

**MAGI: SISTEMA BASADO EN TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y  
DE TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES PARA LA DETECCIÓN DE  
TUMORES CEREBRALES.**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
BUCARAMANGA**

**2011**



**MAGI: SISTEMA BASADO EN TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y DE TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES PARA LA DETECCIÓN DE TUMORES CEREBRALES.**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS**

**AUTORES:**

**ADONAY MANTILLA MENDEZ**

**JUAN SEBASTIAN VEGA ARANGO**

**DIRECTOR:**

**M.I.I.C.C. VÍCTOR EDUARDO MARTÍNEZ ABAUNZA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
BUCARAMANGA**

**2011**

***A Dios, por darme la oportunidad de recorrer este camino.***

***A mi madre María Doris por estar siempre ahí dándome ánimo para  
nunca rendirme en lo que me propongo.***

***A mi padre Adonay por siempre hacerme ver la realidad de las cosas y  
con sus actos motivarme a salir adelante.***

***A mis hermanos, Marta y Yesid, porque siempre han sido un ejemplo a  
seguir, un apoyo con quienes contar y una meta que superar.***

***A mis amigos con quienes se compartió muy buenos momentos en el  
desarrollo de la carrera.***

***Y a todos aquellos que hicieron parte de mi vida en el desarrollo de  
tal sueño y me brindaron su apoyo.***

***Adonay Mantilla Méndez***

***A Dios por ser mi guía en todo momento.***

***A mi madre Patricia por apoyarme sin importar la dificultad.***

***A mi padre Luis Jaime porque me enseñó cual es el verdadero sentido  
de ser profesional.***

***A mis hermanos José Luis y María del Pilar que han sido mi soporte a  
lo largo de la carrera.***

***A mis amigos porque siempre me dieron el consejo indicado.***

***A mi abuelo Jorge que esta desde el cielo siguiendo mis pasos.***

***Juan Sebastián Vega Arango***

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del proyecto desean expresar sus más sinceros agradecimientos a:

Al profesor **Víctor Eduardo Martínez** , director de este proyecto, quien siempre se ha interesado por el desarrollo de proyectos que ayuden al sector salud; quien se arriesgó con nuestra idea y confió en nuestras capacidades, brindándonos sus conocimientos y orientación a lo largo de la realización del presente trabajo.

Al **Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB)**, por colaborarnos en el desarrollo de nuestros conocimientos en el campo de la medicina y brindarnos ese apoyo a la investigación.

A todos y cada uno de los compañeros de carrera quienes nos brindaron su amistad y confianza y que día a día nos alentaron a seguir adelante y cumplir nuestros sueños.

A la **UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER** por brindarnos los medios necesarios para llegar a ser profesionales.

Finalmente a la escuela de Ingeniería de Sistemas. Por acogernos y dotarnos de conocimiento y sabiduría formándonos como seres humanos íntegros.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	20
1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	22
1.1 OBJETIVOS.....	24
1.1.1 Objetivo general.....	24
1.1.2 Objetivos específicos .....	24
1.2 JUSTIFICACION .....	25
2. MARCO TEORICO.....	27
2.1 TUMOR CEREBRAL .....	27
2.1.1 Sintomatología.....	28
2.1.2 Detección del Tumor Cerebral.....	29
2.1.3 Diagnóstico.....	31
2.2 TIPOS DE TUMORES CEREBRALES .....	32
2.3 CLASIFICACION .....	36
2.3.1 Clasificación histología de los tumores.....	36
2.4 IMÁGENES MÉDICAS.....	36
2.4.1 Tomografía axial computarizada.....	37
2.4.2 Resonancia magnética .....	37
2.4.2.1 Funcionamiento .....	38
2.5 TECNICAS MATEMATICAS PARA EL TRATAMIENTO DE IMÁGENES .....	38
2.5.1 Segmentación de Imágenes Médicas.....	39
2.5.1.1 Umbralización .....	40
2.6 RED NEURONAL ARTIFICIAL .....	41
2.6.1 Funcionamiento .....	41
2.7 MATLAB.....	41
2.8 JAVA .....	42
3. METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL PROYECTO .....	44
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EN ESPIRAL.....	44
3.1.1 Fases de la metodología según el desarrollo del proyecto.....	45
3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS ÁGILES .....	46
3.2.1 Prácticas ágiles implementadas en el desarrollo del proyecto.....	46

3.3 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA (Matlab .....	48
3.3.1 Etapa de análisis.....	48
3.3.2 Etapa de diseño.....	48
3.3.3 Implementación .....	49
3.4 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA (Java).....	50
3.4.1 Etapa de análisis.....	50
3.4.2 Etapa de diseño.....	50
3.4.3 ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN .....	51
4. DESARROLLO .....	53
4.1 DESARROLLO MATLAB .....	53
4.2 DESARROLLO DEL ALGORITMO DE TRATAMIENTO DIGITAL DE .....	54
4.2.1 Adquisición de las Imágenes .....	54
4.2.2 Representación de las Imágenes .....	54
4.2.3 Filtrado de las Imágenes .....	55
4.2.4 Binarización de las imágenes .....	56
4.2.5 Umbralización de las Imágenes .....	57
4.2.5.1 Método triangular.....	57
4.2.5.2 Optimización del método triangular.....	58
4.2.6 Segmentación de las Imágenes.....	59
4.2.6.1 Criterio de segmentación por proporcionalidad de área total de la imagen .....	60
4.2.6.2 Criterio de segmentación por relación de objetos en la imagen.....	60
4.2.6.3 Criterio de forma y tamaño .....	62
4.2.6.3.1 Criterio de circularidad .....	62
4.2.6.3.2 Autoajuste del error.....	63
4.2.6.4 Proceso de retroceso .....	64
4.2.7 Extracción de Elementos de la Imagen .....	64
4.2.8 Registro .....	66
4.3 DESARROLLO DE LA RED NEURONAL (MELCHOR-GASPAR.....	67
4.3.1 DISEÑO DE LA RED NEURONAL.....	67
4.3.1.1 DEFINICIÓN DEL VECTOR DE ENTRADA .....	67
4.3.1.2 DEFINICION DE LA SALIDA.....	68
4.3.1.3 ARQUITECTURA DE LA RED NEURONAL.....	68

4.3.2 SELECCION DE IMAGENES DE ENTRENAMIENTO.....	69
4.3.3 NORMALIZACION DE LOS DATOS DE ENTRADA DE LA RED .....	73
4.3.4 ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL.....	74
4.3.5 SIMULACION DE LA RED NEURONAL .....	76
4.3.5.1 MELCHOR .....	77
4.3.5.2 GASPAR .....	78
4.4 DESARROLLO JAVA .....	79
4.4.1 MÓDULO DE CAPTURA DE IMÁGENES.....	79
4.4.1.1 Descripción del Módulo Captura de Imágenes.....	80
4.4.1.2 Diagrama de Casos de Uso.....	80
4.4.2 MÓDULO DE ANÁLISIS .....	83
4.4.2.1 Descripción del Módulo de Análisis.....	83
4.4.2.2 Diagrama de Casos de Uso.....	83
4.4.3 MODULO DE REGISTRO Y RESULTADOS.....	89
4.4.3.1 Descripción del Módulo de Registro y Resultados.....	89
4.4.3.2 Diagrama de Casos de Uso.....	90
5. RESULTADOS .....	94
5.1 RESULTADOS DEL SISTEMA .....	94
5.1.1 RESULTADOS RED NEURONAL “MELCHOR” (IDENTIFICACIÓN DEL .....	94
5.1.2 REULTADOS RED NEURONAL “GASPAR” (VERIFICACION DE LA .....	97
5.1.3 RESULTADOS DEL ALGORITMO DE TRATAMIENTO DIGITAL DE .....	100
CONCLUSIONES.....	104
RECOMENDACIONES.....	106
BIBLIOGRAFIA.....	107
ANEXOS .....	109

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Características Histológicas de los Tumores .	35
<b>Tabla 2.</b> Caso de Uso Verificar datos del Paciente.	81
<b>Tabla 3.</b> Caso de Uso Cargar Imágenes al Sistema.	81
<b>Tabla 4.</b> Caso de Uso Ejecutar el Proceso de Detección.	82
<b>Tabla 5.</b> Caso de Uso Guardar en la Base de Datos.	82
<b>Tabla 6.</b> Caso de Uso Verificar datos del paciente.	84
<b>Tabla 7.</b> Caso de Uso Buscar las imágenes del paciente.	85
<b>Tabla 8.</b> Caso de Uso Analizar las imágenes y emitir el diagnóstico.	86
<b>Tabla 9.</b> Caso de Uso Guardar el diagnóstico en el historial .	86
<b>Tabla 10.</b> Caso de Uso Cargar imágenes al sistema.	87
<b>Tabla 11.</b> Caso de Uso Verificar resultados.	89
<b>Tabla 12.</b> Caso de Uso Buscar Paciente.	91
<b>Tabla 13.</b> Caso de Uso Registrar Un Nuevo Paciente.	92
<b>Tabla 14.</b> Caso de Uso Entregar el Diagnostico al Paciente.	92
<b>Tabla 15.</b> Caso de Uso Agregar, Modificar y Eliminar Usuarios.	93
<b>Tabla 16.</b> Formato de resultados.	101

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Tomografía Axial De un Cerebro sano.	28
<b>Figura 2.</b> Partes del Cerebro Humano.	28
<b>Figura 3.</b> Práctica de una resonancia magnética de 3 teslas.	28
<b>Figura 4.</b> Imagen de RM de glioblastoma multiforme.	31
<b>Figura 5.</b> Tipos de tumores cerebrales primarios.	32
<b>Figura 6.</b> Origen de los tumores cerebrales metastásicos.	32
<b>Figura 7.</b> Tipos de tumores cerebrales secundarios o metastásicos.	33
<b>Figura 8.</b> Meningioma.	33
<b>Figura 9.</b> Astrocitomas.	33
<b>Figura 10.</b> Glioma de Tronco.	34
<b>Figura 11.</b> Ependimomas.	34
<b>Figura 12.</b> Medublastomas.	34
<b>Figura 13.</b> Craneofaringioma.	35
<b>Figura 14.</b> Modelo en espiral.	44
<b>Figura 15.</b> Metodología del desarrollo de software ágil.	46
<b>Figura 16.</b> Motor del sistema.	53
<b>Figura 17.</b> Tomografía Axial Computarizada.	55
<b>Figura 18.</b> Imagen sin Filtro.	55
<b>Figura 19.</b> Imagen Filtrada.	56
<b>Figura 20.</b> Imagen Filtrada y Binarizada.	56
<b>Figura 21.</b> Imagen Umbralizada mediante el método Triangular.	57
<b>Figura 22.</b> Histograma de una tomografía.	58
<b>Figura 23.</b> Expresión para hallar el promedio de dos puntos.	58
<b>Figura 24.</b> Sub-procesos del sistema.	59
<b>Figura 25.</b> Resultado del primer criterio.	60
<b>Figura 26.</b> Imágenes generadas por el segundo criterio.	61
<b>Figura 27.</b> Vector binario y vector de errores.	62
<b>Figura 28.</b> Errores obtenidos en la ejecución.	63
<b>Figura 29.</b> Proceso de retroceso.	64
<b>Figura 30.</b> Objeto extraído.	65

<b>Figura 31.</b> Tumor oscuro.	65
<b>Figura 32.</b> Objeto extraído de unatomografía.	66
<b>Figura 33.</b> Incremento de los parámetros.	67
<b>Figura 34.</b> Arquitectura de la red neuronal.	68
<b>Figura 35.</b> Casos de entrenamiento de la red neuronal.	70
<b>Figura 36.</b> Parámetros de entrenamiento.	74
<b>Figura 37.</b> Estado del entrenamiento	74
<b>Figura 38.</b> Grafica de rendimiento.	75
<b>Figura 39.</b> Gráfica de estado del entrenamiento.	76
<b>Figura 40.</b> Resultado de la simulación.	77
<b>Figura 41.</b> Resultado de la simulación.	78
<b>Figura 42.</b> Diagrama de Casos de Uso Módulo Captura de Imágenes.	80
<b>Figura 43.</b> Diagrama de Casos de Uso Módulo Diagnostico .	83
<b>Figura 44.</b> Diagrama de Casos de Uso Módulo Diagnostico .	87
<b>Figura 45.</b> Diagrama de Casos de Uso Módulo Registro y Resultados.	90
<b>Figura 46.</b> Interfaz de Carga de Imágenes al Sistema.	95
<b>Figura 47.</b> Entradas para el Entrenamiento del Red 1.	96
<b>Figura 48.</b> Resultado del Entrenamiento del Red 1.	96
<b>Figura 49.</b> Grafica de ajuste del entrenamiento de la Red 1.	97
<b>Figura 50.</b> Entradas para el Entrenamiento del Red 2.	98
<b>Figura 51.</b> Resultado del Entrenamiento del Red 2.	99
<b>Figura 52.</b> Grafica de ajuste del entrenamiento de la Red 2.	99
<b>Figura 53.</b> Grafica de segmentación de imagen .	101
<b>Figura 54.</b> Grafica de falsos negativos.	102
<b>Figura 55.</b> Grafica de falsos positivos.	102
<b>Figura 56.</b> Grafica de imágenes vs criterio de error.	103
<b>Figura 57.</b> Modelo E/R de la base de datos.	116
<b>Figura 58.</b> Pantalla verificación de usuario.	117
<b>Figura 59.</b> Pantalla menú principal del módulo.	117
<b>Figura 60.</b> Panel selección de paciente.	118
<b>Figura 61.</b> Panel de activación análisis.	118
<b>Figura 62.</b> Ventana emergente del botón examinar.	119

<b>Figura 63.</b> Panel de Verificación de carga de la imagen.	119
<b>Figura 64.</b> Panel de análisis de la imagen.	120
<b>Figura 65.</b> Pantalla verificación de usuario.	121
<b>Figura 66.</b> Menú principal del módulo.	121
<b>Figura 67.</b> Ventana de verificación .	122
<b>Figura 68.</b> Formulario de datos de usuario.	122
<b>Figura 69.</b> Validación de la identificación .	122
<b>Figura 70.</b> Formulario de datos del paciente.	123
<b>Figura 71.</b> Verificación de existencia del paciente.	123
<b>Figura 72.</b> Formulario de resultados del paciente.	124
<b>Figura 73.</b> Pantalla verificación de usuario.	125
<b>Figura 74.</b> Menú principal del módulo.	125
<b>Figura 75.</b> Panel selección de paciente.	126
<b>Figura 76.</b> Pantalla de análisis de resultados.	127
<b>Figura 77.</b> Pantalla de análisis de resultados.	128
<b>Figura 78.</b> Pantalla de análisis de resultados.	128
<b>Figura 79.</b> Editor de imágenes.	129
<b>Figura 80.</b> Editor de imágenes.	130
<b>Figura 81.</b> Editor de imágenes.	130
<b>Figura 82.</b> Pantalla historial.	131
<b>Figura 83.</b> Pantalla visualización del historial.	131
<b>Figura 84.</b> Pantalla modo de pruebas en espera.	132
<b>Figura 85.</b> Pantalla modo de pruebas en ejecución.	133
<b>Figura 86.</b> Pantalla modo de pruebas en ejecución.	134
<b>Figura 87.</b> Pantalla modo consola tratamiento digital de imágenes .	135
<b>Figura 88.</b> Pantalla modo consola red neuronal 1.	136
<b>Figura 89.</b> Pantalla modo consola red neuronal 2.	136

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO A:</b> GLOSARIO DE TERMINOS.	109
<b>ANEXO B:</b> DESCRIPCION DE LAS FUNCIONES EMPLEADAS EN MATLAB.	113
<b>ANEXO C:</b> BASE DE DATOS IMPLEMENTADA.	114
<b>ANEXO D:</b> CAPTURAS DEL SISTEMA.	117
<b>ANEXO E:</b> RESULTADOS DEL SISTEMA.	137

## RESUMEN

**TITULO:** MAGI: SISTEMA BASADO EN TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y DE TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES PARA LA DETECCIÓN DE TUMORES CEREBRALES<sup>1</sup>.

**AUTORES:** MANTILLA MENDEZ, Adonay  
VEGA ARANGO, Juan Sebastián<sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVE:** Red Neuronal, Optimización, Algoritmos de Optimización de Imágenes, Ruido, Corteza Cerebral.

### DESCRIPCIÓN:

El cerebro es un órgano fundamental del cuerpo humano, por esta razón es el órgano con el que más cuidado se debe tener, lo que ha despertado gran interés en su estudio tanto para investigación como para prevención de posibles anomalías presentes en el mismo.

El presente trabajo propone un sistema de detección de tumores cerebrales, basado en técnicas de inteligencia artificial, con el fin de prever la posible presencia de uno y si es así ayudar al soporte médico en la toma de decisiones.

El algoritmo utilizado hace uso de una red neuronal como clasificador entrenado para la detección de masas extrañas presentes en la corteza cerebral, mediante la inclusión de diversos casos de entrenamiento, entre los cuales se tiene una densa amalgama de posibles cerebros tanto sanos como los que presentan tumor.

En el desarrollo del proyecto también se contemplan diferentes técnicas de tratamiento digital de imágenes con el fin de extraer aquellos rasgos relevantes de la corteza cerebral que puedan indicar la presencia de un tumor.

Para brindar al personal médico un sistema de organización, búsqueda y exploración de casos de pacientes se diseñó una interfaz gráfica dividida en tres módulos con funciones específicas.

Finalmente la unión del software desarrollado con las redes neuronales y las técnicas de tratamiento digital de imágenes da como resultado una herramienta que busca ser de gran utilidad a la hora de emitir un diagnóstico.

---

<sup>1</sup> Proyecto de Grado

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática.  
Director: Víctor Martínez Abaunza.

## ABSTRACT

**TITLE:** MAGI: SYSTEM BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES AND DIGITAL IMAGE PROCESSING FOR DETECTION OF BRAIN TUMORS.<sup>3</sup>

**AUTHORS:** MANTILLA MENDEZ, Adonay  
VEGA ARANGO, Juan Sebastián

4

**KEY WORDS:** Neural Network, Optimization, Image Optimization Algorithms, Noise, Cerebral Cortex.

### **DESCRIPTION:**

The brain is an organ very important of the human body, therefore it is the organ that more care should have, which has aroused great interest in the study for both research and prevention of possible anomalies in the same.

This paper proposes a detection of brain tumors, based on artificial intelligence techniques, to provide for the possible presence of one and if so help support medical decision making.

The algorithm makes use of a neural network as classifier trained to the detection of foreign bodies the cerebral cortex through the inclusion of various training cases, among which there is a dense amalgam of both healthy brains as possible those with tumor.

In developing the project are also covered various techniques of digital image processing to extract those relevant features of the cerebral cortex may indicate the presence of a tumor.

Medical staff to provide an organizational system, searching and exploration of patient cases area graphical interface design divided into three modules with specific functions.

Finally the union of the software developed with neural networks and techniques of digital image processing results in a tool that seeks to be of great help when making a diagnosis.

---

<sup>3</sup> Final Project

<sup>4</sup> Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Systems Engineering and Informatics School  
Advisor: VictorMartínezAbaunza.

## INTRODUCCIÓN

En el campo médico existen innumerables problemas que tratar, según la importancia del órgano afectado o el grado de malignidad de una enfermedad se dedican esfuerzos y proyectos con el objetivo de solucionarlos.

En ciencias de la salud es muy común utilizar la computación para la verificación de diagnósticos en órganos que sean muy delicados o que simplemente sea muy complicado su acceso, este proyecto está enfocado a uno de los órganos más importantes del cuerpo humano: el cerebro.

Desde los comienzos de la medicina uno de los puntos más importantes es hacer un diagnóstico acertado. Existen diversas técnicas y métodos como: exámenes de sangre, ultrasonido y endoscopia entre otros. Las enfermedades invasivas como el cáncer requieren una confirmación visual para esto se han diseñado técnicas que permitan conocer la ubicación y la forma de objetos extraños en los órganos y los tejidos del cuerpo humano. Generalmente los tumores difieren en sus características histológicas con los tejidos aledaños lo que permite en muchos casos su identificación. Por estas razones surgió la idea de construir una herramienta de soporte para la optimización del trabajo de los médicos especializados en el campo de la neurología, con el fin de brindarles un mayor grado de confianza en sus diagnósticos y detección de enfermedades.

Hoy en día son muchos los sistemas implementados que se basan en técnicas de inteligencia artificial. Las redes neuronales se caracterizan porque tienen la capacidad de generalizar situaciones desconocidas mediante el aprendizaje de casos de entrenamiento previamente seleccionados teniendo en cuenta: forma, ubicación y tamaño del tumor que permitan una correcta clasificación de las imágenes cerebrales.

La materia prima del proyecto son las imágenes, específicamente las imágenes cerebrales, son ellas la fuente de información necesaria para emitir un concepto médico. El tratamiento digital de imágenes es fundamental a la hora de señalar la ubicación del tumor por esta razón se ha implementado un algoritmo que tiene en cuenta criterios de forma y tamaño a la hora de segmentar un objeto del cual se sospecha.

El proyecto consiste en un sistema que cuenta con un motor interno denominado 'MAGI' el cual se encarga de procesar las imágenes por medio de la implementación de dos redes neuronales y un algoritmo de tratamiento digital de imágenes que optimiza la tarea de identificación y clasificación de imágenes cerebrales que hace el médico en una consulta con su paciente.

## 1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Actualmente son muchos los mecanismos que facilitan el diagnóstico de enfermedades. En el campo de la radiología existen muchas técnicas para la toma de imágenes del cuerpo humano el enfoque del proyecto se basa en el procesamiento de tomografías axiales computarizadas (TAC) para su posterior análisis por parte del médico especialista.

Existen avances en este tipo de herramientas que facilitan el diagnóstico y el trabajo del personal médico pero no hay una que se dedique a la detección, ubicación y caracterización de forma automática de cuerpos extraños en la corteza cerebral bajo la supervisión del conocimiento médico, por esta razón surge la idea de aportar a este campo un sistema que optimice el proceso de diagnóstico de un paciente.

Es muy frecuente encontrar errores humanos en cuanto a diagnósticos médicos se refieren, y esto en muchos casos puede ser catastrófico para el paciente, con este sistema se busca reducir este grado de error y brindarle más confianza al especialista a la hora de dar su diagnóstico médico.

Durante las entrevistas realizadas en el hospital universitario con doctores, enfermeras, técnicos, y recepcionistas se vio en evidencia la desactualización del software usado trayendo problemas como la pérdida de información, tiempos de ejecuciones demoradas y una interfaz poco amigable para el usuario entre otros. Ocasionando así bajo rendimiento en los procesos realizados por esta área del hospital.

