análisis de la imagen y la calidad de los datos dependen del ajuste de los criterios y la toma de decisiones al emitir el diagnóstico. Con la experimentación de algoritmos de procesamiento digital, se puede determinar un número infinito de parámetros que pueden ser útiles para cualquier tipo de investigación.

Los valores de error permiten tomar una decisión sobre el modelo y el rango de error permisible y adaptarlo de acuerdo con los criterios de aproximación. Los datos generados por el clasificador predictivo permiten la retroalimentación al proceso de generación de la función que se está modelando.

ANEXOS

ANEXO 1



El Alzheimer es una enfermedad neurodegenerativa. Al principio, los síntomas son leves, pero se vuelven más graves con el tiempo, es así que mejorar la calidad de vida se vuelve más importante a medida que la persona se vuelve menos capaz de vivir de manera independiente. Esta encuesta que tiene como finalidad servir de soporte a los estudios relacionados con la prevención de la enfermedad del Alzheimer.

Su información es muy valiosa para mejorar a futuro la calidad de vida de los demás, responda a continuación las siguientes preguntas:

1	Fotografía	SI	NO
2	Edad	(años)	
3	Sexo	Masculino	Femenino
4	Padece de Alzheimer	SI	NO
5	Padece de Diabetes	SI	NO
6	Tienen antecedentes familiares y genéticos con Alzheimer	SI	NO
7	Sufre de Síndrome de Down	SI	NO
8	Sufre de disminución de la memoria	SI	NO
9	Sufre de traumatismo craneal	SI	NO
10	Sufre de Insomnio	SI	NO
11	Realiza ejercicio físico	SI	NO
12	Estatura	(m / cm)	
13	Peso	(kg / lb)	
14	Fuma	SI	NO
15	Sufre de presión arterial	SI	NO
16	Sufre de colesterol alto	SI	NO
17	Tiene cambios de conducta (depresión, apatía, irritable, agresivo)	SI	NO
18	Sufre de glaucoma	SI	NO
19	Sufre de retinopatía diabética	SI	NO
20	Sufre degeneración macular	SI	NO

Muchas gracias por responder a esta encuesta.

Nota: toda la información recabada es de absoluta confidencialidad y de uso con fines educativos por parte de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Figura 59. Modelo de encuesta realizada para obtención de los criterios del Alzheimer.
Fuente: elaboración propia.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, C. (2015). Iridiología: Análisis de salud a través del iris del ojo | Iriscopio Digital - Iridiología. Retrieved July 25, 2019, from <https://iridoscopio.wordpress.com/2012/06/18/iridiologia-analisis-de-salud-a-traves-del-iris-del-ojo/>
- American Academy of Ophthalmology. (2018). Common eye conditions increase chance of alzheimer's disease diagnosis - american academy of ophthalmology. Retrieved July 25, 2019, from <https://www.aao.org/eye-health/news/common-conditions-increase-chance-of-alzheimers>
- 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>
- Calderón, D., & Villacís, J. (2018). *Modelo de pronósticos para indicadores financieros de cartera en la cooperativa de la Policía Nacional, basado en el uso de las técnicas de Machine Learning*. Retrieved from <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14553/1/T-ESPE-057907.pdf>
- Cataldo, A. (2015). *Design science research, una breve introducción*. Retrieved from https://www.academia.edu/17018084/Design_science_research_una_breve_introducción
- Cerda, J., & Cifuentes, L. (2012). Uso de curvas roc en investigación clínica: Aspectos teórico-prácticos. *Revista Chilena de Infectología*, 29(2), 138–141. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182012000200003>
- Combe, R., & Arrocha, I. (2018). Métodos de interpolación basados en funciones de base radial con aplicaciones a la reconstrucción de imágenes. *KnE Engineering*, 3(1), 563. <https://doi.org/10.18502/keg.v3i1.1460>
- Corso, L. (2016). *Aplicación de algoritmos de clasificación supervisada usando weka*. Retrieved from http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/labsis/Publicaciones/congresos_labsis/cynthia/CNIT_2009_Aplicacion_Algoritmos_Weka.pdf
- Cury, D. B., Oliveira, R., & Cury, M. S. (2019). Inflammatory bowel diseases: time of diagnosis,

- environmental factors, clinical course, and management - a follow-up study in a private inflammatory bowel disease center (2003-2017). *Journal of Inflammation Research*, 12, 127–135. <https://doi.org/10.2147/JIR.S190929>
- Dávila, G. (2014). *El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales*. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/761/76109911.pdf>
- Delgado, L., Cortez, A., & Ibáñez, E. (2016). Aplicación de metodología Buchanan para la construcción de un sistema experto con redes bayesianas para apoyo al diagnóstico de la tetralogía de Fallot en el Perú. *Industrial Data*, 18(1), 135. <https://doi.org/10.15381/idata.v18i1.12076>
- Faundez-Zanuy, M., Hussain, A., Mekyska, J., Sesa-Nogueras, E., Monte-Moreno, E., Esposito, A., ... Lopez-de-Ipiña, K. (2013). Biometric applications related to human beings: there is life beyond security. *Cognitive Computation*, 5(1), 136–151. <https://doi.org/10.1007/s12559-012-9169-9>
- Garci, A. (2017). Iridología – Todo sobre el diagnóstico del iris. Retrieved July 25, 2019, from <http://www.iridologia.es/>
- González, L. (2018). Todo sobre aprendizaje no supervisado en Machine Learning. Retrieved July 25, 2019, from <http://ligdigonzalez.com/todo-sobre-aprendizaje-no-supervisado-en-machine-learning/>
- Google Play. (2019). Usb camera - aplicaciones en Google Play. Retrieved July 25, 2019, from <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tony.usbcamera.molink&hl=es>
- Hermosilla, T., Bermejo, E., Balaguer,) A, & Ruiz, L. A. (2016). *Detección de bordes con precisión subpíxel en imágenes digitales: Interpolación lineal frente a esquemas de tipo no lineal*. Retrieved from http://cgat.webs.upv.es/BigFiles/Charla_Hermosilla_JMA_06.pdf
- Hernandez, F., Vega, R., Tapia, F., Morocho, D., & Fuertes, W. (2018). Early detection of Alzheimer's using digital image processing through iridology, an alternative method. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*. <https://doi.org/10.23919/CISTI.2018.8399151>
- Instituto Espaillat Cabral. (2017). Instituto Espaillat Cabral - Centro Oftalmológico Especializado. Retrieved July 25, 2019, from <https://www.espaillatcabral.com/es/>