Una gran parte de los adelantos tecnológicos que se hacen en el campo médico, son a partir del tratamiento y manipulación de imágenes digitales, se puede decir que es la manera más confiable que se tiene hasta ahora para tratar el posible desarrollo de una anomalía en un órgano, por lo tanto uno de

los planteamientos más importantes en el desarrollo del sistema es la correcta clasificación de las tomografías axiales.

Es importante resaltar que el uso de una sola herramienta es insuficiente para el desarrollo de este proyecto ya que se busca información detallada y a su vez una interfaz agradable para los usuarios.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GENERAL**

Detectar tumores cerebrales a partir de sus características histológicas por medio de tratamiento digital de imágenes.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Crear una base de datos con imágenes cerebrales y características de los pacientes.
- Segmentar la imagen medica analizada para distinguir el área cerebral afectada por el tumor.
- Automatizar el proceso de reconocimiento de tumores por medio del entrenamiento de una red neuronal artificial teniendo como base imágenes.
- Extraer información relevante de las imágenes analizadas por el sistema con el fin de llegar a un diagnóstico acertado.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El diagnóstico médico está basado en una gran variedad de exámenes y pruebas que siempre buscan el origen y el estado actual de la enfermedad. Hoy por hoy los especialistas cuentan con diferentes técnicas para estudiar tumores cerebrales, algunas de ellas son: el examen clínico para su detección, la arteriografía cerebral y la biopsia. La tomografía axial computarizada (TAC) es una técnica no invasiva basada en rayos x que permite a los médicos visualizar mediante imágenes los órganos y tejidos en busca de enfermedades.

Sin embargo todas estas técnicas no tienen la precisión que los médicos esperarían. De ahí que el problema computacional de la detección despierte el interés de investigadores para desarrollar proyectos en los que se obtengan resultados más precisos y cuantificables que el médico no puede hacer de forma visual.

Las soluciones planteadas para resolver el problema de detección de tumores cerebrales en imágenes son muy variadas; van desde el entrenamiento de una red neuronal tipo hopfield hasta la segmentación basada en niveles de intensidad. Las investigaciones realizadas hasta el momento han demostrado ser muy válidas y aceptadas en el campo de la neurología ya que el estudio del cerebro ha sido una de las prioridades de la medicina desde sus comienzos.

El desarrollo de este proyecto pretende sumarse a las investigaciones ya realizadas en el campo del análisis de imágenes neurológicas sobretodo en el proceso de automatización del reconocimiento de tumores cerebrales al momento de realizar técnicas de diagnóstico no invasivas como la resonancia magnética o la tomografía axial computarizada (TAC).

Se busca fomentar la investigación en la implementación de diversos algoritmos basados en técnicas de inteligencia artificial en un solo sistema no solo para el campo del análisis de imágenes médicas sino para diversas áreas de la ingeniería en las que se requiere el reconocimiento de patrones a través

de imágenes. También se busca ofrecer al personal médico una herramienta que cubra todos los procesos que abarcan desde la toma de la imagen hasta su posterior análisis y diagnóstico gracias a la construcción de una interfaz amigable con una base de datos que contiene información relevante tanto de los pacientes como de las imágenes capturadas.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 TUMOR CEREBRAL**

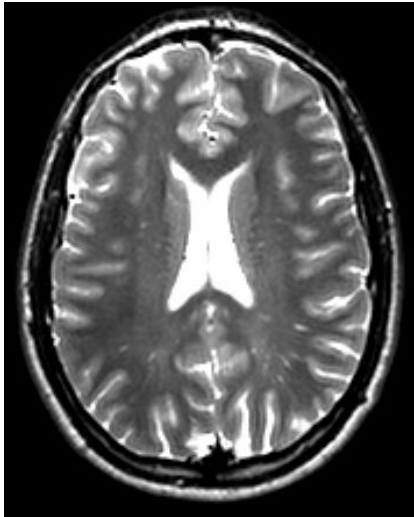
El tumor cerebral o intracraneal se define habitualmente como todo aquel proceso expansivo neofornativo que tiene origen en alguna de las estructuras que contiene la cavidad craneal como el parénquima encefálico, meninges, vasos sanguíneos, nervios craneales, glándulas, huesos y restos embrionarios. Dicho de otro modo, se trata de una masa anormal de nueva aparición que crece y que tiene origen en las estructuras citadas<sup>5</sup>.

Los tumores pueden ser benignos o malignos, dependiendo de la rapidez de su crecimiento y de si logran resecarse o curarse mediante el tratamiento neuroquirúrgico. A diferencia de los tumores de otros tejidos, la distinción entre manifestaciones benignas y malignas no es tan clara, por ejemplo, algunas lesiones benignas pueden infiltrar regiones enteras con comportamiento clínico maligno. Un tumor maligno, también llamado cáncer cerebral, crece rápido y a menudo invade las áreas sanas del cerebro. Los tumores benignos no contienen células cancerosas. Al observarlos bajo microscopio se ven normales; habitualmente tienen un crecimiento lento.

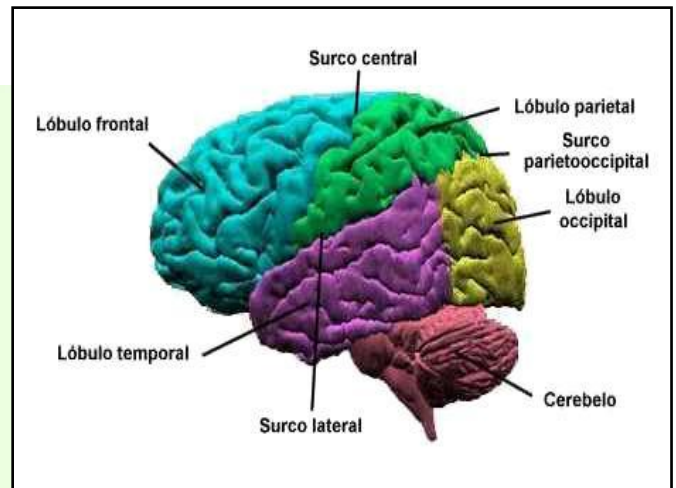
Los tumores pueden destruir directamente las células sanas del cerebro. También pueden dañarlas indirectamente por invadir otras partes del cerebro y causar inflamación, edema cerebral y presión dentro del cráneo.

---

<sup>5</sup><http://www.loseskakeados.com/joomla>



**Figura No 1.** Tomografía axial de un cerebro sano



**Figura No 2.** Partes del cerebro humano

### 2.1.1 SINTOMATOLOGÍA



**Figura No 3.** Procedimiento para la práctica de una resonancia magnética de 3 teslas.

Los síntomas ante la presencia de un tumor cerebral, suelen aparecer en etapas en las que el tejido cerebral ha sido destruido, o sencillamente aumenta la presión cerebral. Esta sintomatología es muy similar tanto para tumores malignos como benignos. La sintomatología inicia por la alteración de algunas funciones

mentales, tales como la apatía, la cefalea, vomito, crisis epilépticas generalizadas, además de la hinchazón del nervio ocular, esto a causa de la presión cerebral.

La principal causa de esta sintomatología es la presencia de la hipertensión intracraneal.

En padecimientos como este existen síntomas de gran cuidado ya que pueden llegar a ser tan graves, que pueden ocasionar el propio crecimiento del tumor.

Los síntomas más comunes son:

- ❖ **Paresias**, definida como la ausencia parcial de movimiento voluntario.
- ❖ **Crisis motoras parciales**
- ❖ **Afasia**, definida como la pérdida de capacidad de producir o comprender el lenguaje.
- ❖ **Apraxias**, problemas para realizar movimientos de la vida cotidiana, a pesar de tener la capacidad física.
- ❖ **Agnosias**, la persona puede percibir los objetos pero no asociarlos con el papel que habitualmente desempeñan
- ❖ **Alteraciones campimétricas**, problemas de visión.

Estos son los principales síntomas que se pueden detectar en cuanto a la presencia de tumores en el cerebro, se pueden encontrar otros síntomas en zonas alejadas del cerebro, estos son denominados síntomas de falsa localización, y son causados por un desplazamiento del tronco encefálico a causa de la presión cerebral, conocido como el síndrome de herniamiento cerebral.

### 2.1.2 DETECCIÓN DEL TUMOR CEREBRAL

Existen algunas pruebas o procedimientos para hacer un chequeo de si existe o no la presencia de tumor en el cerebro, tales como:

- Examen físico y antecedentes del paciente: Este examen se hace sobre el cuerpo como tal, con el fin de chequear y verificar si hay signos de la enfermedad, tales como la presencia de masas anormales, incluso se hace un análisis sobre los antecedentes de los hábitos de salud del paciente, incluyendo el historial médico de sus enfermedades y tratamientos anteriores.

- neuroológico: Éste examen consiste en una serie de preguntas realizadas al paciente, con el fin de ver el estado del cerebro y la medula espinal, además del estado y funcionamiento de los nervios. El examen arroja el estado mental de la persona, la coordinación, y verifica el funcionamiento de los músculos, sentidos y reflejos.
- Examen visual: Éste examen chequea el área total en la que el paciente pueden ver objetos, incluyendo tanto la vista central como la periférica, ya que cualquier pérdida de la vista puede ser causada por el daño o presión ejercida por el tumor a diversas partes del cerebro.
- genética: En el cuerpo humano hay un cromosoma relacionado con cierto tipo de tumores cerebrales de ahí que mediante el estudio de una muestra de sangre o de tejido se puede llegar a determinar si hay cambios en dicho cromosoma.

En cuanto a las pruebas tomográficas se pueden destacar las siguientes:

- IRM (imágenes por resonancia magnética) con gadolinio: Es un procedimiento mediante el cual se logra crear una serie de imágenes detalladas del cerebro y la medula espinal. Este proceso involucra una sustancia llamada gadolinio que cumple la función de adherirse a las células cancerígenas y las hace aparecer más brillantes en la imagen.
- Gammagrafía por TCEFU (tomografía computarizada por emisión de fotón único): procedimiento para el que se usa una cámara especial conectada con una computadora para obtener una imagen tridimensional (3-D) del cerebro. Se inyecta una pequeña cantidad de una sustancia radiactiva en una vena o se inhala por la nariz. A medida que la sustancia se desplaza por la sangre, la cámara rota alrededor de la cabeza y toma imágenes del cerebro. El flujo de la sangre y las reacciones químicas (metabolismo) aumenta en las áreas donde

hay células cancerosas que crecen. Esas áreas se ven más brillantes en la imagen.

- Exploración con TEP (exploración con tomografía por emisión de positrones): procedimiento para encontrar células tumorales malignas en el cuerpo. Se inyecta en una vena una cantidad pequeña de glucosa (azúcar) radiactiva. El explorador TEP rota alrededor del cuerpo y toma una imagen de los lugares del cerebro que absorben la glucosa. Las células tumorales malignas tienen aspecto más brillante en la imagen porque son más activas y absorben más glucosa que las células normales.

### 2.1.3 DIAGNÓSTICO

Ante un caso de sospecha por parte del médico que realiza los exámenes se realiza el siguiente procedimiento con el fin de llegar a un diagnóstico sobre dicha sospecha:

Se realiza una biopsia<sup>6</sup> para extraer una muestra del tejido.

Un patólogo observa el tejido bajo un microscopio para verificar si hay células cancerosas. En caso de encontrar células cancerosas, se procederá a una cirugía en donde se intentará extraer la mayor cantidad del tumor como sea posible durante la misma. Después de la cirugía, un patólogo revisa las células cancerosas para determinar el tipo y grado de tumor cerebral. El grado del tumor se basa en cuán anormales se ven las células cancerosas bajo un microscopio y con qué rapidez es probable que el tumor crezca y se disperse. Se puede usar una exploración por Tomografía Computarizada o una prueba de Imagen por

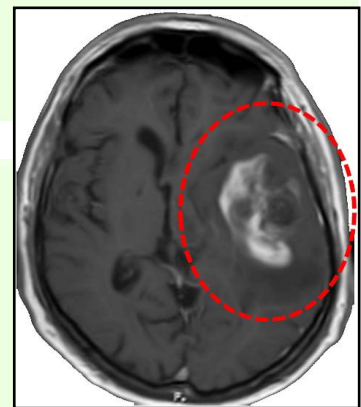


Figura No 4. Imagen de RM de glioblastoma multiforme

<sup>6</sup>La biopsia se lleva a cabo cortando una parte del cráneo y usando una aguja para extraer la muestra de tejido

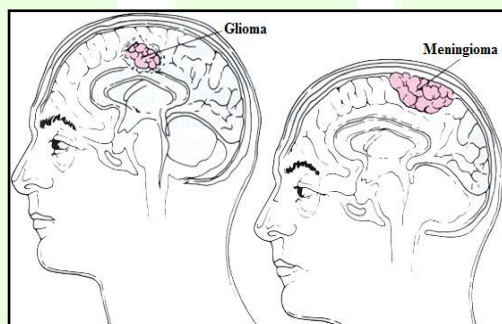
Resonancia Magnética para determinar si quedaron células cancerosas después de la cirugía.

En algunos casos es casi imposible practicar cualquiera de los procedimientos antes mencionados debido a la ubicación del tumor de ahí que se utilicen otros métodos para diagnosticarlos tales como la imagenología<sup>7</sup>, entre otros.

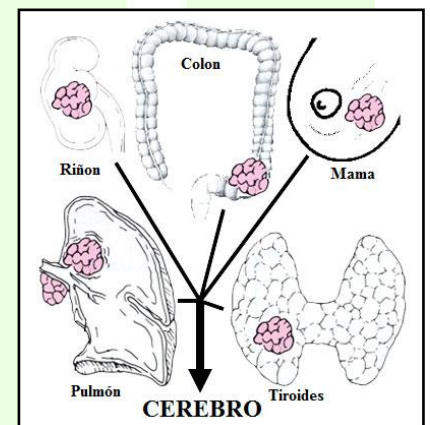
Generalmente las evaluaciones practicadas al paciente incluyen desde el examen físico, hasta pruebas de neuroimagen, para estas últimas cabe resaltar que la Resonancia Magnética es la que proporciona las mejores imágenes.

## 2.2 TIPOS DE TUMORES CEREBRALES

Los tumores cerebrales se pueden clasificar en dos grandes grupos: *primarios* y *metastásicos*. Los **primarios** proceden de las células del cerebro o de sus envolturas. Los **metastásicos** (o secundarios) son los que se originan en otra parte del cuerpo, como el pulmón, la mama o el colon, y que se extienden al cerebro, generalmente a través del torrente sanguíneo. Por esta razón, los tumores cerebrales metastásicos son casi siempre malignos, mientras que los tumores primarios pueden ser benignos o malignos<sup>8</sup>.



**Figura No 5.**Tipos de tumores cerebrales primarios



**Figura No 6.**Origen de los tumores cerebrales metastásicos

<sup>7</sup>Imagenología: Método para producir imágenes de áreas del interior del cuerpo

<sup>8</sup>[http://neuros.net/es/generalidades\\_tumores\\_cerebrales.php](http://neuros.net/es/generalidades_tumores_cerebrales.php)

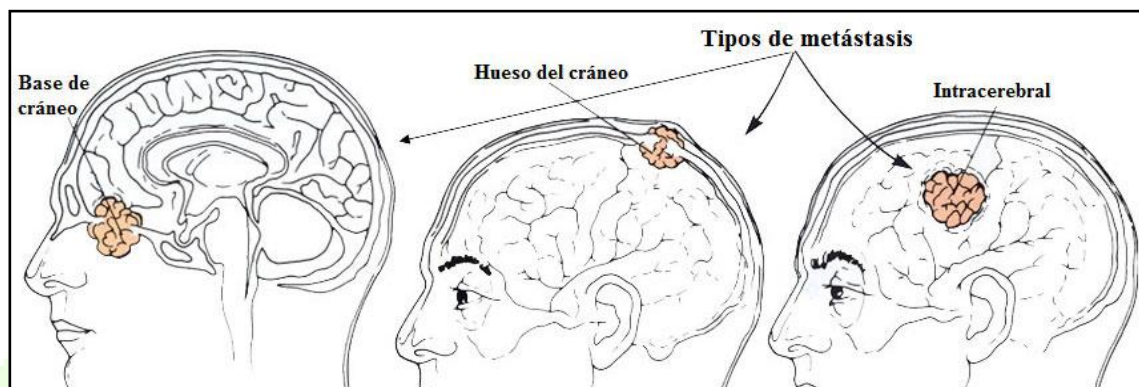


Figura No 7. Tipos de tumores cerebrales secundarios o metastásicos

Los tumores del cerebro varían ampliamente por lo que se refiere a su localización, el tipo de tejido del que se originan, y su grado de malignidad. Algunos de los más frecuentes son:

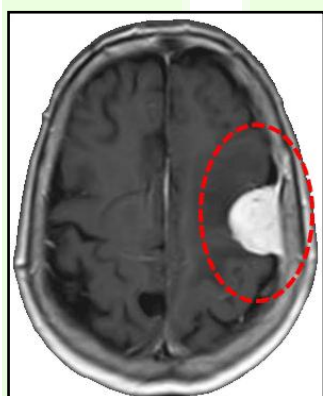


Figura No 8. Meningioma

- El **meningioma**, que es el más común de los no cancerosos, es el que se contrae en las meninges, membranas que cubre el cerebro y la médula espinal. Son tumores benignos con muy pocas excepciones, de crecimiento lento. Su extirpación puede ser complicada en función de su tamaño y localización.

- Los **gliomas**, es un tipo de neoplasia que se produce en el cerebro o en la médula espinal, su principal ubicación es en el cerebro, algunos casos de este tipo son:

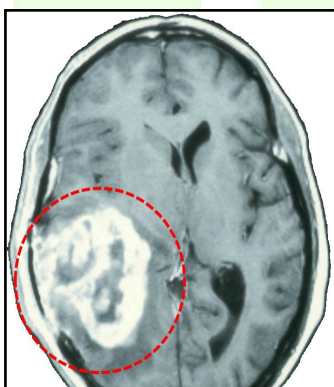


Figura No 9. Astrocitomas

1. Los **astrocitomas**, que son los más frecuentes en niños. Los hay de alto y bajo grado y los de alto grado son malignos. Se ubican en el cerebelo y los enfermos suelen padecer dolores de cabeza, náuseas y vómitos frecuentes, visión doble y dificultades en la marcha y coordinación.

2. Los **gliomas del tronco del encéfalo**, presentan la dificultad de no poder ser extraídos quirúrgicamente por su delicada ubicación. Afectan principalmente en la infancia y los niños que los padecen tienen visión doble, dificultad para mover la cara o un lado del cuerpo y dificultades en la marcha y coordinación.

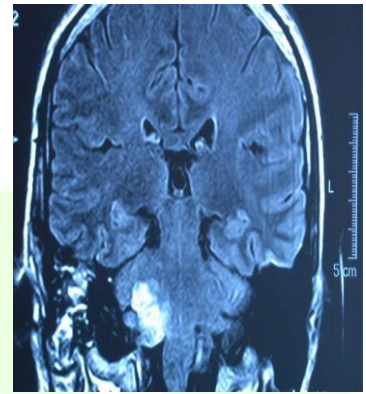


Figura No 10. Glioma de Tronco



Figura No 11. Ependimomas

3. Los **ependimomas**, afectan también las células gliares y se desarrollan en el revestimiento de los ventrículos o en la médula espinal, pueden crecer lentamente y reaparecer o ser resistentes al tratamiento. Afectan a niños menores de 10 años.

4. Los **tumores neuroectodérmicos primitivos**, también afectan principalmente a los niños. Reciben el nombre de **Medulloblastomas**, cuando se ubican en la parte posterior del encéfalo, cerca del cerebelo y crecen rápidamente invadiendo todo el encéfalo o la médula espinal. Crecen rápidamente obstruyendo el drenaje del líquido cefalorraquídeo, lo que ocasiona aumento de la presión craneal y provocan su diseminación al sistema nervioso central.

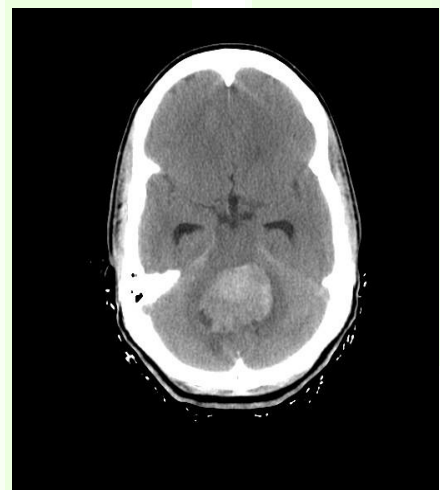


Figura No 12. Medulloblastomas

5. Los **Craneofaringioma**, son tumores benignos que aparecen en la base del encéfalo. Afectan a menores de 20 años y provocan dolores de cabeza y problemas de visión además de desequilibrios hormonales, por lo que los enfermos no crecen adecuadamente y tienen baja estatura. Son difíciles de eliminar porque están rodeados de estructuras muy sensibles<sup>9</sup>.

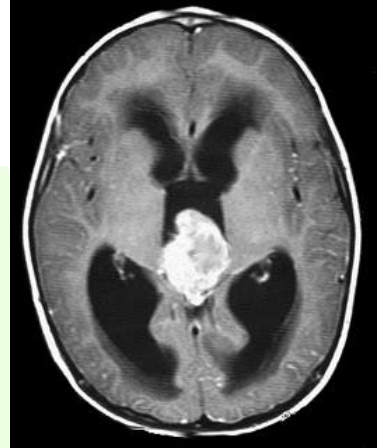


Figura No 13. Craneofaringioma

### 2.3 CLASIFICACIÓN

Determinación de la malignidad según las características histológicas del tumor:

TUMORES DE EVOLUCION LENTA (BAJO GRADO)	
Tumores de Grado I	Benignos, de crecimiento lento y circunscriptos.
Tumores de Grado II	De crecimiento Lento, pero con limites imprecisos, o de extensión.
TUMORES DE EVOLUCION RAPIDA (ALTO GRADO)	
Tumores de Grado III	Tumores anaplásticos, su evolución es más rápida.
Tumores de Grado IV	Tumores malignos, muestran signos histológicos de crecimiento muy rápido en todas las regiones examinadas

Tabla 1. Características Histológicas de los Tumores  
Fuente: Wikipedia.org

<sup>9</sup> Clasificación referenciada de: [http://neuros.net/es/generalidades\\_tumores\\_cerebrales.php](http://neuros.net/es/generalidades_tumores_cerebrales.php)

### **2.3.1 CLASIFICACIÓN HISTOLÓGICA DE LOS TUMORES**

La clasificación que se le da a los tumores cerebrales no es más complicada que la dada por la literatura a otros sistemas orgánicos como los linfomas para mencionar un ejemplo.

La principal dificultad radica en la compleja estructura del sistema nervioso, teniendo en cuenta que en él intervienen y hacen parte diversos tipos de células con diferentes funciones, tales como neuronas, astrocitos, epéndimo, vasos sanguíneos, entre otros.

En la actualidad, la clasificación más aceptada es la propuesta por la Organización Mundial de la Salud (Kleihues et al, 1993)<sup>10</sup> que, sin ser ideal, es el resultado de un consenso satisfactorio y reúne criterios de las clasificaciones citológicas y pronósticas.

### **2.4 IMÁGENES MÉDICAS**

Una definición clara y sencilla que se puede dar de este concepto hace relación al conjunto de técnicas y procesos usados para crear imágenes del cuerpo humano, o partes de él, con propósitos clínicos (procedimientos médicos que buscan revelar, diagnosticar o examinar enfermedades). En cuanto a la toma de imágenes se pueden emplear dos tipos, la denominada Tomografía Axial computarizada, TAC, y la Resonancia Magnética, dependiendo de la necesidad que se tenga.

---

<sup>10</sup> Para tener una descripción más detallada de dicha clasificación:  
<http://www.viguera.com/pdf/muestra/8485424425.pdf>

### **2.4.1 TAC (TOMOGRFÍA AXIAL COMPUTARIZADA)**

TAC es una tecnología de exploración de rayos X que produce imágenes detalladas de cortes axiales del cuerpo. En lugar de obtener una imagen como la radiografía convencional, la TAC obtiene múltiples imágenes al rotar alrededor del cuerpo. Una computadora combina todas estas imágenes en una imagen final que representa un corte del cuerpo como si fuera una rodaja. Esta máquina crea múltiples imágenes en rodajas (cortes) de la parte del cuerpo que está siendo estudiada<sup>11</sup>.

### **2.4.2 RESONANCIA MAGNÉTICA**

También conocida como tomografía por resonancia magnética (TRM) o imagen por resonancia magnética nuclear (NMRI, por sus siglas en inglés) es una técnica no invasiva que utiliza el fenómeno de la resonancia magnética para obtener información sobre la estructura y composición del cuerpo a analizar. Esta información es procesada por ordenadores y transformada en imágenes del interior del cuerpo que se ha analizado.

Tiene importantes utilidades en medicina, ayudando a observar alteraciones en los tejidos, detección de cáncer entre otras. En cuanto a la industria también tiene su utilidad ya que es empleada para analizar la estructura de materiales tanto orgánicos como inorgánicos.

A diferencia de la Tomografía Computarizada, no usa radiación ionizante, sino campos magnéticos para alinear la magnetización nuclear de átomos de hidrógeno del agua en el cuerpo, generalmente. Los campos de radiofrecuencia se usan para sistemáticamente alterar el alineamiento de esa magnetización, causando que los núcleos de hidrógeno produzcan un campo magnético rotacional detectable por el escáner. Esa señal puede ser manipulada con adicionales campos magnéticos y así construir con más información imágenes del cuerpo<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> Definición referenciada: Wikipedia.org

<sup>12</sup> Concepto referenciado de: <http://www.esacademic.com>

### **2.4.2.1 FUNCIONAMIENTO**

Los equipos de Imagen por Resonancia Magnética, son máquinas con una densa amalgama de componentes, que se integran con gran precisión para obtener información sobre la distribución de los átomos en el cuerpo humano, utilizando el fenómeno de RM.

El elemento principal del equipo es un imán capaz de generar un campo magnético constante de gran intensidad. Actualmente se utilizan imanes con intensidades de campo de entre 0.15 y 7 teslas. El campo magnético constante se encarga de alinear los momentos magnéticos de los núcleos atómicos básicamente en dos direcciones, paralela (los vectores apuntan en el mismo sentido) y anti-paralela (apuntan en sentidos opuestos). La intensidad del campo y el momento magnético del núcleo determinan la frecuencia de resonancia de los núcleos, así como la proporción de núcleos que se encuentran cada uno de los dos estados.

## **2.5 TÉCNICAS MATEMÁTICAS PARA EL TRATAMIENTO DE IMÁGENES**

El tratamiento matemático de las imágenes digitales, en todas sus modalidades (video, imágenes de satélite e imágenes médicas) es actualmente una de las áreas de aplicación de las matemáticas con mayores perspectivas a futuro. Se trata en efecto de modelar y resolver, de manera adecuada, una gran variedad de problemas que nacen en el proceso de obtención, reconstrucción, procesado e interpretación de las imágenes digitales. El interés en la mejora de los resultados en lo que a su tratamiento matemático se refiere, es evidente. Por ejemplo, la detección precoz y el diagnóstico son factores críticos en la probabilidad de sobrevivir a un cáncer y dependen de la resolución y calidad de la imagen. Este tipo de problemas tiene evidentemente un marcado carácter multi-disciplinar.

De ahí la necesidad de formación de profesionales con distintos perfiles investigadores (físicos, matemáticos, estadísticos, biólogos, informáticos, ingenieros, y médicos, entre otros).

### 2.5.1 SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES MÉDICAS

Una imagen es una colección de medidas o valores en el espacio bidimensional (2D) o tridimensional (3D). En imágenes médicas, estas medidas o intensidades de imagen pueden ser la absorción de radiación de imágenes de Rayos X, presión acústica en ultrasonido, o amplitud de señal de radio-frecuencia (RF - radio-frequency) en MRI. Si se hace una medida simple para cada posición de la imagen, entonces la imagen es una imagen escalar. Si se hace más de una medida (por ejemplo: dual-eco MRI), la imagen es llamada imagen vector o imagen multicanal. Las imágenes pueden ser adquiridas en el dominio continuo como las películas de Rayos X, o en el discreto como en MRI. En imágenes discretas 2D, la posición de cada medida se conoce como píxel y en imágenes 3D, se le llama voxel. Por simplicidad, se usará el término píxel con frecuencia para referirnos a ambos casos.

Clásicamente, la segmentación de imágenes se define como la partición de una imagen en regiones constituyentes no solapadas, las cuales son homogéneas con respecto a alguna característica como una intensidad o una textura. Si el dominio de la imagen está dado por  $I$ , entonces el problema de segmentación consiste en determinar el conjunto  $S_k \tilde{A} I$  cuya unión es la imagen  $I$  completa. Por lo tanto, el conjunto que conforma la segmentación debe satisfacer:

$$I = \bigcup_{k=1}^K S_k$$

Al eliminar la restricción de que las regiones estén conectadas, determinar los conjuntos  $S_k$  es llamado clasificación de píxel y a los conjuntos se les llama

clases. La clasificación de píxeles frecuentemente es un objetivo deseable en el tratamiento de imágenes médicas, particularmente cuando se necesita clasificar regiones desconectadas que pertenecen al mismo tejido. La determinación del número de clases  $K$  en la clasificación de píxeles puede ser un problema complejo, por lo que generalmente se asume conocida, basado en conocimientos previos de la anatomía que se está tomando en consideración.

### **2.5.1.1 UMBRALIZACIÓN**

La umbralización (thresholding) es un método que busca segmentar imágenes escalares creando una partición binaria de las intensidades de las imágenes. Una umbralización trata de determinar un valor de intensidad, llamado umbral (threshold), que separa las clases deseadas. La segmentación se logra agrupando todos los píxeles con mayor intensidad al umbral en una clase, y todos los otros píxeles en otra clase.

La umbralización es una técnica efectiva para obtener la segmentación de imágenes donde estructuras diferentes tienen intensidades contrastantes u otras características diferenciables. La partición usualmente es generada interactivamente, pero también existen métodos automáticos. Para imágenes escalares, los métodos interactivos pueden estar basados en la apreciación visual del usuario ya que la operación de umbralización es posible implementarla en tiempo real. Generalmente, la umbralización es el paso inicial de una secuencia de operaciones de procesamiento de imágenes. Su principal limitación es que en su forma más simple solo se generan dos clases y por lo tanto no se puede aplicar a imágenes multicanal. En adición, la umbralización usualmente no toma en cuenta las características espaciales de la imagen. Esto causa que sea sensible al ruido y heterogeneidad de intensidad, las cuales pueden ocurrir en imágenes de resonancia magnética. Estos factores corrompen el histograma de la imagen, haciendo la separación más difícil.

## **2.6 RNA (RED NEURONAL ARTIFICIAL)**

Las redes neuronales artificiales se definen como un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático, inspirado en la forma cómo reacciona el sistema nervioso animal. Su estructura radica en un sistema de neuronas, interconectadas en una red que colabora para generar un estímulo de salida. En la rama de la Inteligencia Artificial son referenciadas como redes de neuronas o redes neuronales.

### **2.6.1 FUNCIONAMIENTO**

Las redes neuronales artificiales son una simulación de cada uno de los comportamientos observados en modelos neuronales biológicos a través de una implementación de modelos matemáticos, con la finalidad de recrearlos mediante mecanismos artificiales.

El objetivo principal de tal recreación es llegar a dar un estímulo a las máquinas para conseguir respuestas similares a las dadas por un cerebro, las cuales se caracterizan por su generalización y robustez.

La estructura de una red neuronal está dada por un conjunto de unidades llamadas neuronas. Cada neurona recibe una serie de estímulos, entradas, a través de interconexiones ligadas a cada neurona y estos logran estimular la neurona con el fin de generar una salida.

## **2.7 MATLAB**

Es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows y Apple Mac OS X.

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone

de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las *cajas de herramientas (toolboxes)*; y las de Simulink con los *paquetes de bloques (blocksets)*.

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones, como la de programar directamente procesadores digitales de señal o crear código VHDL<sup>13</sup>.

## **2.8 JAVA**

Java surgió en 1991 cuando un grupo de ingenieros de Sun Microsystems trataron de diseñar un nuevo lenguaje de programación destinado a electrodomésticos. La reducida potencia de cálculo y memoria de los electrodomésticos llevó a desarrollar un lenguaje sencillo capaz de generar código de tamaño muy reducido.

Debido a la existencia de distintos tipos de CPUs y a los continuos cambios, era importante conseguir una herramienta independiente del tipo de CPU utilizada. Desarrollaron un código "neutro" que no dependía del tipo de electrodoméstico, el cual se ejecutaba sobre una "máquina hipotética o virtual" denominada Java Virtual Machine (JVM). Era la JVM quien interpretaba el código neutro convirtiéndolo a código particular de la CPU utilizada. Esto permitía lo que luego se ha convertido en el principal lema del lenguaje: "Write Once, Run Every 'where'". A pesar de los esfuerzos realizados por sus creadores, ninguna empresa de electrodomésticos se interesó por el nuevo lenguaje.

---

<sup>13</sup> Referenciado de: <http://www.informaticavirtual.us/nodo/86/aprender-a-programar-con-matlab.html>

Como lenguaje de programación para computadores, Java se introdujo a finales de 1995. La clave fue la incorporación de un intérprete Java en la versión 2.0 del programa Netscape Navigator, produciendo una verdadera revolución en Internet. Java 1.1 apareció a principios de 1997, mejorando sustancialmente la primera versión del lenguaje. Java 1.2, más tarde rebautizado como Java 2, nació a finales de 1998.

Al programar en Java no se parte de cero. Cualquier aplicación que se desarrolle “cuelga” (ose apoya, según como se quiera ver) en un gran número de clases preexistentes. Algunas de ellas la ha podido hacer el propio usuario, otras pueden ser comerciales, pero siempre hay un número muy importante de clases que forman parte del propio lenguaje (el API o Application Programming Interface de Java). Java incorpora en el propio lenguaje muchos aspectos que en cualquier otro lenguaje son extensiones propiedad de empresas de software o fabricantes de ordenadores (threads, ejecución remota, componentes, seguridad, acceso a bases de datos, etc.). Por eso muchos expertos opinan que Java es el lenguaje ideal para aprender la informática moderna, porque incorpora todos estos conceptos de un modo estándar, mucho más sencillo y claro que con las citadas extensiones de otros lenguajes. Esto es consecuencia de haber sido diseñado más recientemente y por un único equipo. El principal objetivo del lenguaje Java es llegar a ser el “nexo universal” que conecte a los usuarios con la información, esté ésta situada en el ordenador local, en un servidor de Web, en una base de datos o en cualquier otro lugar. Java es un lenguaje muy completo (de hecho se está convirtiendo en un macro-lenguaje: Java 1.0 tenía 12 packages; Java 1.1 tenía 23 y Java 1.2 tiene 59). En cierta forma casi todo depende de casi todo. Por ello, conviene aprenderlo de modo iterativo: primero una visión muy general, que se va refinando en sucesivas iteraciones. Una forma de hacerlo es empezar con un ejemplo completo en el que ya aparecen algunas de las características más importantes<sup>14</sup>.

---

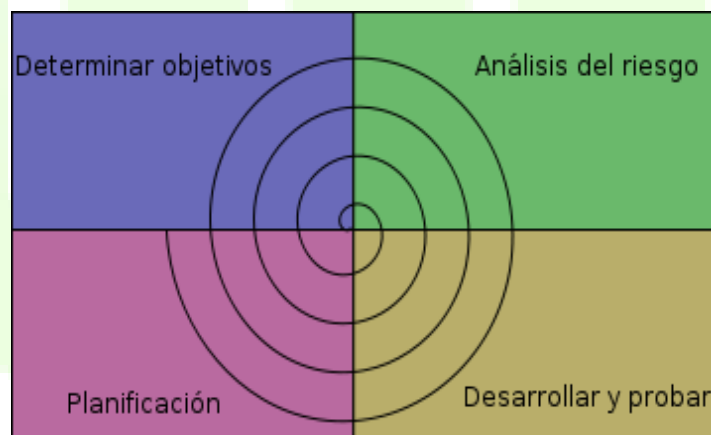
<sup>14</sup> Referenciado de: Aprenda Java como si estuviera en Primero  
Autores: Javier García de Jalón, José Ignacio Rodríguez, Iñigo Mingo, Aitor Imaz, Alfonso Brazález, Alberto Larzabal, Jesús Calleja, Jon García.

### 3. METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL PROYECTO

A la hora de desarrollo de software existen innumerables metodologías aplicables al desarrollo del mismo, todas igualmente eficaces desde el punto de vista de resultados, la única variante es que algunas son más adaptables o convenientes a ciertos problemas con el fin de satisfacer las necesidades de los mismos. Por tratarse de un desarrollo de software diseñado netamente para la interacción constante con el usuario que en este caso sería el personal médico, el presente trabajo de investigación se basara en la metodología de desarrollo de software en espiral además de la implementación de prácticas ágiles para el desarrollo de software.

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EN ESPIRAL

El modelo en espiral es un modelo de ciclo de vida orientado a riesgos que divide un proyecto software en mini-proyectos. Cada mini proyecto se centra en uno o más riesgos importantes hasta que todos estén controlados. Después de controlar todos los riesgos más importantes, el modelo en espiral finaliza del mismo modo que el ciclo de vida en cascada.



**Figura No 14.**Modelo en espiral  
Fuente: Wikipedia.org

Su funcionamiento se parte de una escala pequeña en medio de la espiral, se localizan los riesgos, se genera un plan para manejar los riesgos, y a continuación se establece una aproximación a la siguiente interacción.

Cada iteración supone que el proyecto pasa a una escala superior. Se avanza un nivel en el Espiral, se comprueba que se tiene lo que se desea, y después se comienza a trabajar en el siguiente nivel.

### **3.1.1 Fases de la metodología según el desarrollo del proyecto**

✓ **Determinación de Objetivos:**

En esta fase se enumeran de forma minuciosa todos y cada uno de los objetivos que debe cumplir la iteración que se desea afrontar, y que se deben cumplir para poder pasar a la siguiente iteración.

✓ **Análisis de Riesgo:**

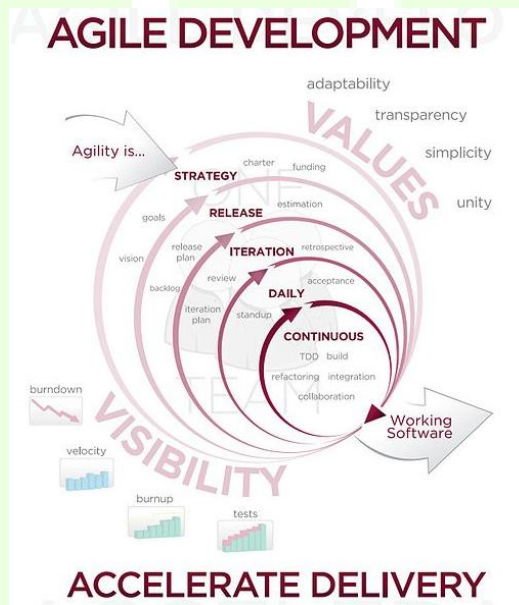
En cada proyecto se debe contar con las posibles problemáticas que pueden surgir en torno a lo que se desea hacer, desde la concepción de la materia prima, hasta la codificación de lo que se desea resolver.

✓ **Desarrollo y Pruebas:**

Una vez se tiene un análisis correcto y se tiene en cuenta los riesgos se procede a la programación como tal, en busca del cumplimiento de los objetivos de la iteración, una vez se consigue dicha codificación se hacen las pruebas respectivas del prototipo y se evalúa si cumple con los objetivos de la iteración, para así poder avanzar a la siguiente.

## 3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS ÁGILES

El desarrollo ágil de software es un marco de trabajo conceptual de la ingeniería de software que promueve iteraciones en el desarrollo a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. Existen muchos métodos de desarrollo ágil; la mayoría minimiza riesgos desarrollando software en cortos lapsos de tiempo. El software desarrollado en una unidad de tiempo es llamado una iteración, la cual debe durar de una a cuatro semanas. Cada iteración del ciclo de vida incluye: planificación, análisis de requerimientos, diseño, codificación, revisión y documentación. Una iteración no debe agregar demasiada funcionalidad para justificar el lanzamiento del producto al mercado, pero la meta es tener un demo (sin errores) al final de cada iteración.



**Figura No 15.** Metodología del desarrollo de software ágil  
Fuente: Wikipedia.org

### 3.2.1 Prácticas ágiles implementadas en el desarrollo del proyecto

Las metodologías ágiles son un campo relativamente nuevo en la ingeniería del software con tan solo diez años de existencia ya ha demostrado dar excelentes

resultados en el desarrollo de proyectos de mediana-pequeña escala donde no existen muchos roles y el usuario es el eje central del desarrollo del proyecto.

✓ Escuche a los usuarios:

Esta práctica recomienda prestar mucha atención a los usuarios y a sus comentarios ya que "cada queja tiene una verdad". Se recomienda solucionar los problemas en tiempo real.

✓ Manténgalo entregable:

A la hora de desarrollar un proyecto con principios ágiles es indispensable usar iteraciones cortas y entregar incrementos en las que se puedan tener versiones ejecutables del sistema en todo momento. Se debe estar preparado ante la petición hacer pruebas del ejecutable por parte de los usuarios o de los compañeros del proyecto.

✓ La diferencia hace la diferencia:

Se recomienda que el sistema se pruebe en múltiples plataformas y máquinas, además tener buenas prácticas de programación (ej. programación extrema xp) para la detección de errores en tiempo real.

✓ Comunique con el código:

Esta práctica nos indica que se debe tener el código ordenado y con comentarios para que otras personas lo entiendan y lo puedan corregir en caso de errores lógicos. Además recomienda dar nombres apropiados a las variables y a las clases.

✓ Codifique por incrementos:

En el desarrollo del proyecto se programó de forma incremental siempre mejorando el código en cada iteración.

✓ Programe encuentros regularmente:

Se recomienda hacer reuniones frecuentes con el fin de motivar y analizar el estado del proyecto (falencias, logros y expectativas).

### **3.3 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA (Matlab)**

#### **3.3.1 Etapa de análisis**

Se definió la utilización de tres algoritmos, el primero de tratamiento digital de imágenes para la segmentación de tumores y los dos siguientes con inteligencia artificial (red neuronal artificial) para clasificar las imágenes.

En esta etapa se hará un estudio preliminar de la problemática a tratar en este caso el proceso que conlleva el estudio y análisis de imágenes de tumores cerebrales a partir del tratamiento digital de imágenes. Se estudiarán las diversas técnicas de filtrado, segmentación de imágenes, el tipo de entrenamiento de la red neuronal artificial y sus parámetros.

Se debe estipular la forma como se va a representar la imagen en este caso será mediante matrices que es la forma más sencilla para Matlab. Se tuvo en cuenta que una red neuronal artificial solo recibe como entrada datos en forma de vector por lo cual las imágenes deben tomar dicha forma.

#### **3.3.2 Etapa de diseño**

En la fase de diseño se decidió darle un nombre clave a cada algoritmo:

- ✓ Baltasar: Algoritmo de tratamiento digital de imágenes.
- ✓ Melchor: Red neuronal artificial de detección de imágenes válidas.
- ✓ Gaspar: Red neuronal artificial de clasificación de imágenes con sospecha de presencia de tumor.

El algoritmo de tratamiento digital de imágenes (Baltasar) se diseñó pensando en las siguientes etapas:

- ✓ Relación de área 1
- ✓ Relación de área 2
- ✓ Comparación de forma y tamaño
- ✓ Retroceso

Las redes neuronales artificiales (Melchor y Gaspar) se diseñaran con una entrada igual al área total (en pixeles) de las imágenes médicas con una sola salida.

No se desarrollaron interfaces en Matlab, ya que a pesar de contar con la GUIDE de Matlab para el diseño de las mismas se optó por desarrollarlas en Java para obtener un diseño más agradable y fácil de usar. En la etapa de diseño en Java se especifica mejor.

### **3.3.3 Implementación**

Después de haber finalizado y revisado cuidadosamente las fases anteriores se procede desarrollar la programación según los diagramas y modelos desarrollados anteriormente. La metodología espiral permite mejorar el producto ya que se le pueden adicionar nuevas funciones según se establezca en las reuniones de evaluación del proyecto.

- Desarrollo de las técnicas para segmentación de imágenes.
- Desarrollo en los lenguajes de programación.
- Implementación de la técnica de segmentación.
- Implementación de la técnica de inteligencia artificial.
- Realizar pruebas a los algoritmos.
- Poblar la base de datos con imágenes cerebrales.

## **3.4 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA (Java)**

### **3.4.1 Etapa de análisis**

En esta etapa se realizó un análisis detallado de la información recolectada durante las visitas y entrevistas realizadas al personal según las necesidades del usuario.