- Jensen, B. (1980). *Iridology simplified. 5th ed.* Retrieved from https://books.google.com.ec/books/about/Iridology_Simplified.html?id=VvmoGAAACAAJ&redir_esc=y
- Kitchenham, B. (2007). *Source: Guidelines for performing Systematic literature reviews in SE, Kitchenham et al guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering.* Retrieved from <https://userpages.uni-koblenz.de/~laemmel/esecourse/slides/slr.pdf>
- Llangarí, F. (2016). *Análisis comparativo de la productividad de metodologías commonkads vs buchanan para el desarrollo de un sistema experto de gestión de cultivos para la jurech.* Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6265/1/18T00660.pdf>
- MathWorks. (2019). Matlab - MathWorks - Simulink. Retrieved July 25, 2019, from <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- 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>
- Microsystem. (2019). RapidMiner, sistemas de minería de datos, software de minería de datos. Retrieved July 25, 2019, from <https://www.microsystem.cl/plataforma/rapidminer/>
- Moraga, J. (2012). *Manual para la práctica de la iridología.* Retrieved from <https://www.casadellibro.com/libro-manual-para-la-practica-de-la-iridologia/9788483527634/2078122>
- Naturísima. (2017). ¿Qué es la iridología? Retrieved July 25, 2019, from <https://www.naturisima.org/que-es-la-iridologia>
- Pan American Health Organization (PAHO). (2019). OPS/OMS - Inicio. Retrieved July 25, 2019, from <https://www.paho.org/hq/index.php?lang=es>
- Perner, P. (2014). *Image acquisition and detection of the iris for iridology.* Retrieved from www.ibai-institut.de
- Plan V. (2019). Alzheimer, una enfermedad olvidada en Ecuador | Plan V. Retrieved July 25, 2019, from <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/alzheimer-una-enfermedad-olvidada-ecuador>

- Ravuri, M., Kannan, A., Tso, G. J., & Amatriain, X. (2018). Learning from the experts: From expert systems to machine-learned diagnosis models. In *Proceedings of Machine Learning Research* (Vol. 85). Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/1804.08033.pdf>
- Rosenberg, A., & Kagan, J. (1987). Iris pigmentation and behavioral inhibition. *Developmental Psychobiology*, 20(4), 377–392. <https://doi.org/10.1002/dev.420200403>
- Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación*. Retrieved from https://metodoinvestigacion.files.wordpress.com/2008/02/el-proceso-de-investigacion_carlos-sabino.pdf
- Salud180. (2017). Salud180. Retrieved July 25, 2019, from <https://www.salud180.com/salud-dia-dia/iridologia-como-alternativa-de-diagnostic>
- Sharma, N., Bajpai, A., & Litoriya, M. R. (2012). *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Comparison the various clustering algorithms of weka tools* (Vol. 2). Retrieved from www.ijetae.com
- TASE, T. con A. S. y E.-. (2011). Fundación-tase. Retrieved July 25, 2019, from <https://www.fundaciontase.org/quienes-somos>
- The University Waiko. (1992). Weka 3 , data mining with open source machine learning software in java. Retrieved July 25, 2019, from <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>
- Think Big. (2017). Los 2 tipos de aprendizaje en Machine Learning: supervisado y no supervisado. Retrieved July 25, 2019, from <https://empresas.blogthinkbig.com/que-algoritmo-elegir-en-ml-aprendizaje/>
- Tsai, C.-F., Hsu, Y.-F., Lin, C.-Y., & Lin, W.-Y. (2009). Intrusion detection by machine learning: A review. *Expert Systems with Applications*, 36(10), 11994–12000. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2009.05.029>
- Yakirevich, E., & Resnick, M. B. (2013). Pathology of Gastric Cancer and Its Precursor Lesions. *Gastroenterology Clinics of North America*, 42(2), 261–284. <https://doi.org/10.1016/J.GTC.2013.01.004>
- Yusleidy, G., Eduardo, M., & Oscar, R. (2017). *Filtrado digital en el procesamiento de imágenes empleando matlab*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/308787583_FILTRADO_DIGITAL_EN_EL_PROCESAMIENTO_DE_IMAGENES_EMPLEANDO_MATLAB

Zweig, M. H., & Campbell, G. (1993). Receiver-operating characteristic (ROC) plots: a fundamental evaluation tool in clinical medicine. *Clinical Chemistry*, 39(4), 561–577.
Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8472349>