Al realizar el análisis de lo que el usuario necesitaba se encontró la necesidad de levantar una lista de los requerimientos de los sistemas y realizar un plan para tratar de resolver en su mayoría dichos requerimientos. El plan se resume en la construcción de tres módulos de los cuales el primero es para la recolección y análisis de las imágenes utilizando los tres algoritmos mencionados (Baltasar, Melchor y Gaspar). El segundo módulo estará dedicado a la captura, verificación y entrega de resultados de los pacientes. Por último el tercer módulo tendrá la tarea de mostrarle al doctor las imágenes ya analizadas por motor del sistema (Baltasar, Melchor y Gaspar) para su posterior dictamen y guardado en la base de datos.

Es de vital importancia tener en cuenta que a la hora de desarrollar un cada módulo el usuario debe aportar sus necesidades.

Una vez sean definidos los objetivos y establecidas las pautas generales del proyecto que incluyen las herramientas y metodologías necesarias para desarrollar los módulos correspondientes, se procede con el diseño de los mismos.

### **3.4.2 Etapa de diseño**

En la fase de diseño se definirá la arquitectura de los módulos en el sistema y establecerán detalles importantes para la construcción de los módulos que permitan esquematizar el desarrollo futuro de la herramienta médica.

Basándose en requisitos capturados se realizarán diagramas UML que describan los objetivos, complejidad y necesidades del proyecto.

Durante esta etapa se elaboraran diagramas de casos de uso con el fin de ayudar a describir el comportamiento del sistema, en cada una de los procesos que en él se puedan desarrollar, el modelo de casos de uso se realizara en el programa Enterprise ArchitectEA (licencia libre).

De igual forma se diseñarán diagramas de clases, diagramas de base de datos y diagramas de secuencia para definir la arquitectura del sistema.

Al final esta etapa se obtendrá un prototipo maduro más detallado producto del refinamiento de los requisitos y del diseño inicial, siempre teniendo en cuenta que el diseño de cada interfaz debe ser de una forma amigable para el usuario y de fácil interpretación del mismo.

### **3.4.3 ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN**

De acuerdo a los parámetros establecidos durante la planeación del proyecto y a las especificaciones generadas en la fase de diseño se construirá una base de datos y cada uno de los módulos necesarios para el trabajo con la herramienta.

La base de datos del sistema almacenará información detallada de los pacientes, los doctores, los usuarios del sistema, las imágenes que se le tomen a cada paciente, el historial y el detalle de cada estudio que se le haga a cada paciente.

En esta etapa se codificaran los siguientes módulos:

- **Módulo de Captura de Imágenes:** Este módulo le permitirá al técnico cargar las imágenes en el sistema por medio de una interfaz sencilla y amigable que le

permita además de agregar imágenes al sistema, analizarlas de forma rápida y segura.

- **Módulo de Análisis y Diagnóstico:** En este módulo se da la oportunidad de analizar cada una de las imágenes que se le han tomado al paciente con la finalidad de que el doctor encargado con ayuda del sistema pueda dar un diagnóstico de los estudios realizados así como también dar la opinión sobre el mismo.
- **Módulo de Registro y Resultados:** El módulo de resultados permite al usuario del sistema tener acceso general a la base de datos con la finalidad de gestionar todos los procesos de agregar, modificar pacientes, así como también agregar, modificar o eliminar usuarios, y proporciona un resumen de los resultados generados por el sistema sobre el análisis de las imágenes, combinado con las observaciones que el doctor haga de las mismas.

Al final de esta etapa se procederá a hacerle las siguientes pruebas al sistema:

- ✓ Pruebas de validación.
- ✓ Pruebas funcionales.



## 4.2 DESARROLLO DEL ALGORITMO DE TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES (BALTASAR)

### 4.2.1 Adquisición de las Imágenes

En el desarrollo del proyecto no se llevó a cabo un trabajo en cuanto a la captura de imágenes necesarias para el estudio; ya que se contó con una base de datos de tomografías axiales cerebrales<sup>15</sup>, de una recopilación que se hizo de tres hospitales de Londres:

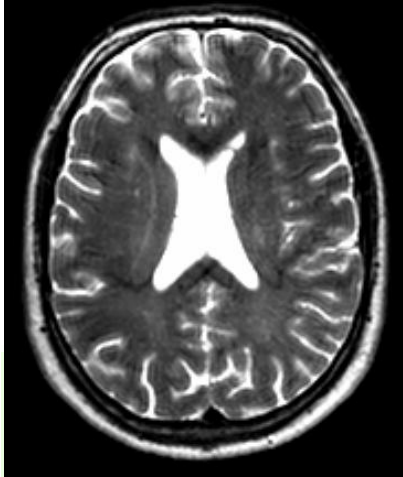
- **Hammersmith Hospital using a Philips 3T system**
- **Guy's Hospital using a Philips 1.5T system**
- **Institute of Psychiatry using a GE 1.5T system**

### 4.2.2 Representación de las Imágenes

A lo largo del desarrollo y tratamiento de las imágenes estas serán representadas matemáticamente por medio de matrices de puntos  $I$  de tamaño **N** Filas **M** columnas, cuyo valor de **(n, m)** representara un pixel dentro de la imagen. La representación de las imágenes en las redes neuronales se hará por medio de un vector de dimensión **N\*M**.

---

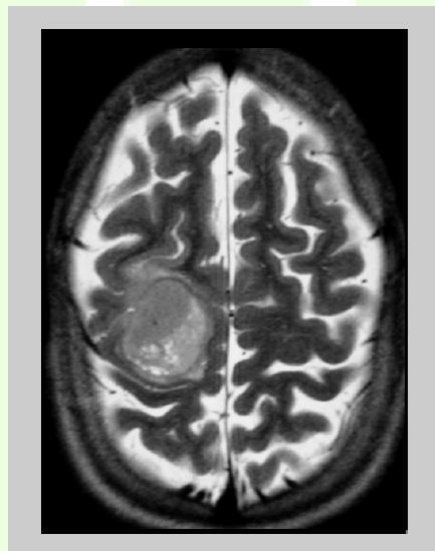
<sup>15</sup>Facilitadas por medio del sitio web: <http://brain-development.org/>, en donde se especifica que son imágenes de carácter libre.



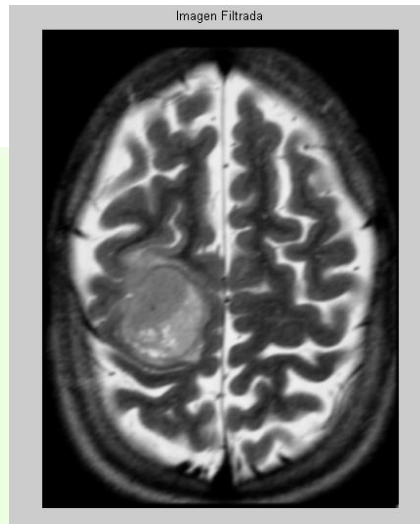
**Figura No 17.** Tomografía axial computarizada  
Fuente: <http://brain-development.org/>

#### 4.2.3 Filtrado de las Imágenes.

Se inicia con el proceso de filtrado de la imagen para ello se utilizan filtros que realcen bordes y que permitan identificar las diferentes zonas presentes en las imágenes a estudiar, se utilizó un filtro paso bajo que unifica la tonalidad de los objetos presentes en la imagen. El filtrado facilita el proceso de umbralización para que la selección de umbrales sea la adecuada.



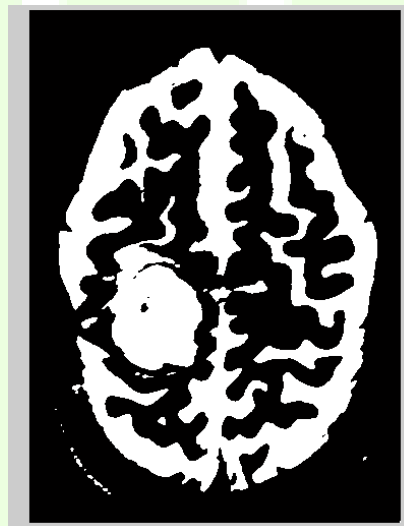
**Figura No 18.** Imagen sin filtro  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.



**Figura No 19.**Imagen filtrada  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.

#### 4.2.4 Binarización de las imágenes.

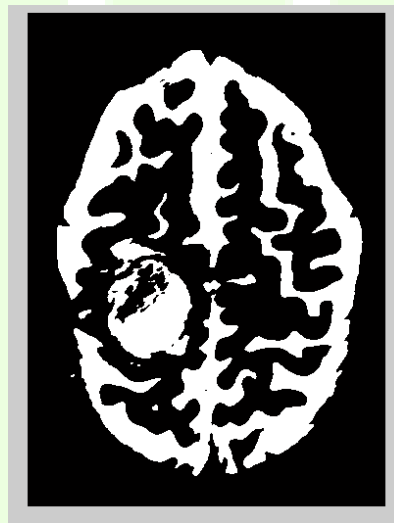
La binarización de la imagen se realiza mediante la comparación numérica de los píxeles que conforman la imagen con el valor umbral. Si parte de la condición de que si el píxel de interés tiene un valor menor al umbral, entonces este tomara el valor de cero para la imagen binaria, de lo contrario tomara el valor de uno.



**Figura No 20.**Imagen filtrada y binarizada.  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.

#### 4.2.5 Umbralización de las Imágenes.

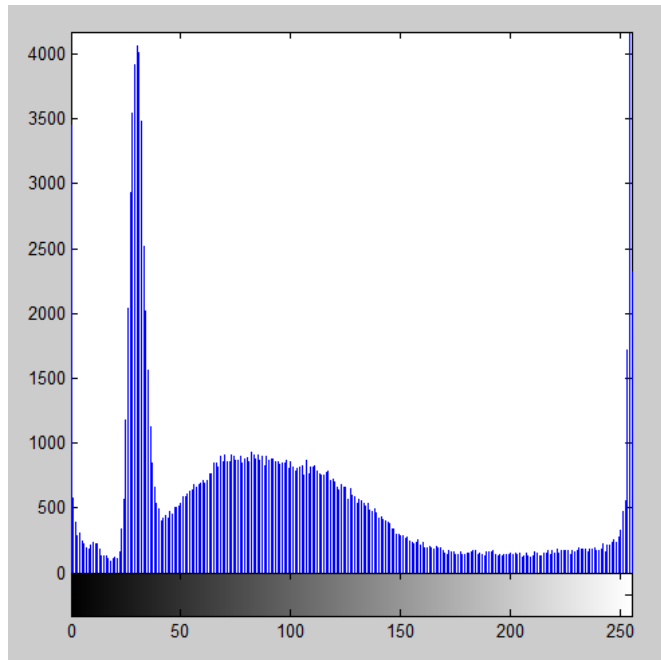
La umbralización de una imagen en escala de grises, nos permite dado un umbral definido por algún método, separar lo que es fondo de los que es objeto, siempre y cuando el fondo y el objeto tengan sus niveles de gris agrupados en dos modos dominantes.



**Figura No 21.**Imagen umbralizada mediante el método triangular.  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.

##### 4.2.5.1 Método triangular.

Los umbrales fueron hallados por medio del método triangular; el método triangular genera un vector de **N** umbrales. Los cuales son calculados según el histograma de cada imagen en escala de grises.



**Figura No 22.** Histograma de una tomografía  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.

#### 4.2.5.2 Optimización del método triangular.

Con el fin lograr una mayor gama de imágenes binarias para ser analizadas, se implementó un ciclo para calcular el punto medio de los valores de umbral hallados por el método triangular. La idea consiste en hallar un promedio entre el umbral  $U_i$  y  $U_{i+1}$  para obtener un arreglo de umbrales más amplio.

$$U_m = \frac{(U_i + U_{i+1})}{2}, \text{ donde } i \leq n - 1$$

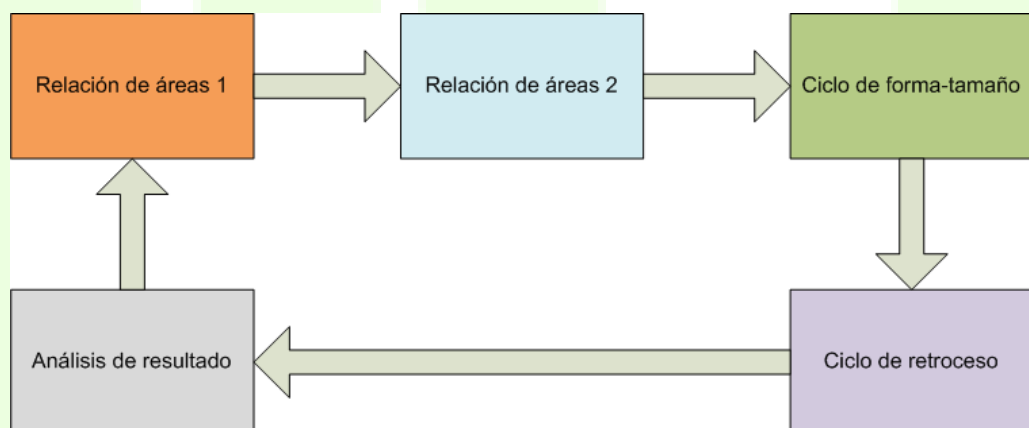
**Figura No 23.** Expresión para hallar el promedio de dos puntos.  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.

El resultado final de la optimización es un arreglo de  $n + (n - 1)$  posiciones donde  $(n - 1)$  son los puntos medios hallados.

#### 4.2.6 Segmentación de las Imágenes.

La segmentación es el proceso que divide una imagen en regiones u objetos cuyos píxeles poseen atributos similares (por ejemplo, niveles de gris, textura, etc.). Cada región segmentada suele tener un significado físico dentro de una imagen.

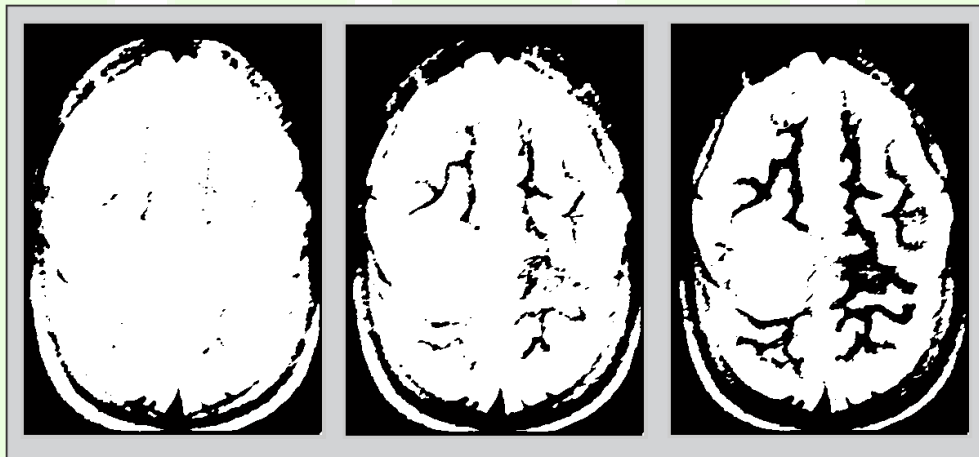
Partiendo de que se obtuvo un arreglo de  $m = n + (n - 1)$  posiciones la solución se plantea como el recorrido del arreglo de umbrales aplicados a la binarización de la imagen, proceso en el cual por medio de las propiedades de la misma se da la separación de objetos. Dichos objetos serán analizados por medio de diferentes criterios para la selección del umbral adecuado. Se determinó con el fin de optimizar el tiempo de ejecución del algoritmo que las imágenes serán sometidas a sub-procesos iterativos que abrirán paso a otro sub-proceso o finalizaran el recorrido del vector de umbrales.



**Figura No 24.** Sub-procesos del sistema.  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.

#### 4.2.6.1 Criterio de segmentación por proporcionalidad de área total de la imagen.

Para describir el funcionamiento de este proceso se debe indicar que según un estudio realizado en el desarrollo del proyecto el espacio ocupado por el cráneo en la imagen es de aproximadamente el 70%. Inicialmente se selecciona el área del objeto más grande por propiedades de la imagen. El cráneo tiene la característica de ser el objeto con el área más grande de la matriz  $N \times M$ . El índice del vector umbrales avanza hasta que el área del objeto sea menor que el 70% del área total y hasta que el número de objetos en la imagen binarizada sea mayor que uno.



**Figura No 25.** Resultado del primer criterio.  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.

#### 4.2.6.2 Criterio de segmentación por relación de objetos en la imagen.

La condición para evaluar la imagen con el segundo criterio de segmentación es que existan dos o más objetos en la imagen. Su objetivo es que la relación entre el objeto más grande y el siguiente en orden descendente tengan una proporcionalidad que garantice una marcada separación entre los objetos de la imagen. Un tumor cerebral se caracteriza por tener una masa sobresaliente respecto a la de los demás tejidos que lo rodean por lo tanto la diferencia entre dichas áreas no debe ser muy amplia.

Dado el umbral  $U_i$ , la proporcionalidad entre áreas se define como:

$$P = \frac{Area_2}{Area_1}$$

Donde,  $Area_1 > Area_2$

Se comprobó que haciendo que la proporción  $P$  sea mayor o igual que 0,1 se cumple el objetivo de lograr una marcada separación entre objetos de la imagen que tengan un tamaño similar a un tumor cerebral.

El índice del vector umbrales avanzara hasta que la relación  $P$  sea mayor que 0,1.



**Figura No 26.** Imágenes generadas por el segundo criterio.  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.

### 4.2.6.3 Criterio de forma y tamaño.

El resultado del criterio de segmentación descrito anteriormente no garantiza que los objetos obtenidos tengan la forma y tamaño de un tumor cerebral. Las regiones obtenidas deben ser sometidas a un análisis.

En este punto el índice  $i$  del vector umbrales  $U$  debe haber avanzado las posiciones determinadas por los anteriores criterios por lo que el análisis se resume en verificar los umbrales restantes.

El criterio de forma-tamaño inicia con la separación y eliminación de huecos en los objetos. La primera condición es que el área del objeto debe estar dentro del intervalo [ $Area_{min}$ ,  $Area_{max}$ ] sino será descartado.

Vector Binario de forma-tamaño							
1	0	1	1	0	0	0	0
Vector de errores							
0.3500	1.0000	0.9500	0.8000	1.0000	1.0000	1.0000	NaN

**Figura No 27.** Vector binario y vector de errores.  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.

#### 4.2.6.3.1 Criterio de circularidad.

En la mayoría de los casos de las tomografías axiales los tumores tienden a una forma circular deforme razón por la cual se decidió usar el criterio de circularidad definido como:

$$C = \frac{P^2}{A}$$

Donde  $P$  es el perímetro y  $A$  es el área del objeto. Por definición si  $C$  es un valor aproximado a  $4\pi$ , el objeto tiende a ser un círculo.

$$\frac{(2\pi r)^2}{\pi^2} = 4\pi$$

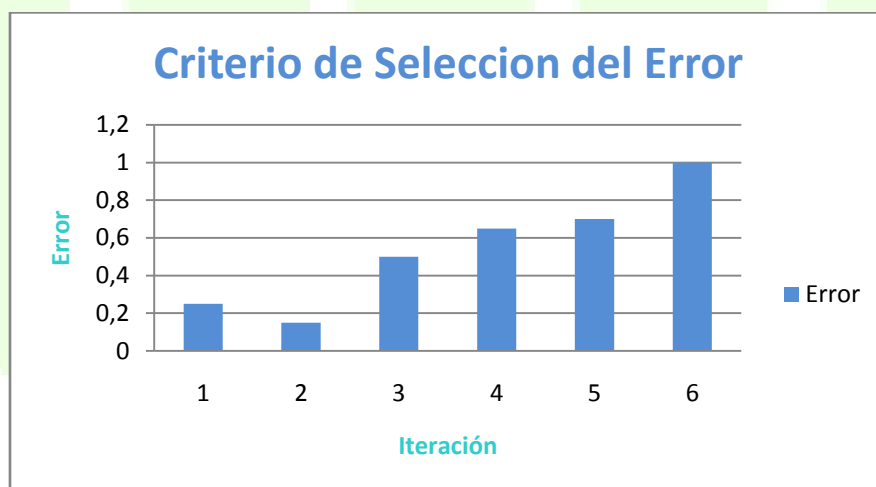
#### 4.2.6.3.2 Autoajuste del error.

El resultado del criterio de circularidad debe encontrarse en el intervalo  $[4\pi - 4\pi * e, 4\pi + 4\pi * e]$ , donde  $e$  es el porcentaje de error determinado. Dado que la forma de un tumor es variable se determinó que el cálculo del error se haría de forma iterativa donde el error se inicializa en  $0$  con un delta  $\alpha = 0.05$  de esta forma halla el error mínimo que tiene cada objeto que haya cumplido estar en el intervalo  $[Area_{min}, Area_{max}]$ .

$$ea_{i+1} = \sum_{i=0}^n ea_i + \alpha$$

Donde  $ea$  es el error actual,  $n$  es el número de iteraciones máximas y  $\alpha$  es el delta de avance.

El promedio del error de todos los objetos con umbral  $U_i$  será almacenado en el vector de error y el resultado de la condición de forma-tamaño será almacenado en un vector binario. Para escoger el umbral  $U_i$  adecuado se debe tener en cuenta que este asociado al error mínimo de índice  $i$  del vector de error. Si ningún objeto de las imágenes umbralizadas cumple la condición de forma-tamaño se activara el proceso de retroceso.



**Figura No 28.** Errores obtenidos en la ejecución.  
Fuente: Grafica obtenida a partir de los resultados de la ejecución.

#### 4.2.6.4 Proceso de retroceso.

El proceso de retroceso es el encargado de verificar que se cumple la condición de forma-tamaño en los anteriores elementos del vector  $U$  si no se cumple el criterio de forma-tamaño.

```
Vector Binario de forma-tamaño
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Vector de errores
1.0000 NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN

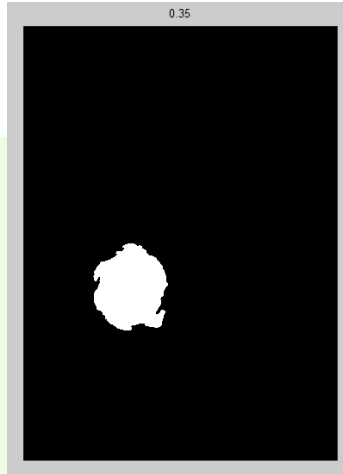
Hallando el minimo error y validando forma y tamaño
Retroceso activado
Vector Binario de forma-tamaño
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1

Vector de errores
NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN 0.1000
```

**Figura No 29.**Proceso de retroceso.  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.

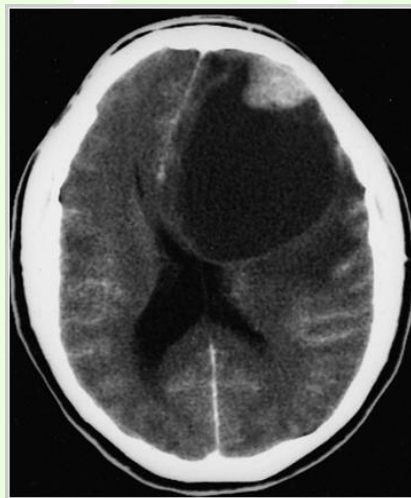
#### 4.2.7 Extracción de Elementos de la Imagen

Para extraer los elementos de la imagen que se presume son tumores se aplica el criterio de forma-tamaño obteniendo el error mínimo. Para seleccionar los objetos que se van a extraer como cuerpo extraño se tiene como condición que el error generado de cada objeto  $e_o$  debe ser menor al error actual  $e_a$  (promedio de error de los objetos de la imagen con umbral  $U_i$ ). Los objetos seleccionados se acumularan en una matriz  $B$  de  $N \times M$  ( $N, M$  son las dimensiones de la imagen original).

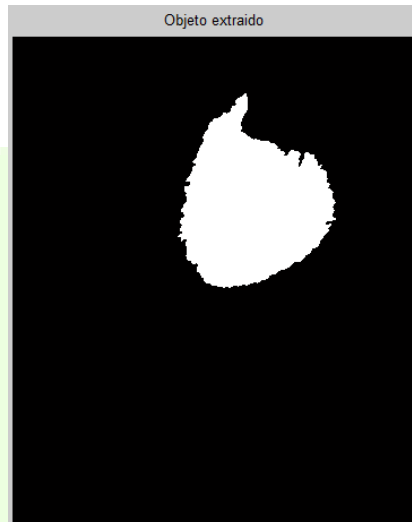


**Figura No 30.** Objeto extraído.  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.

Si la matriz **B** es vacía el proceso volverá a dar inicio pero esta vez con la imagen binaria negada. Este caso se da en tomografías en las que el tumor tiende a ser oscuro.



**Figura No 31.** Tumor oscuro.  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.



**Figura No 32.** Objeto extraído de una tomografía.  
Fuente: Imagen obtenida utilizando el módulo de procesamiento desarrollado.

#### 4.2.8 Registro

En esta etapa se recopilan todas aquellas características que dieron un resultado positivo a la presencia de tumor, esto corresponde a los criterios mencionados anteriormente, además se tiene la imagen final que es aquella que genero el programa en donde se resaltan las zonas afectadas por el tumor, la cual se almacena en la base de datos para su posterior estudio y verificación de resultados, puede ser llevada a cabo inmediatamente después de realizado el proceso de análisis por el algoritmo o bien después cuando el doctor lo considere necesario.

### 4.3 DESARROLLO DE LA RED NEURONAL (MELCHOR-GASPAR)

Las redes neuronales son una técnica de inteligencia artificial muy utilizada para resolver problemas de reconocimiento de patrones ya que cuenta con la característica de generalizar situaciones desconocidas a partir de casos de entrenamiento. Se han implementado dos redes neuronales; la primera con el fin de validar las imágenes de entrada (MELCHOR) y la segunda con la tarea de clasificar las imágenes en casos sospechosos o cerebros sanos (GASPAR).

#### 4.3.1 DISEÑO DE LA RED NEURONAL

Se ha decidido usar una red neuronal multicapa con un algoritmo de aprendizaje supervisado de retropropagación ya que con este modelo se puede lograr un entrenamiento confiable al minimizar el error cuadrático por medio del descenso del gradiente.

$$\Delta W = -\gamma \frac{\partial E(W)}{\partial W}$$

**Figura No 33.** Incremento de los parámetros  
Fuente: Fuente: Wikipedia.org

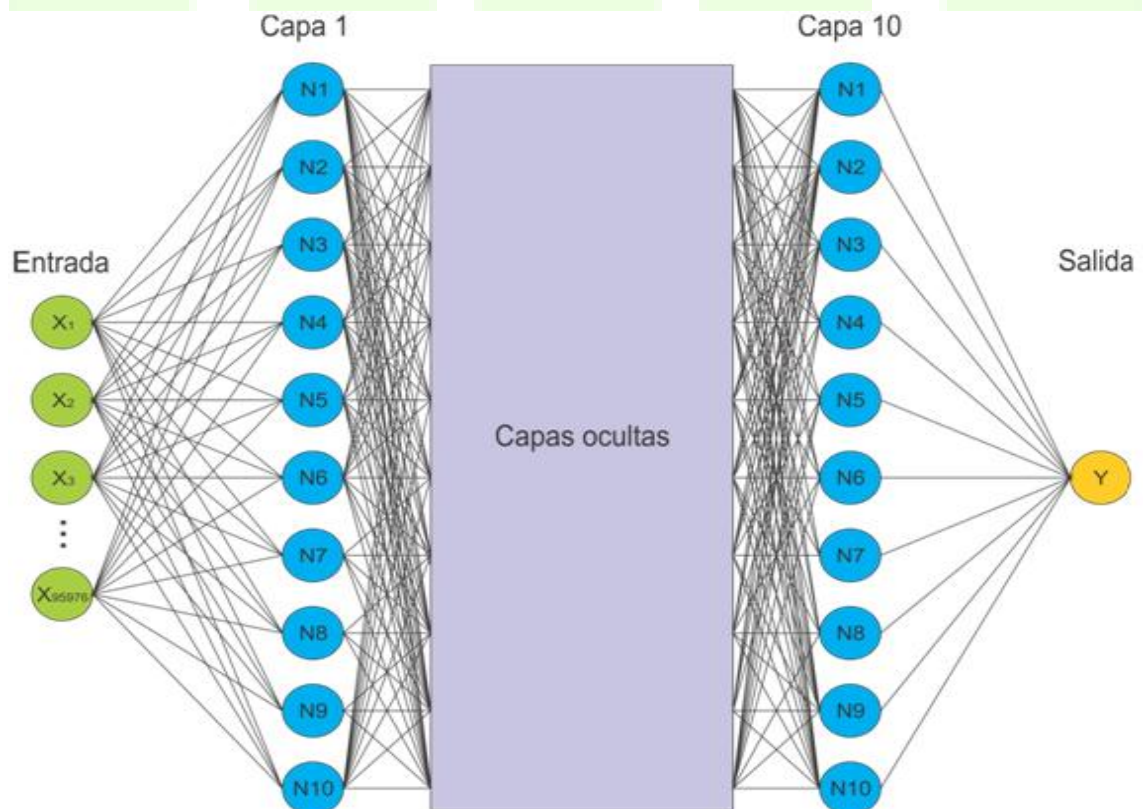
##### 4.3.1.1 DEFINICIÓN DEL VECTOR DE ENTRADA.

Las imágenes se definen como matrices de **N x M**, debido a que las imágenes son muy variadas y de diferentes fuentes se optó por redimensionar las imágenes a **N'=279** y **M'=344** pixeles por lo que la entrada a la red neuronal es un vector de **N\*M=95976** posiciones. A la entrada se le denominara **X** donde cada posición será un valor entre **0** y **255** el cual expresa un color en escala de grises para cada pixel.

#### 4.3.1.2 DEFINICION DE LA SALIDA

Las dos redes neuronales tanto la de validación de imágenes como la de clasificación tendrán solo una salida ya que lo único que se requiere es saber si la imagen pertenece o no al conjunto deseado. La salida se le denominara  $Y$ .

#### 4.3.1.3 ARQUITECTURA DE LA RED NEURONAL



**Figura No 34.**Arquitectura de la red neuronal.  
Fuente: Diseño de los autores.

El diseño de la red neuronal tiene como parámetros:

- La implementación de 8 capas ocultas.
- 10 neuronas en cada capa
- La función de transferencia usada es la sigmoideal.
- El algoritmo de aprendizaje es el de retropropagación con descenso de gradiente

En la primera fase se aplica un patrón de entrada como estímulo para la primera capa de las neuronas de la red, se va propagando a través de todas las capas superiores hasta generar una salida, después el resultado obtenido en las neuronas de salida con la salida que se quiere obtener y se calcula un valor del error para cada neurona de salida.

En la segunda fase estos errores se transmiten hacia atrás, partiendo de la capa de salida, hacia todas las neuronas de la capa intermedia que contribuyan directamente a la salida recibiendo el porcentaje de error aproximado a la participación de la neurona intermedia en salida original.

#### **4.3.2 SELECCION DE IMAGENES DE ENTRENAMIENTO**

Para que la red neuronal tenga un buen desempeño en la simulación, los casos de entrenamiento deben ser cuidadosamente seleccionados. Para esta fase las imágenes de entrenamiento serán escogidas de la base de datos según criterios de forma, tamaño y ubicación.

Las imágenes de entrenamiento seleccionadas para esta red serán casos de:


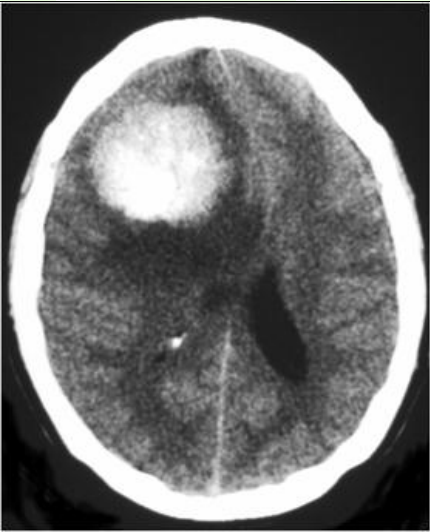
- Cerebros sanos
- Cerebros con tumor

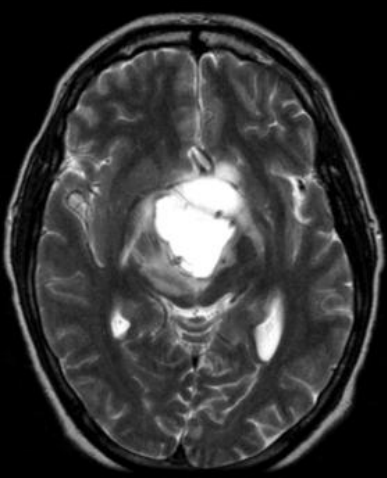
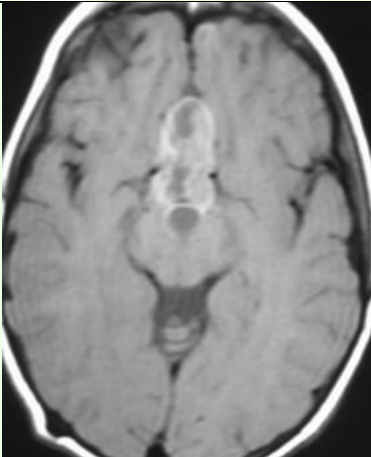
Se seleccionaron 34 imágenes en total entre las cuales 17 son cerebros sanos, 17 son cerebros con tumor.

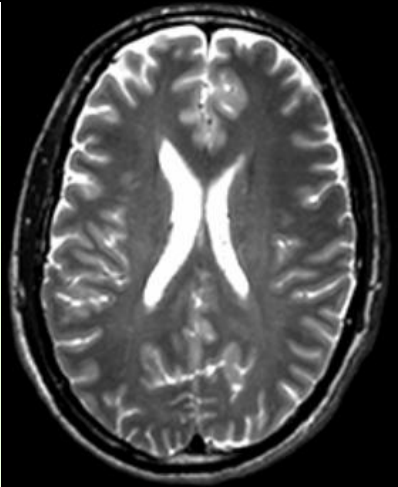
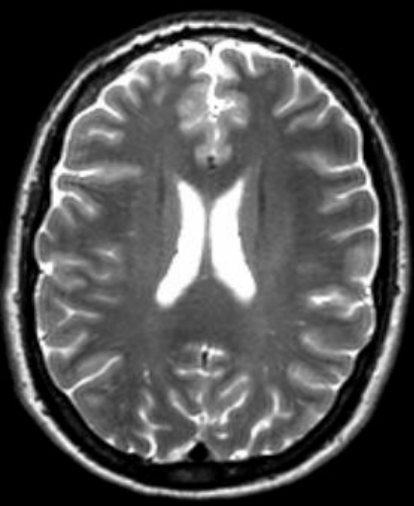
Las salidas deseadas se definen como  $Y \in [0, 1]$ . En la red neuronal de validación (MELCHOR)  $Y = 0$  será tomado como imagen inválida y  $Y = 1$  será tomado como imagen válida.

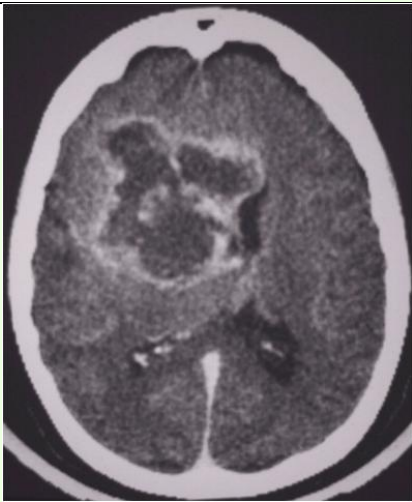
En la red neuronal de clasificación (GASPAR)  $Y = 0$  será tomado como imagen libre de sospecha y  $Y = 1$  será tomado como imagen sospechosa

Algunos casos de entrenamiento son:

<b>CASO DE ENTRENAMIENTO 1</b>	
<b>Imagen</b>	<b>Descripción</b>
	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte media superior derecha.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Circular deforme</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 13% de la imagen</p>
<b>Salidas deseadas</b>	
<b>RNA(MELCHOR)</b>	<b>RNA(GASPAR)</b>
Es un cerebro $Y = 1$	Imagen sospechosa $Y = 1$
<b>CASO DE ENTRENAMIENTO 2</b>	
<b>Imagen</b>	<b>Descripción</b>
	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte superior derecha.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Circular</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 11% de la imagen</p>
<b>Salidas deseadas</b>	
<b>RNA(MELCHOR)</b>	<b>RNA(GASPAR)</b>
Es un cerebro $Y = 1$	Imagen sospechosa $Y = 1$

<b>CASO DE ENTRENAMIENTO 3</b>	
<b>Imagen</b>	<b>Descripción</b>
	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte media.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Circular deforme</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 10% de la imagen</p>
<b>Salidas deseadas</b>	
<b>RNA(MELCHOR)</b>	<b>RNA(GASPAR)</b>
Es un cerebro $Y = 1$	Imagen sospechosa $Y = 1$
<b>CASO DE ENTRENAMIENTO 4</b>	
<b>Imagen</b>	<b>Descripción</b>
	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte media superior.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Alargada</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 11% de la imagen</p>
<b>Salidas deseadas</b>	
<b>RNA(MELCHOR)</b>	<b>RNA(GASPAR)</b>
Es un cerebro $Y = 1$	Imagen sospechosa $Y = 1$

<b>CASO DE ENTRENAMIENTO 5</b>	
<b>Imagen</b>	<b>Descripción</b>
	<p><b>Cerebro Sano</b></p> <p>No presenta masas extrañas en la corteza cerebral.</p>
<b>Salidas deseadas</b>	
<b>RNA(MELCHOR)</b>	<b>RNA(GASPAR)</b>
Es un cerebro $Y = 1$	Imagen libre de sospechosa $Y = 0$
<b>CASO DE ENTRENAMIENTO 6</b>	
<b>Imagen</b>	<b>Descripción</b>
	<p><b>Cerebro sano</b></p> <p>No presenta masas extrañas en la corteza cerebral.</p>
<b>Salidas deseadas</b>	
<b>RNA(MELCHOR)</b>	<b>RNA(GASPAR)</b>
Es un cerebro $Y = 1$	Imagen libre de sospecha $Y = 0$

CASO DE ENTRENAMIENTO 7	
Imagen	Descripción
	<p><b>Cerebro sano</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte media superior.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Deforme</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 15% de la imagen</p>
<b>Salidas deseadas</b>	
<b>RNA(MELCHOR)</b>	<b>RNA(GASPAR)</b>
Es un cerebro $Y = 1$	Imagen sospechosa $Y = 1$

**Figura No 35.** Casos de entrenamiento de la red neuronal.  
Fuente: Diseño de los autores.

#### 4.3.3 NORMALIZACION DE LOS DATOS DE ENTRADA DE LA RED NEURONAL

Inicialmente los valores están almacenados en una matriz en escala de grises es decir los valores están entre 0 y 255. Para que la red neuronal pueda admitir una entrada como válida los valores deben ser normalizados a una escala entre 0 y 1. La normalización se llevó a cabo de la siguiente manera:

$$N_{m,n} = \frac{P_{m,n}}{255}$$

Donde  $N_{m,n}$  es valor normalizado del pixel y  $P_{m,n}$  es el valor entre 0 y 255 en una fila  $m$  y columna  $n$ .

#### 4.3.4 ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL

Para lograr el entrenamiento deseado se elaboró un script en Matlab utilizando las funciones de redes neuronales incluidas en la herramienta.

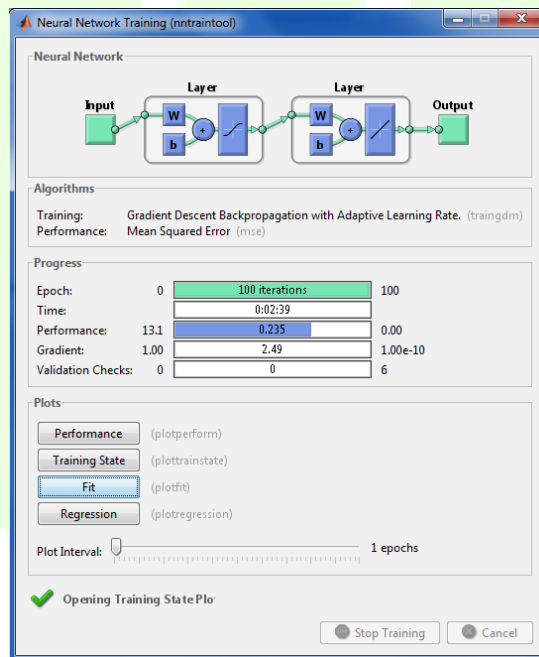
Los parámetros fueron los siguientes:

```
red.trainFcn='traingdm';  
red.trainParam.epochs=100;  
red.divideFcn='';
```

**Figura No 36.** Parámetros de entrenamiento.  
Fuente: Diseño de los autores.

El entrenamiento se realizó con 100 épocas de entrenamiento, con un algoritmo de aprendizaje de retro-propagación con descenso del gradiente (traingdm), con pruebas aleatorias inhabilitadas con el fin de garantizar que se lleven a cabo todas las iteraciones definidas en el parámetro 'epochs'.

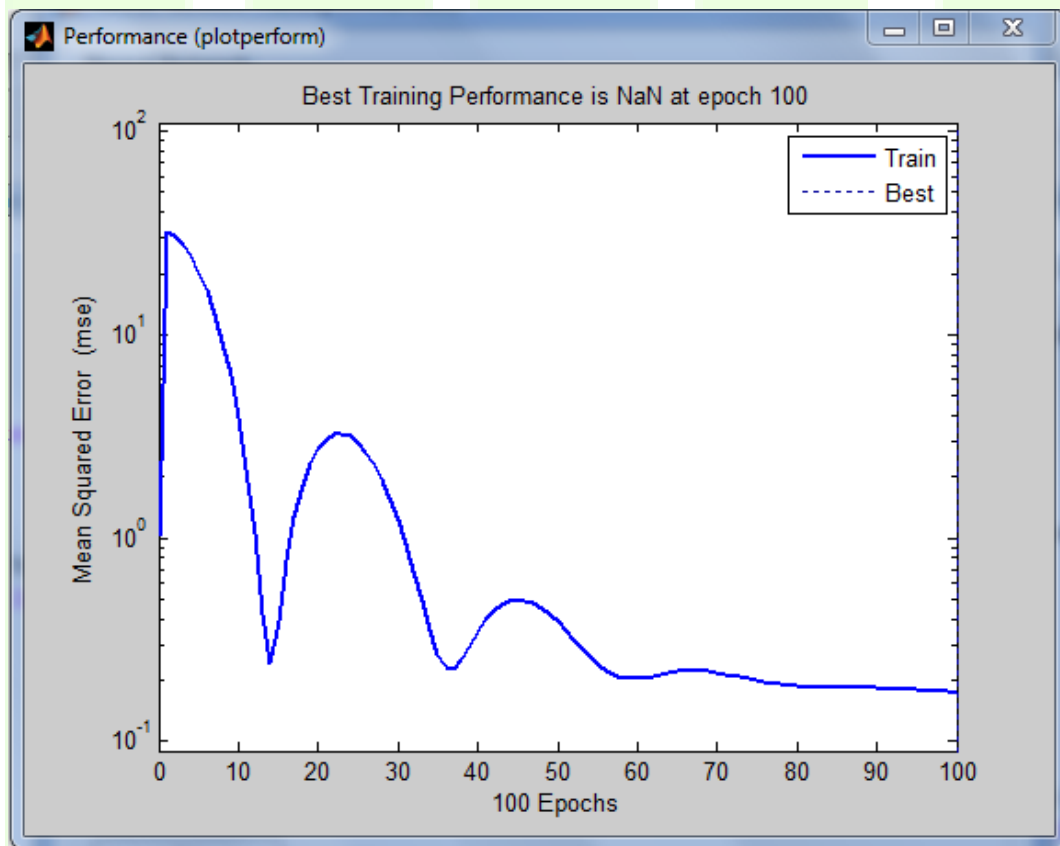
Se procede a entrenar la red neuronal con los parámetros seleccionados. En la figura se puede observar que todos los parámetros de entrenamiento han sido aplicados satisfactoriamente



**Figura No 37** .Estado del entrenamiento.

Fuente: Imagen del toolbox de redes neuronales de MATLAB.

De lasiguientegráfica se puede deducir que con 8 capas ocultas el error cuadrático medio tiende a cero desde la época 60. En pruebas realizadas para 20, 50 y 100 capas ocultas se notó que el error cuadrático medio variaba de forma irregular lo cual demostró que entre 8 y 10 capas ocultas la red neuronal se comportaba de forma óptima.



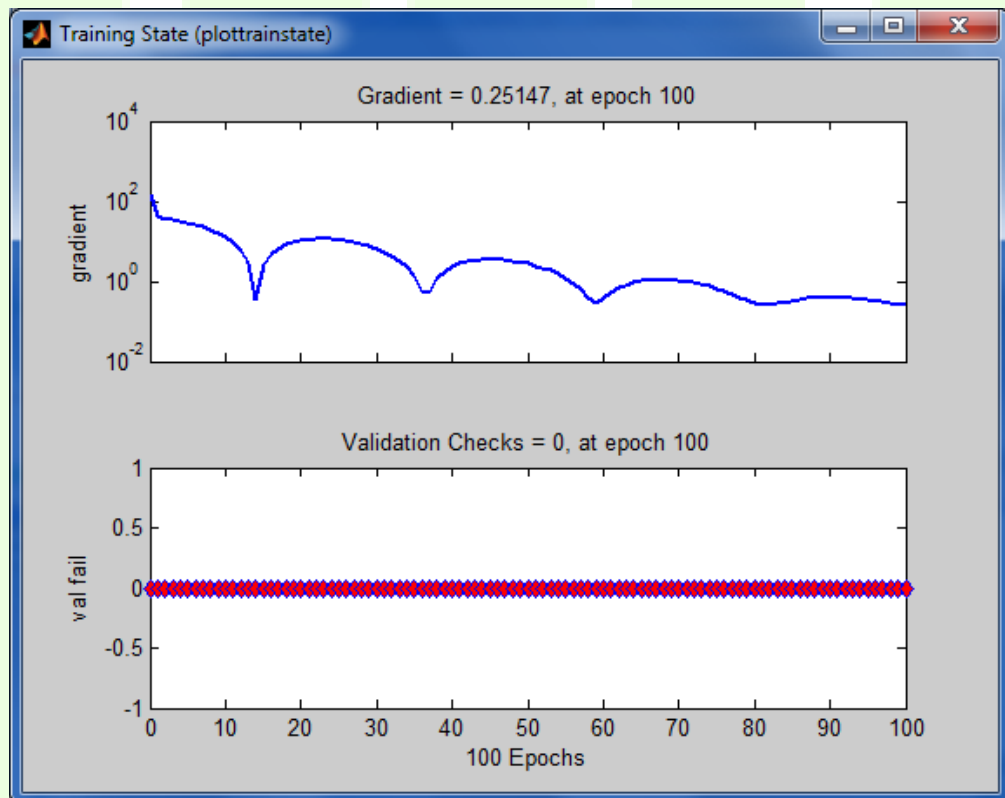
**Figura No 38**.Grafica de rendimiento.

Fuente: Imagen del toolbox de redes neuronales de MATLAB.

En la siguiente figura se ve el comportamiento del descenso del gradiente en la época 100, el valor mínimo obtenido por dicho gradiente varía dependiendo de

parámetros como: número de capas, número total de épocas y casos de entrenamiento.

La sub-figura inferior muestra que efectivamente se ha deshabilitado la ejecución automática de validaciones durante el entrenamiento esto con el fin de hacer todas las iteraciones.



**Figura No 39.**Gráfica del estado del entrenamiento.  
Fuente: Imagen del toolbox de redes neuronales de MATLAB.

#### 4.3.5 SIMULACION DE LA RED NEURONAL

Para la etapa de simulación se escogieron imágenes aleatorias de la base de datos. Para facilitar la lectura de resultados se implementó una rutina que mostrara los resultados de la simulación de forma entendible.

#### 4.3.5.1 MELCHOR

La simulación se realizó con 87 imágenes de las cuales 82 se notificaron como imágenes válidas. Las imágenes utilizadas en la simulación se clasificaban en:

- ✓ Imágenes de cerebros sanos
- ✓ Imágenes de cerebros con sospecha de tumor
- ✓ Imágenes que no tenían que ver nada con cerebros

```
Imagen # 78 Resultado=0.88175
Si es un cerebro
Imagen # 79 Resultado=0.88175
Si es un cerebro
Imagen # 80 Resultado=0.88175
Si es un cerebro
Imagen # 81 Resultado=0.88175
Si es un cerebro
Imagen # 82 Resultado=0.88175
Si es un cerebro
Imagen # 83 Resultado=0.88175
Si es un cerebro
Imagen # 84 Resultado=0.88175
Si es un cerebro
Imagen # 85 Resultado=0.88175
Si es un cerebro
Imagen # 86 Resultado=0.14449
No es un cerebro
Imagen # 87 Resultado=0.37348
No es un cerebro
```

**Figura No 40. Resultado de la simulación.**  
Fuente: Modulo desarrollado por los autores

Para la selección de imágenes se tuvo en cuenta un margen de error  $e$  del 82%.

#### 4.3.5.2 GASPAR

La simulación se realizó con 44 imágenes de las cuales 42 se notificaron como imágenes sospechosas. Las imágenes utilizadas en la simulación se clasificaban en:

- ✓ Imágenes de cerebros sanos
- ✓ Imágenes de cerebros con sospecha de tumor

```
Imagen # 35 Resultado=-0.0039062          Sospecha de presencia de tumor
Imagen # 36 Resultado=0.2357             Sospecha de presencia de tumor
Imagen # 37 Resultado=1                  Cerebro sano
Imagen # 38 Resultado=1                  Cerebro sano
Imagen # 39 Resultado=1                  Cerebro sano
Imagen # 40 Resultado=1                  Cerebro sano
Imagen # 41 Resultado=1                  Cerebro sano
Imagen # 42 Resultado=1                  Cerebro sano
Imagen # 43 Resultado=1                  Cerebro sano
```

**Figura No 41. Resultado de la simulación.**  
Fuente: Modulo desarrollado por los autores

Para la selección de imágenes se tuvo en cuenta un margen de error del 82%.

#### 4.4 DESARROLLO JAVA

La implementación de interfaces en java es una opción muy buena en cuanto al perfeccionamiento de software cuando se plantea utilizar un software de desarrollo como Matlab que aunque posee una GUI que permite la implementación de interfaces, no son tan enriquecidas como las de JAVA, de

ahí que se estructuró un conjunto de interfaces desarrolladas en este último lenguaje con la finalidad de hacerlas más amigables para el usuario.

Dichas interfaces se agruparon en tres módulos de implementación cada uno relacionado con el otro pero a su vez con tareas independientes.

#### **4.4.1 MÓDULO DE CAPTURA DE IMÁGENES**

##### **4.4.1.1 Descripción del Módulo Captura de Imágenes.**

El módulo de captura de imágenes fue diseñado como un espacio de interacción con el usuario, para mejorar la forma como se trabaja el sistema en cuanto a la manipulación inicial de las imágenes.

Se tiene un inicio de sesión para que accedan por este a los servicios autorizados los diferentes tipos de usuarios.

Después de iniciada la sesión se tiene acceso a la herramienta donde se encontrara además del manual de usuario que posee la documentación necesaria para la manipulación de la misma, la información de la herramienta.

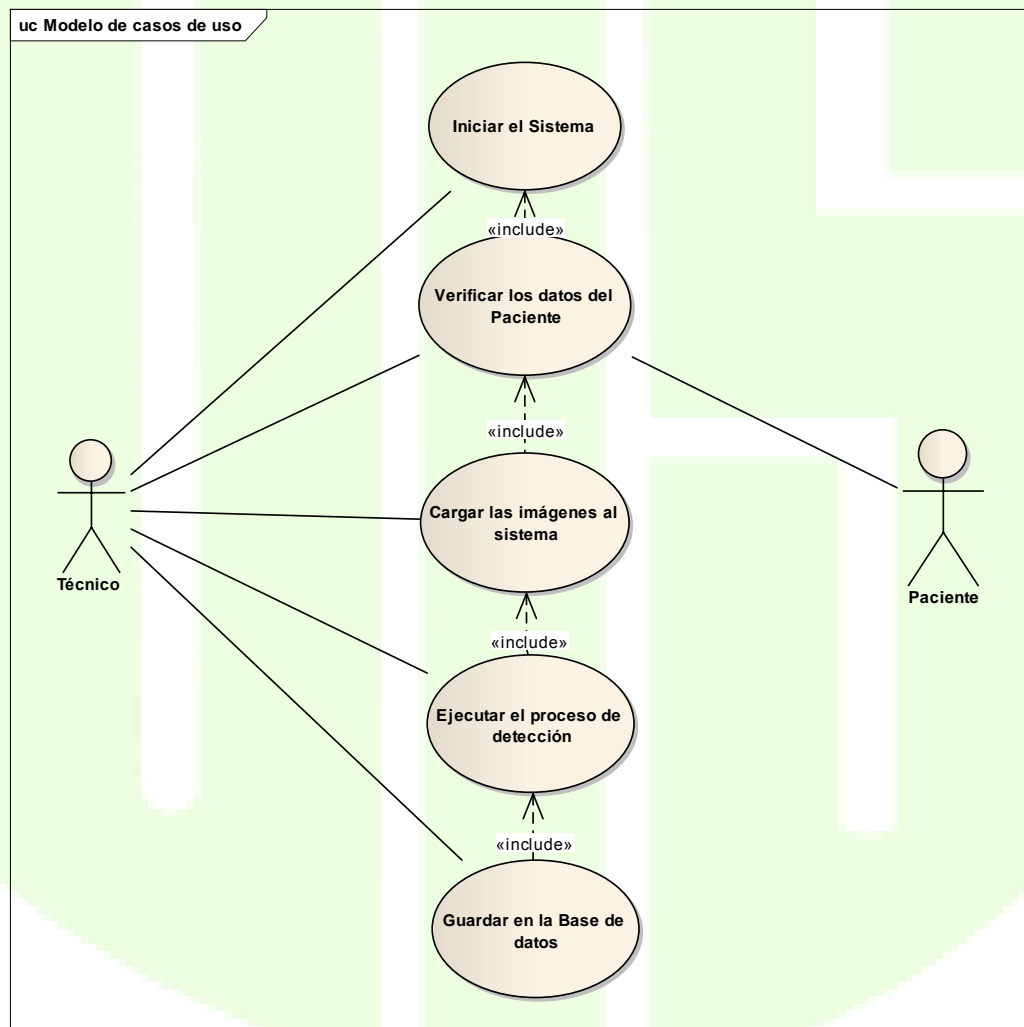
En cuanto a la gestión de usuarios del mismo solo se puede hacer desde el Modulo de Registro y Resultados, del cual se hará mención más adelante, en dicha gestión se especificara el tipo de usuario y los beneficios se le otorgan al perfil.

El modulo cumple tres funciones principales:

- a. **Captura de Imágenes:** en este paso se permite cargar las imágenes en el sistema con la finalidad de ser procesadas, este proceso tiene una validación sobre las imágenes que se desean ingresar para el análisis, dicha verificación se hace mediante el uso de una Red Neuronal Artificial, debidamente entrenada que identifica si la imagen que se desea cargar es un cerebro o no lo es.

- b. **Guardar en la Base de datos:** una vez se haya validado la autenticidad de las imágenes que se desean analizar estas son cargadas al sistema e inmediatamente registradas en la base de datos, haciendo parte del historial del paciente.
- c. **Análisis de la Imagen:** mediante la implementación de los métodos desarrollados y descritos en Matlab se analiza la imagen con la finalidad de encontrar presencia de cuerpos extraños en la misma e informar al usuario del mismo la presencia, registrando en la base de datos una imagen proporcionada por el sistema luego del análisis de la misma.

#### 4.4.1.2 Diagrama de Casos de Uso.



**Figura No 42.** Diagrama de casos de uso módulo captura de imágenes  
Fuente: Diseño de los autores.

La siguiente tabla describe los casos de uso de los actores que en él participan, es decir, el Técnico y el Paciente.

<b>Caso de Uso</b>	<b>Verificar datos del Paciente</b>	
<b>Actores</b>	Usuario, Paciente	
<b>Descripción</b>	Este caso de uso le permite al usuario verificar si los datos del paciente están en el sistema.	
<b>Precondiciones</b>	El usuario del sistema inicie interacción con el paciente para verificar los datos.	
<b>Flujo Principal</b>	<b>Acciones de Actor(es)</b>	<b>Respuestas del Sistema</b>
	El caso de uso se inicia cuando el Usuario establece comunicación con el Paciente. El usuario verifica la existencia del paciente en el sistema. Se comunica la respuesta al paciente	Se hace la comparación de datos del Paciente y los que están en el sistema.
<b>Pos Condiciones</b>	Dar Inicio al proceso de Diagnostico.	
<b>Sub-flujos</b>	El Paciente no está registrado en el sistema, por tanto la verificación no se realiza.	

**Tabla 2. Caso de Uso Verificar datos del Paciente**  
Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

<b>Caso de Uso</b>	<b>Cargar Imágenes al Sistema</b>	
<b>Actores</b>	Usuario	
<b>Descripción</b>	Este caso de uso es iniciado por el usuario del sistema, y le permite al mismo hacer la búsqueda de imágenes del paciente y cargarlas al sistema.	
<b>Precondiciones</b>	Que se le hayan practicado tomografías al paciente.	
<b>Flujo Principal</b>	<b>Acciones de Actor(es)</b>	<b>Respuestas del Sistema</b>
	El Usuario busca las imágenes asociadas al paciente.	El sistema carga al sistema las imágenes seleccionadas.
<b>Pos Condiciones</b>	Ejecutar la herramienta de Diagnostico	
<b>Sub-flujos</b>	Si el paciente es identificado por el sistema pero no tiene imágenes asociadas a él no se puede ejecutar este proceso.	

**Tabla 3. Caso de uso cargar imágenes al sistema**  
Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

<b>Caso de Uso</b>	<b>Ejecutar el Proceso de Detección.</b>	
<b>Actores</b>	Usuario	
<b>Descripción</b>	Este caso de uso es iniciado por el Usuario, el cual después de ubicar las imágenes a analizar permite obtener un diagnóstico del sistema.	
<b>Precondiciones</b>	Que la imagen a analizar sea un cerebro.	
<b>Flujo Principal</b>	<b>Acciones de Actor(es)</b>	<b>Respuestas del Sistema</b>
	El usuario ubica las imágenes a analizar. El Usuario ejecuta el análisis sobre la(s) imagen(es).	El sistema muestra el diagnóstico obtenido sobre la(s) imagen(es).
<b>Pos Condiciones</b>	Ninguno	
<b>Sub-flujos</b>	Ninguno	

Tabla 4. Caso de uso ejecutar el proceso de detección.  
Fuente: Modulo desarrollado en el Presente Proyecto

<b>Caso de Uso</b>	<b>Guardar en la Base de Datos</b>	
<b>Actores</b>	Usuario	
<b>Descripción</b>	Este caso de uso es iniciado por el Usuario, el cual después de hacer el análisis del sistema sobre la imagen e identificar el diagnóstico del mismo lo guarda en el sistema.	
<b>Precondiciones</b>	Que se haya ejecutado un análisis sobre la imagen.	
<b>Flujo Principal</b>	<b>Acciones de Actor(es)</b>	<b>Respuestas del Sistema</b>
	El usuario obtiene el diagnóstico del sistema. El usuario guarda la imagen y el diagnóstico generado por el sistema.	
<b>Pos Condiciones</b>	El médico podrá visualizar la imágenes analizadas del paciente.	
<b>Sub-flujos</b>	Ninguno.	

Tabla 5. Caso de uso guardar en la base de datos  
Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

## 4.4.2 MÓDULO DE ANÁLISIS

### 4.4.2.1 Descripción del Módulo de Análisis.

El módulo de análisis se hizo para brindar una interacción más sencilla de los profesionales de la salud con el sistema y así poder analizar los resultados del mismo de una forma más confiable e ingresar al sistema sus respectivas observaciones, opiniones y detalles.

Después de iniciada la sesión se tiene acceso a la herramienta donde se encontrara además del manual de usuario que posee la documentación necesaria para la manipulación de la misma, la información de la herramienta.

### 4.4.2.2 Diagrama de Casos de Uso

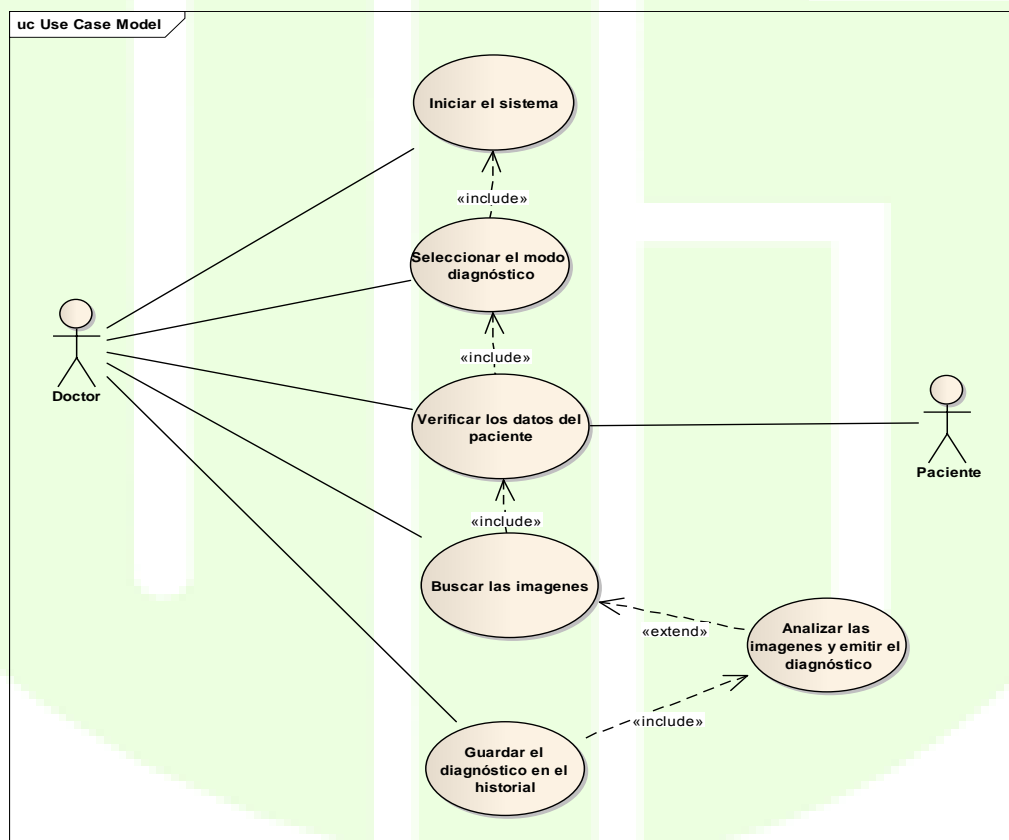


Figura No 43. Diagrama de casos de uso módulo diagnóstico  
Fuente: Diseño de los autores.

<b>Caso de Uso</b>	Verificar datos del paciente	
<b>Actor(es)</b>	Doctor, Paciente	
<b>Propósito</b>	Confirmar que el paciente este en la base de datos.	
<b>Descripción</b>	Este caso de uso es iniciado por el Doctor, el cual solicita al paciente información personal para verificar que se encuentra en la base de datos del sistema.	
<b>Precondición(es)</b>	Que el paciente establezca comunicación con el Doctor para verificar los datos.	
<b>Flujo Principal</b>	<b>Acciones de Actor(es)</b>	<b>Respuestas del Sistema</b>
	El caso de uso inicia cuando se establece una comunicación entre el Doctor y el paciente. El Doctor verifica la existencia del paciente. 4. Se comunica la respuesta al paciente.	Se hace la verificación delosdatos del paciente.
<b>Sub-flujos</b>	Paso 3: Si el paciente no está registrado en la base de datos no se realiza la verificación.	
<b>Poscondición(es)</b>	Dar inicio al proceso de diagnóstico.	

**Tabla 6. Caso de uso verificar datos del paciente**  
Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

<b>Caso de Uso</b>	Buscar las imágenes del paciente
<b>Actor(es)</b>	Doctor
<b>Propósito</b>	Obtener las imágenes del paciente.
<b>Descripción</b>	Este caso de uso es iniciado por el Doctor, el cual busca las respectivas imágenes del paciente en el sistema.

<b>Precondición(es)</b>	Que el paciente tenga guardadas imágenes.	
<b>Flujo Principal</b>	<b>Acciones de Actor(es)</b>	<b>Respuestas del Sistema</b>
	El Doctor busca las imágenes del paciente.	El sistema carga las imágenes.
<b>Sub-flujos</b>	Paso 2: Si el paciente existe en la base de datos pero no tiene imágenes guardadas no se puede llevar a cabo este proceso.	
<b>Poscondición(es)</b>	Analizar las imágenes encontradas y emitir el diagnóstico.	

**Tabla 7. Caso de uso buscar las imágenes del paciente**  
Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

<b>Caso de Uso</b>	Analizar las imágenes y emitir el diagnóstico	
<b>Actor(es)</b>	Doctor	
<b>Propósito</b>	Hacer un análisis detallado de cada una de las imágenes para poder obtener un diagnóstico acertado.	
<b>Descripción</b>	Este caso de uso es iniciado por el Doctor, el cual después de encontrar imágenes obtiene el diagnóstico del sistema y genera su propio diagnóstico.	
<b>Precondición(es)</b>	Que la imagen analizada sea un cerebro.	
<b>Flujo Principal</b>	<b>Acciones de Actor(es)</b>	<b>Respuestas del Sistema</b>
	El caso de uso inicia cuando el Doctor encuentra la imagen requerida. El Doctor analiza la imagen.	El sistema muestra el diagnóstico obtenido.

<b>Sub-flujos</b>	Ninguno.	
<b>Poscondición(es)</b>	Emitir diagnóstico.	

**Tabla 8. Caso de uso analizar las imágenes y emitir el diagnóstico**

Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

<b>Caso de Uso</b>	Guardar el diagnóstico en el historial	
<b>Actor(es)</b>	Doctor	
<b>Propósito</b>	Que cada paciente tenga una historia clínica.	
<b>Descripción</b>	Este caso de uso es iniciado por el Doctor, el cual después de analizar la imagen y mirar el diagnóstico arrojado por el sistema lo guarda.	
<b>Precondición(es)</b>	Que el doctor haya hecho el análisis.	
<b>Flujo Principal</b>	<b>Acciones de Actor(es)</b>	<b>Respuestas del Sistema</b>
	El caso de uso inicia cuando el Doctor escribe su análisis en el sistema. El Doctor guarda el análisis en el sistema.	El sistema muestra un mensaje de verificación de guardado.
<b>Sub-flujos</b>	Paso 1: Que el doctor no haya digitado su diagnóstico.	
<b>Poscondición(es)</b>	Creación del historial clínico del paciente.	

**Tabla 9. Caso de uso guardar el diagnóstico en el historial**

Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

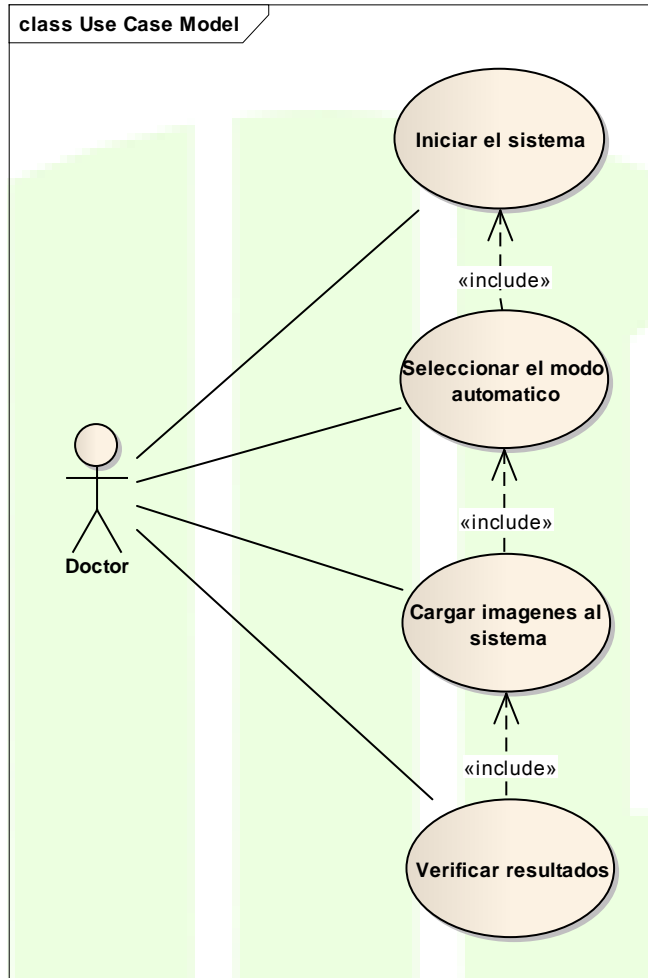


Figura No 44. Diagrama de casos de uso módulo diagnostico  
Fuente: Diseño de los autores.

<b>Caso de Uso</b>	Cargar imágenes al sistema	
<b>Actor(es)</b>	Doctor	
<b>Propósito</b>	Que el doctor pueda evaluar la efectividad del sistema.	
<b>Descripción</b>	Este caso de uso es iniciado por el Doctor cuando este carga las imágenes que quiere analizar.	
<b>Precondición(es)</b>	Que el doctor cargue al menos una imagen.	
<b>Flujo Principal</b>	<b>Acciones de Actor(es)</b>	<b>Respuestas del Sistema</b>

	El caso de uso inicia cuando el Doctor carga imágenes.  3. El Doctor activa el algoritmo.	El sistema verifica que la imagen seleccionada es un cerebro.  El sistema analiza la imagen.
<b>Sub-flujos</b>	Paso 2: Que la imagen cargada sea un cerebro.	
<b>Poscondición(es)</b>	Obtener resultados del sistema.	

Tabla 10. Caso de uso cargar imágenes al sistema  
Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

<b>Caso de Uso</b>	Verificar resultados	
<b>Actor(es)</b>	Doctor	
<b>Propósito</b>	Que el doctor pueda visualizar los resultados generados por el algoritmo.	
<b>Descripción</b>	Este caso de uso es iniciado por el Doctor después de ejecutar el algoritmo.	
<b>Precondición(es)</b>	Que el sistema haya generado el diagnóstico.	
<b>Flujo Principal</b>	<b>Acciones de Actor(es)</b>	<b>Respuestas del Sistema</b>
	El caso de uso inicia cuando el Doctor oprime el botón visualizar.	2. El sistema muestra las imágenes y el tumor detectado.
<b>Sub-flujos</b>	Ninguno.	

<b>Poscondición(es)</b>	El doctor tendrá una base de datos con los resultados del sistema.
-------------------------	--

**Tabla 11. Caso de uso verificar resultados**

Fuente: Módulo desarrollado en el presente proyecto

### 4.4.3 MODULO DE REGISTRO Y RESULTADOS

#### 4.4.3.1 Descripción del Módulo de Registro y Resultados

El módulo de Registro y Resultados fue diseñado y desarrollado con la finalidad de ofrecer al usuario la opción de gestionar la mayor cantidad de operaciones sobre la base de datos.

Se tiene un inicio de sesión para que accedan por este a los servicios autorizados los diferentes tipos de usuarios.

Después de la respectiva verificación en el sistemas se podrá acceder al menú principal del sistema a la herramienta como tal, en donde se encontrara además del manual de usuario que posee la documentación necesaria para la manipulación de la misma, la información de la herramienta.

En este módulo se puede hacer la gestión tanto de usuarios como de pacientes dando la opción de agregar, modificar y eliminar usuarios, y la opción de agregar y modificar pacientes.

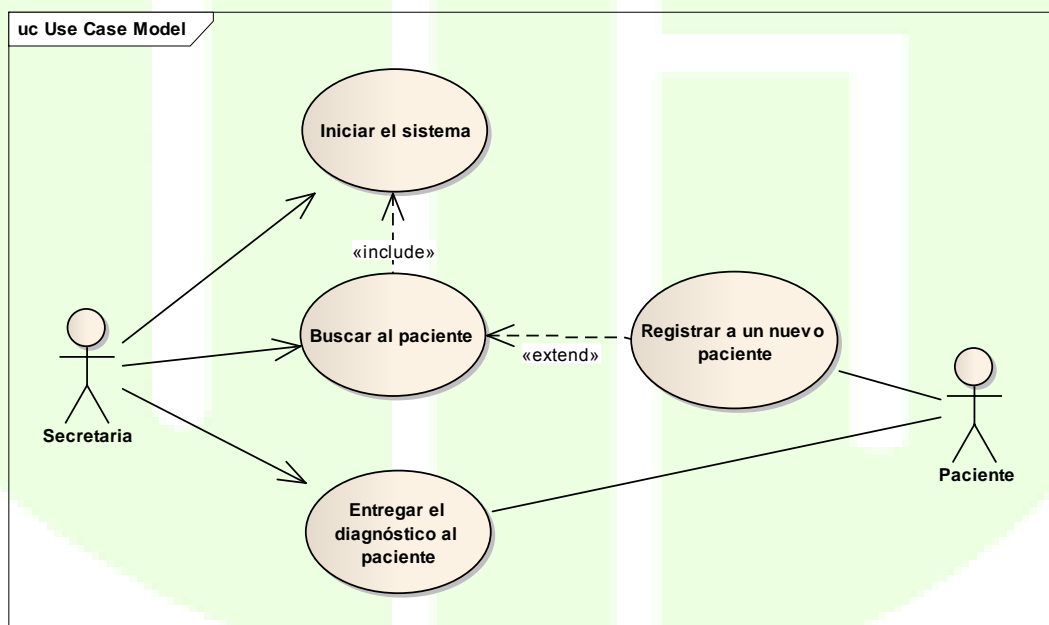
El modulo cumple las siguientes funciones específicas:

- a. **Gestión de Usuarios:** en esta opción el usuario tiene la posibilidad de agregar nuevos usuarios al sistema, diligenciando un único formulario donde se especifican los datos personales y laborales del nuevo usuario. La opción de modificar y eliminar es también posible en esta opción, actualizando cualquiera de las tres opciones de forma inmediata en el sistema.
- b. **Agregar Paciente:** este control me permite adicionar nuevos registro de pacientes al sistema por medio del desarrollo de un formulario que me exigirá

ingresar los datos correctos del nuevo paciente, con sus respectivas validaciones sobre los datos.

- c. **Modificar Paciente**: Es usual que algunos de los datos del paciente durante el desarrollo de su historia clínica cambien es por esto que se habilito esta opción, si es necesario hacer una actualización de los datos del mismo esto se hará simplemente actualizando el valor de los campos del formulario q se desean cambiar.
- d. **Verificar**: esta opción me permite verificar la existencia del paciente y de su respectiva historia clínica en el sistema por medio de su documento de identificación, dando una respuesta con el nombre almacenado en la base de datos al cual corresponde dicho documento de identidad.
- e. **Resultados**: esta opción me permite ver el producto final de la herramienta, en él se resumen los resultados arrojados por el sistema, combinados con las observaciones que el doctor considero prudentes hacer, en un formato sencillo donde se especifica cada dato contenido en él.

#### 4.4.3.2 Diagrama de Casos de Uso.



**Figura No 45.** Diagrama de casos de uso módulo registro y resultados  
Fuente: Diseño de los autores.

Las siguientes tablas describen los casos de uso de los actores que en él participan, es decir, el Administrador, Usuarios y el Paciente.

Caso de Uso	<b>Buscar Paciente</b>	
Actores	Secretaria, Paciente	
Descripción	Este caso de uso es iniciado por la Secretaria y permite verificar si el paciente se encuentra en el sistema.	
Precondiciones	Que el paciente se encuentre en el sistema.	
Flujo Principal	<b>Acciones de Actor(es)</b>	<b>Respuestas del Sistema</b>
	El caso de uso se inicia cuando la secretaria entabla conversación con el paciente. La secretaria hace la búsqueda del paciente. La secretaria ubica los datos del paciente.	El sistema arroja una respuesta a la búsqueda.
Pos Condiciones	Ubicar los resultados del paciente	
Subflujos	Que el paciente no esté en el sistema.	

**Tabla 12. Caso de uso buscar paciente**  
Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

Caso de Uso	<b>Registrar Un Nuevo Paciente.</b>	
Actores	Secretaria, Paciente.	
Descripción	Este caso de uso es iniciado por la secretaria y permite registrar en el sistema un paciente nuevo.	
Precondiciones	Iniciar el sistema.	
Flujo Principal	<b>Acciones de Actor(es)</b>	<b>Respuestas del Sistema</b>
	El caso de uso se inicia cuando la Secretaria inicia un dialogo con el paciente. La secretaria pide los datos personales del paciente a agregar. La secretaria diligencia el formulario de	El sistema arroja un mensaje de verificación del registro en el sistema.

	registro. La secretaria guarda los datos del paciente.	
Pos Condiciones	Consultar el historial del paciente. Realizar diagnósticos al paciente.	
Subflujos	Ninguno.	

**Tabla 13. Caso de uso registrar un nuevo paciente.**

Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

<b>Caso de Uso</b>	<b>Entregar el Diagnostico al Paciente</b>	
Actores	Secretaria, Paciente.	
Descripción	Este caso de uso es iniciado por la secretaria y permite obtener los resultados de los análisis pendientes al paciente.	
Precondiciones	Que el paciente este registrado en el sistema. Que se haya efectuado un análisis y diagnóstico sobre la imagen del paciente.	
Flujo Principal	<b>Acciones de Actor(es)</b>	<b>Respuestas del Sistema</b>
	El caso de uso inicia cuando la secretaria pide el documento de identificación al paciente. La secretaria hace la búsqueda de los resultados en el sistema.	El sistema arroja un formato con los resultados del análisis y diagnóstico.
Pos Condiciones	Ninguna	
Subflujos	Si no se ha realizado un análisis no se mostraran resultados del paciente.	

**Tabla 14. Caso de uso entregar el diagnostico al paciente**

Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

<b>Caso de Uso</b>	<b>Agregar, Modificar y Eliminar Usuarios.</b>
Actores	Administrador, Usuarios.
Descripción	Este caso de uso le permite al usuario administrador gestionar diferentes operaciones sobre la base de datos en cuanto a la información de los usuarios de los sistemas.
Precondiciones	Tener acceso al sistema y la contraseña para realizar este tipo de operaciones con los usuarios.
Flujo Principal	El usuario inicia el sistema, se registra con el nombre de usuario y contraseña. Se carga la pantalla principal, el usuario

	<p>administrador da clic en el menú “Archivo”, ahí encontrara las tres opciones de Agregar, Modificar o Eliminar usuario.</p> <p>Hacer clic en la opción que se desea ejecutar:</p> <p>Agregar: Se despliega un formulario que me exige diligenciarlo con la información del nuevo usuario del sistema.</p> <p>El usuario administrador después de verificar los datos de clic en la opción aceptar.</p> <p>El usuario es agregado a la base de datos y automáticamente puede hacer uso de un sistema como tal.</p> <p>Modificar: al hacer clic en esta opción se presenta una pantalla que me pedirá el documento de identidad del usuario que se desea modificar y la contraseña del usuario administrador, una vez digitado los datos anteriores, se despliega el formulario que contiene los datos suministrados por el usuario en el momento en el que se creó.</p> <p>El usuario administrador modifica los campos del formulario.</p> <p>El usuario da clic en el botón aceptar y confirma la actualización de los datos del usuario.</p> <p>Eliminar: al hacer clic en la opción eliminar se presenta el mismo proceso de la opción modificar con la única variante que el formulario de datos no me deja modificar campos simplemente al hacer clic en la opción aceptar el usuario se elimina.</p>
Pos Condiciones	Ninguno.
Subflujos	<p>En el menú principal:</p> <p>El usuario da clic en el botón ayuda.</p> <p>El usuario tiene dos opciones:</p> <p>Manual de Usuario: despliega la documentación de orientación sobre la manipulación de la herramienta.</p> <p>Acerca de: despliega la información más importante de la herramienta.</p>
Excepciones	Los procesos anteriores no se puede llevar a cabo si el número de identificación no coincide con el de la base de dato o sencillamente la contraseña del usuario administrador no es correcta.

**Tabla 15. Caso de uso agregar, modificar y eliminar usuarios**

Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

## 5. RESULTADOS

En este capítulo se hará un análisis sobre los resultados obtenidos por el sistema.

### 5.1 RESULTADOS DEL SISTEMA

Los resultados obtenidos en cada uno de los módulos se centran en los datos obtenidos en la ejecución del algoritmo ya que a pesar manejar conexiones con bases de datos estos resultados fueron comprobados mediante la validación de cada uno de las consultas que se hacían a la base de datos.

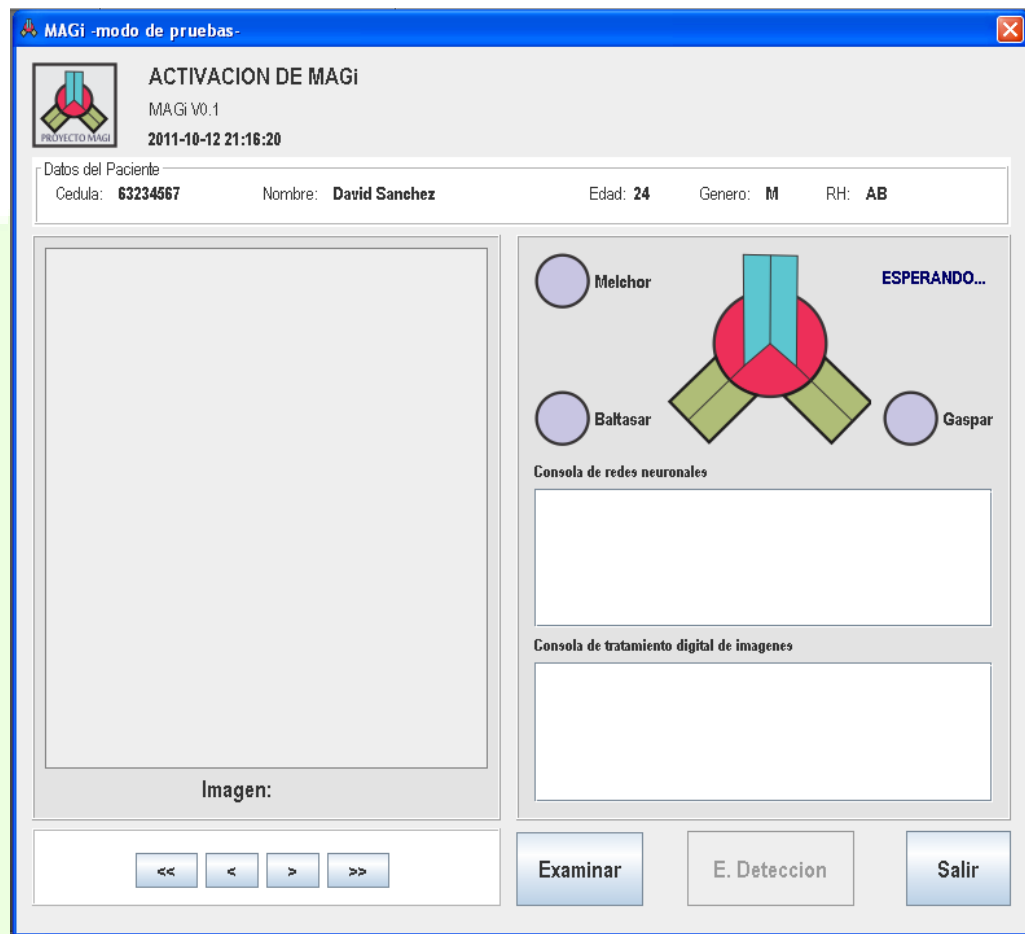
#### 5.1.1 RESULTADOS RED NEURONAL “MELCHOR” (IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE IMAGEN).

Se presenta a continuación los resultados obtenidos por la red neuronal artificial “Melchor” encargada de evaluar cada una de las imágenes que se intentan cargar en el sistema y valida si son o no imágenes aptas para el sistema. Dicha validación puede ser negativa en dos posibles casos:

- a. La imagen que se está intentando ingresar al sistema efectivamente no es una imagen de un cerebro sino que corresponde a otra figura.
- b. La imagen que se está intentando ingresar al sistema carece de un buen contraste y no se logra diferenciar unas zonas de otras.

A la hora de entrar a manejar las entradas que iba a recibir la red neuronal se optó por normalizarlas ya que los datos se encontraban en diferentes intervalos de grises y hacia un poco impreciso el resultado.

Dicha normalización se hizo para que la entrada quedara estipulada en valores comprendidos en el intervalo  $[0,1]$ .

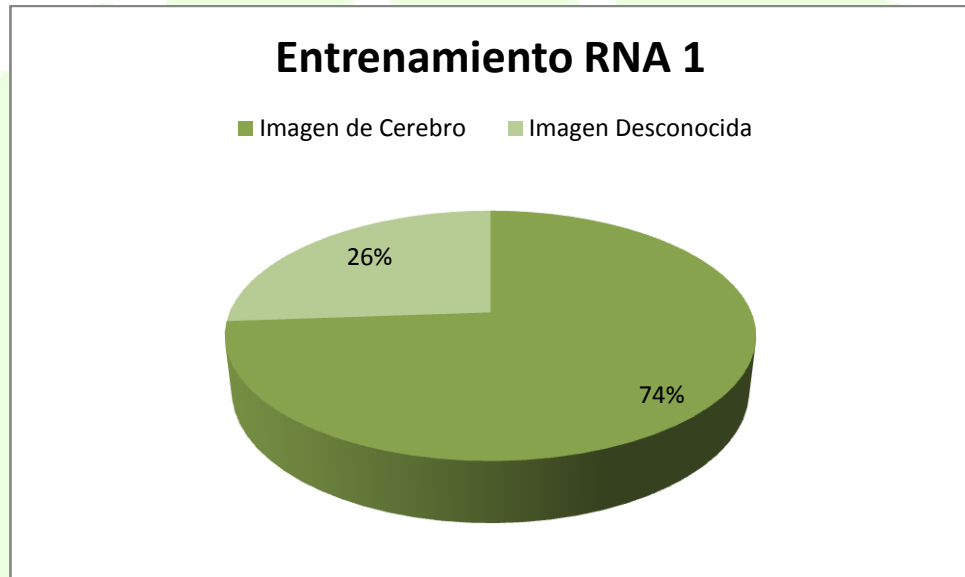


**Figura 46.** Interfaz de carga de imágenes al sistema  
Fuente: Modulo desarrollado en el Presente Proyecto

El entrenamiento utilizado en la red neuronal se basó en épocas ya que se hicieron pruebas mediante la detección temprana y este método no permitía pasar de un número muy pequeño de épocas, y en las primeras etapas no lograba llegar a un punto de generalización ideal, con respecto al grupo de validación, por lo que finalizaba el proceso de entrenamiento llegar a un ajuste de los pesos de forma correcta.

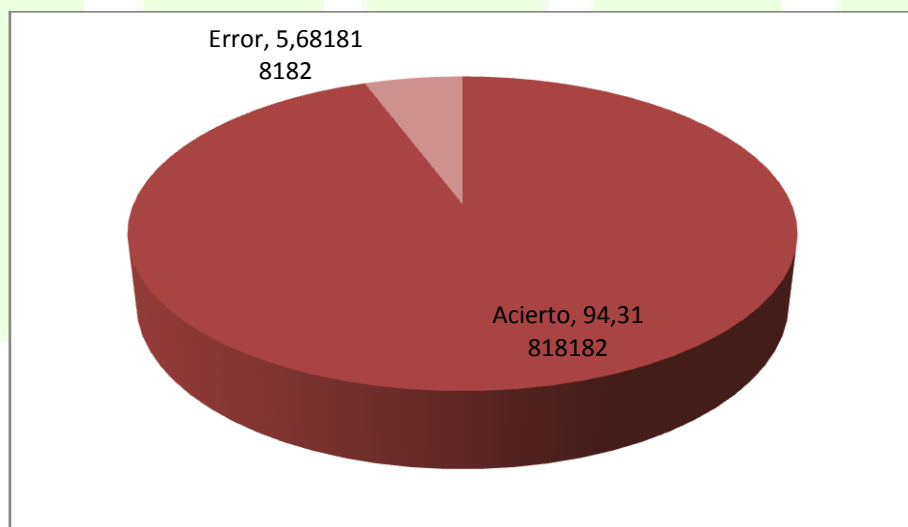
Después de realizar un gran número de entrenamientos se llegó a la concepción de un entrenamiento bastante acertado con 100 épocas por lo que

se obtenía un margen de 94% de aciertos en las imágenes lo que generaba un margen de error muy pequeño.

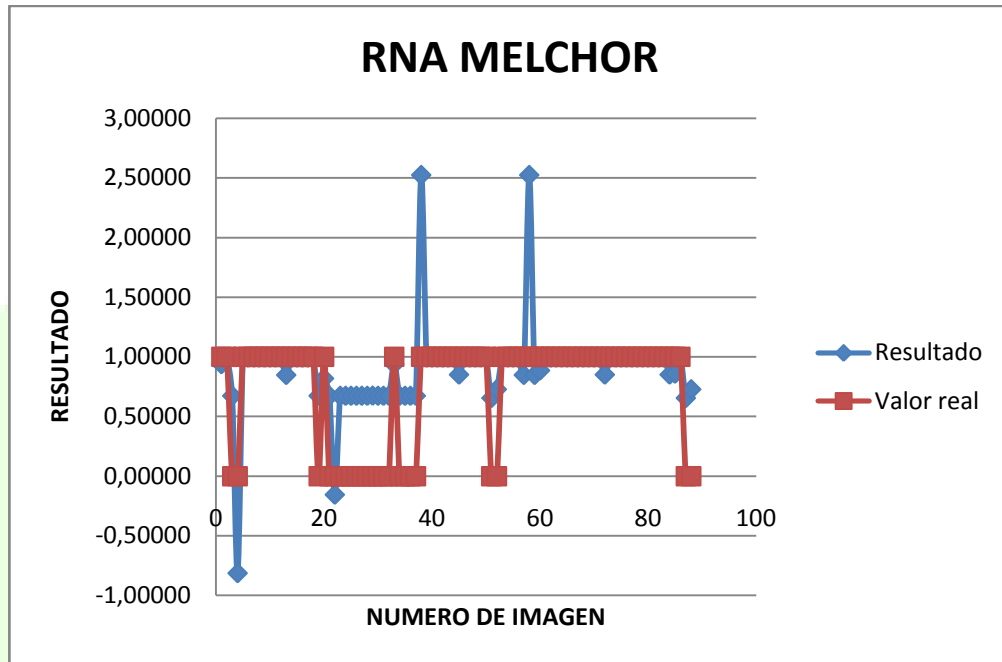


**Figura 47.** Entradas para el entrenamiento del red 1.  
Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

La *figura 47* muestra la proporción de imágenes que se utilizaron para llevar a cabo el entrenamiento, sobre una muestra de 88 imágenes en donde se corroboró la eficacia del 94% sobre ellas.



**Figura 48.** Resultado del entrenamiento del red 1.  
Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto



**Figura 49.** Grafica de ajuste del entrenamiento de la red 1  
Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

La *Figura 49* se diseñó tomando como referencia que 1 equivale a una respuesta positiva y 0 a una respuesta negativa, pero para cuestiones del entrenamiento se tuvo presente que si una imagen cumple con al menos el 80% de similitud con el reconocimiento el sistema da una respuesta positiva sobre la misma.

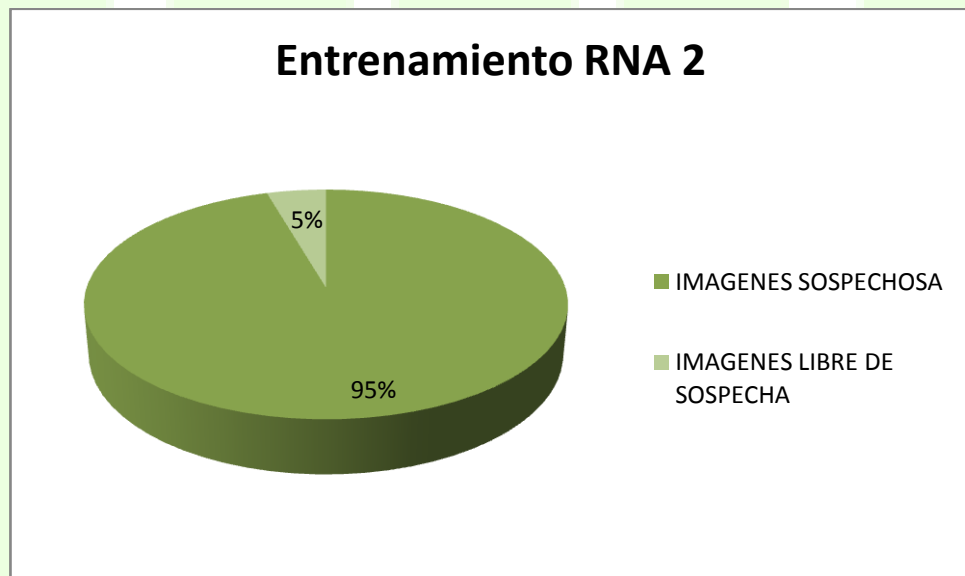
### 5.1.2 RESULTADOS RED NEURONAL “GASPAR” (VERIFICACION DE LA PRESENCIA DE CUERPOS EXTRAÑOS EN LA IMAGEN).

Se presenta a continuación los resultados obtenidos por la red neuronal artificial “Gaspar” encargada de la verificación de la presencia de cuerpos extraños en las imágenes validadas por la red anterior.

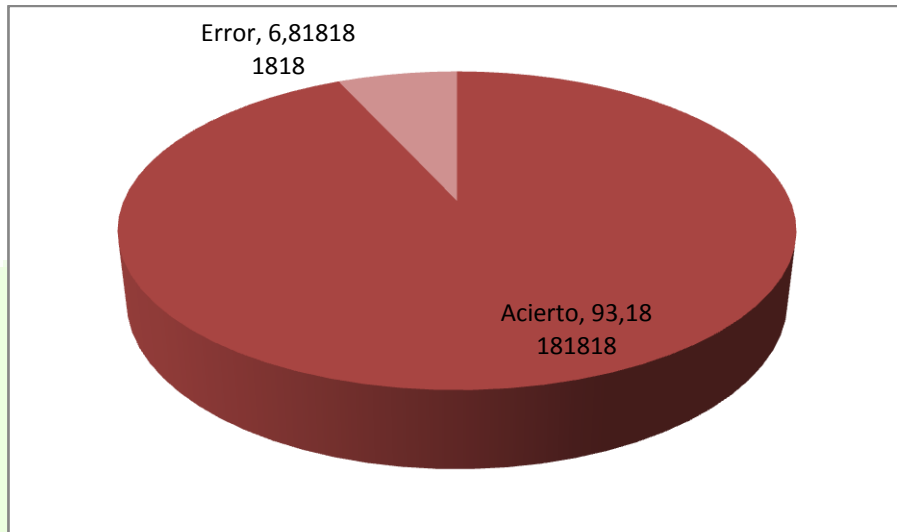
La normalización de los datos para las entradas se hicieron siguiendo el mismo procedimiento de la red anterior y se manejó el mismo intervalo, [0,1].

Además se siguió con la metodología de entrenar la red neuronal por épocas por las mismas razones del entrenamiento de la red neuronal “Melchor”, ya que el entrenamiento de esta red requería de características similares a la de la red antes mencionada.

Obteniendo un margen de acierto del 93% sobre las muestras de entrenamiento considerando nuevamente un error aceptable para este mecanismo de detección que solo tendrá una respuesta de origen binario donde le dirá al sistema si es o no necesario analizar la imagen procesada.

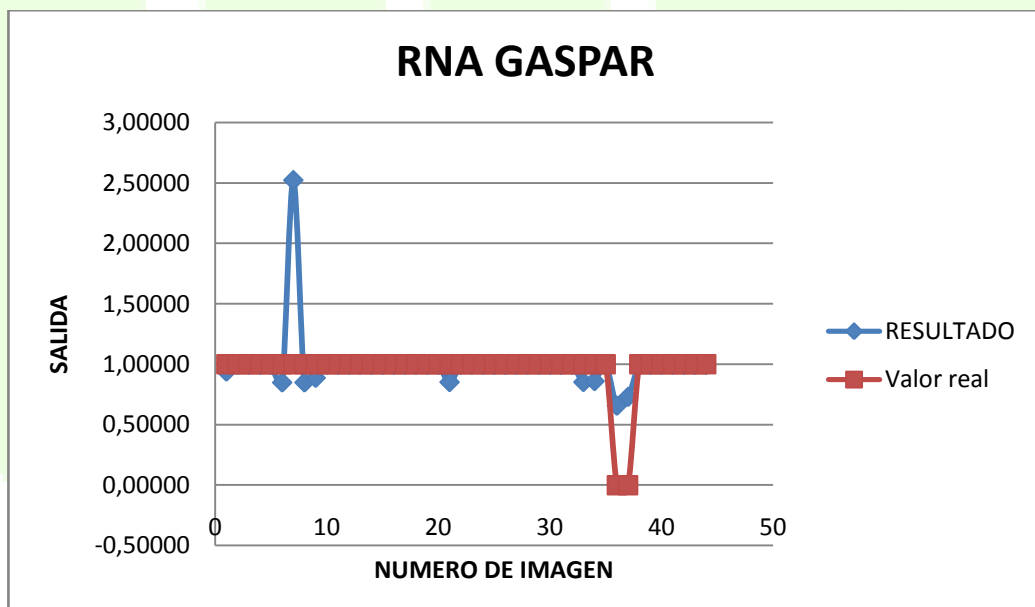


**Figura 50.** Entradas para el entrenamiento del red 2.  
Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto



**Figura 51.** Resultado del entrenamiento del red 2.  
Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

La *Figura 51* muestra la estabilidad y sensibilidad del entrenamiento al que fue sometida la red neuronal en donde se muestra un alto grado de eficacia ante la presencia de imágenes con cuerpos sospechosos en ella.



**Figura 52.** Grafica de ajuste del entrenamiento de la red 2  
Fuente: Modulo desarrollado en el presente proyecto

La *Figura 52* hace un paralelo entre los resultados del entrenamiento y los resultados reales siguiendo el mismo patrón que contempla que si el 80% de la imagen cumple el patrón de entrenamiento se toma como un caso de sospecha.


### 5.1.3 RESULTADOS DEL ALGORITMO DE TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES “BALTASAR”

A la hora de evaluar el algoritmo de tratamiento digital de imágenes se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La correcta ubicación del objeto identificado como tumor
- La segmentación de objetos que no son tumor.

Si la primera condición se cumple y la segunda no se cumple la imagen será catalogada como un acierto.

A continuación se presenta el formato de evaluación de las imágenes diseñado por los autores del proyecto.

CASO DE PRUEBA 1	
Imagen	Descripción
<p>Imagen Final</p> 	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte superior derecha.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Circular deforme</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 8% de la imagen</p>
<p><b>Segmentación de la imagen</b>(x) Correcta      ( ) Incorrecta</p>	

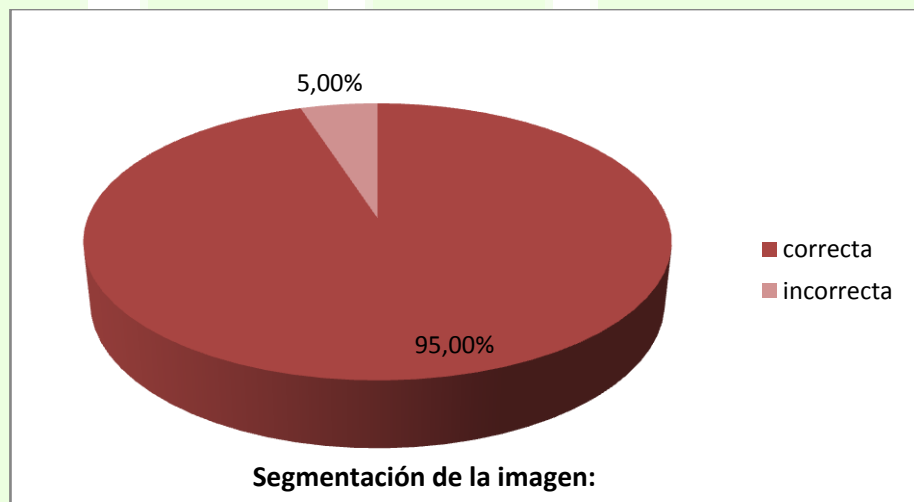
<b>Falso positivo( )</b>	Si	(x)	No
<b>Falso negativo( )</b>	Si	(x)	No

**Tabla 16** .Formato de resultados  
Fuente: Diseñado por los autores

A la hora de hacer las pruebas se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

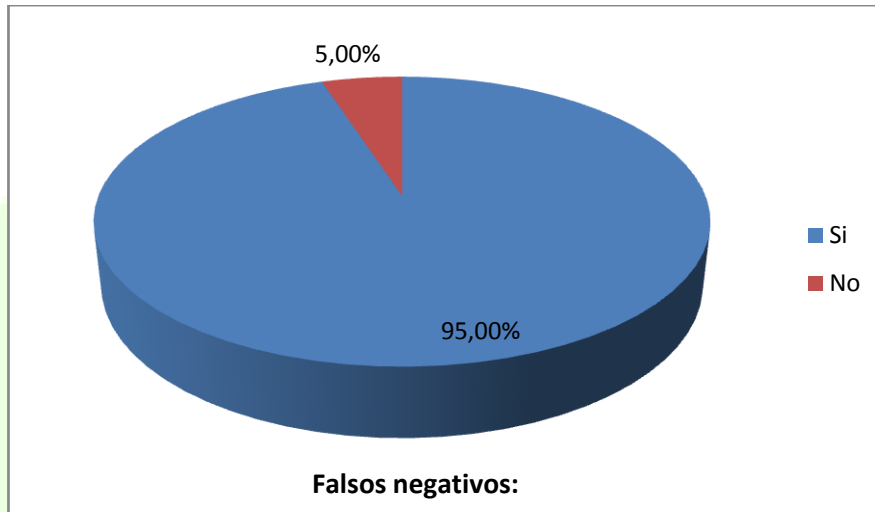
- Segmentación de la imagen: Este criterio define si el objeto ha sido segmentado correctamente.
- Falso positivo: Este criterio define si se segmentan objetos que no son tumor.
- Falso negativo: Este criterio define si no se segmentan objetos que son identificados como tumor.

A continuación se mostrarán los resultados del algoritmo de tratamiento digital de imágenes mediante gráficos:



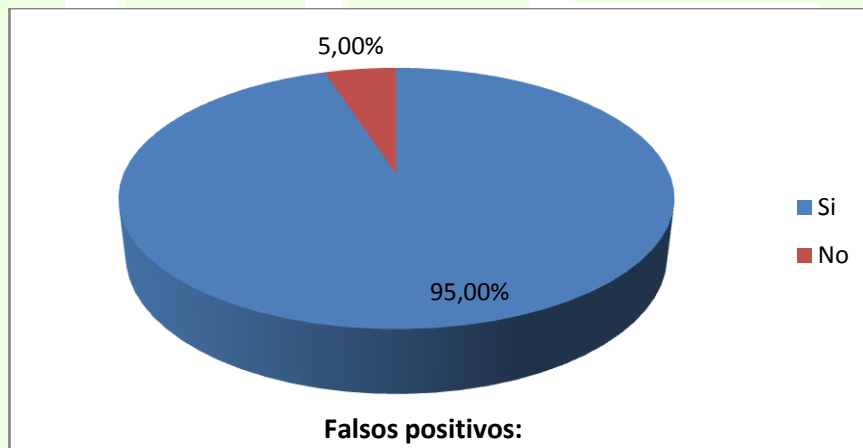
**Figura 53** .Gráfica de segmentación de imagen  
Fuente: Diseñado por los autores

La figura 55 muestra que el 95% de las imágenes segmentadas se realizó correctamente, lo cual indica que el algoritmo de tratamiento digital de imágenes es confiable.



**Figura 54** .Grafica de falsos negativos  
Fuente: Diseñado por los autores

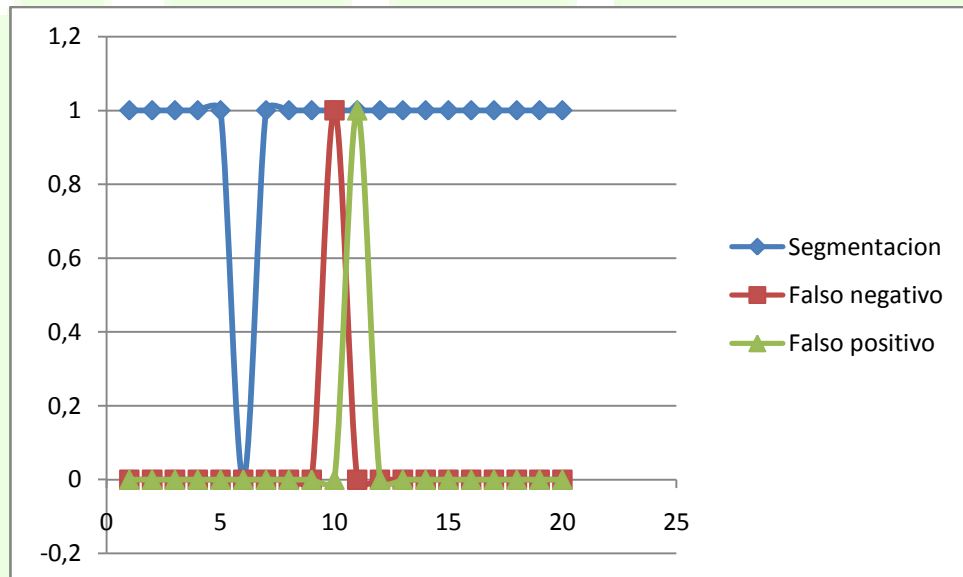
La figura 55 muestra que la no segmentación de objetos que son tumor es de apenas el 5%, razón por la cual se deduce que el algoritmo digital de imágenes segmentará por lo menos un objeto en una imagen con sospecha de tumor.



**Figura 55**.Grafica de falsos positivos  
Fuente: Diseñado por los autores

La figura 55 muestra que la segmentación de objetos que no son identificados como tumor es del 5% debido a que en algunos casos segmenta los ojos debido a la forma circular que estos tienen.

### Gráfica de imágenes vs Criterio de error:



**Figura 56.** Grafica de imágenes vs criterio de error  
Fuente: Diseñado por los autores

La figura 56 muestra cuales son las imágenes en las que se presenta segmentación incorrecta. Se puede observar que esto sólo sucede en el 5% de las imágenes lo cual garantiza que los aciertos van a estar por encima de un intervalo de confianza del 95%, ya que los falsos positivos y negativos no se cuentan propiamente como error debido a que el objeto con sospecha de tumor se segmenta en todos los casos.

## CONCLUSIONES

- Se logró desarrollar un algoritmo de tratamiento digital de imágenes capaz de identificar los cuerpos sospechosos en una tomografía axial a partir de un conjunto de análisis y transformaciones realizadas a cada imagen, con la ayuda de diversos conceptos matemáticos que facilitan el reconocimiento de dichas zonas donde el 95% de las segmentaciones fueron acertadas.
- La utilización de subprocesos iterativos de relaciones proporcionales de áreas para el procesamiento de la imagen mejoran el tiempo de ejecución reduciéndolo en un 50% comparado con la implementación de un solo proceso de forma-error-tamaño.
- Se implementó un algoritmo de optimización en el proceso de umbralización de imágenes que permite hacer que el sistema escoja de forma autónoma el umbral más conveniente para el algoritmo de análisis de la imagen.
- Se desarrolló una red neuronal artificial como medio de automatización para determinar el tipo de imagen que ingresa al sistema y saber si es o no un cerebro, con la finalidad de evitar el análisis a imágenes que no son apropiadas para el sistema, y así aumentar el rendimiento de la herramienta desarrollada.
- El uso del motor de desarrollo Matlab es ideal para el tratamiento digital de imágenes ya que posee un gran número de funciones y toolboxes que facilitan la manipulación y el tratamiento de las imágenes, garantizando un alto grado de efectividad en sus resultados, debido a su precisión matemática.
- En general el uso de redes neuronales artificiales facilita en gran forma la detección de cuerpos extraños en una imagen por esta razón la

implementación de una segunda red neuronal en este proyecto que detecta cuerpos extraños en una tomografía axial.

- Se modeló una base de datos que permite el registro de historiales neurológicos con información del paciente y datos de las imágenes analizadas por el sistema, con el fin de apoyar al médico especialista en la toma de decisiones.
- El algoritmo desarrollado para cada red neuronal presenta un alto grado de eficacia en cuanto a la detección de tumores en tomografías axiales computarizadas, el error arrojado es de un 6% lo que lo hace altamente aceptable. En la revisión de las imágenes seleccionadas por la red neuronal su efectividad es del orden del 94%.
- Se desarrolló un sistema que integra una agradable y sencilla interfaz de usuario con un motor que incluye inteligencia artificial y tratamiento digital de imágenes por medio de la compilación de las rutinas generadas por Matlab incluidas como librerías en la biblioteca de clases del proyecto Java.

## RECOMENDACIONES

- Uno de los posibles casos a tratar, es disminuir los porcentajes de error y así aumentar la efectividad del sistema con el fin de ampliar los campos de la medicina en los que se puede aplicar la técnica desarrollada en el presente proyecto.
- Un gran aporte para una nueva versión de este proyecto es la implementación de una función de seguimiento del tumor para observar la evolución de la enfermedad en una línea del tiempo con la finalidad de evaluar la efectividad del tratamiento médico suministrado.
- Se debe tener en cuenta que los tumores cerebrales son de forma y crecimiento impredecibles lo cual hace pensar que las técnicas de inteligencia artificial basadas en paradigmas de aprendizaje deben tener una constante inclusión de nuevos casos de entrenamiento para así poder generalizar futuras situaciones.
- Un posible campo de ampliación del presente proyecto para generaciones futuras es la implementación de algoritmos de este tipo de detección de tumores cerebrales, desarrollado en 3D, y así facilitar la simulación de los posibles progresos de la enfermedad

## BIBLIOGRAFIA

### Libros y Artículos

1. N. Nilsson, "Inteligencia Artificial". Una nueva síntesis, McGraw-Hill, Madrid, 2000.
2. E. Rich y K. Knight. Inteligencia Artificial. McGraw-Hill, 1994 (lógica).
3. R. González and R. Woods, Digital Image Processing, 3rd. Edición. Prentice-Hall, 2008.
4. Joaquín AzpirozLeehan, Verónica Medina Bañuelos y Jean-FrançoisLerallut, Procesamiento de imágenes biomédicas. Universidad Autónoma Metropolitana de México, Unidad Iztapalapa, México D. F., 2000. Disponible en versión impresa y electrónica en la biblioteca del Laboratorio sinc.
5. L. N. de Castro and J. Timmis. Artificial Immune Systems: A Novel Paradigm to Pattern Recognition, In Artificial Neural Networks in Pattern Recognition , J. M. Corchado, L. Alonso, and C. Fyfe (eds.), SOCO-2002, University of Paisley.
6. França, F. O.; Von Zuben, F. J.; De Castro, L. N. Artificial Immune Network for Multimodal Function Optimization on Dynamic Environments. In: Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO-2005, 2005, Washington. Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO-2005. New York: ACM Press, 2005.
7. Leandro Nunes de Castro, Fernando J. Von Zuben, Getúlio A. de Deus Jr. (2003) The Construction of a Boolean Competitive Neural Network Using Ideas from Immunology, Neurocomputing, 50C
8. Métodos de Segmentación de Imágenes Médicas, Ernesto Coto, Laboratorio de Computación Gráfica Marzo, 2003

9. González Barón M. Importancia de los factores pronósticos en Oncología. Visión general. En: González Barón M, Ordoñez A, García de Paredes, ML, Feliu J, Zamora P, Espinosa E, editores. Factores pronósticos en Oncología. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España, 1994, 1-21.
10. González, R.C., Wintz, P. (1996). Procesamiento digital de imágenes. Addison-Wesley.
11. Kleihues P, Burger PC Scheithauer BW. The new WHO classification of brain tumors. Brain Pathol 1993; 3: 255-268.
12. Acharya, T., Ray, A. K. (2005). Image processing: principles and applications. John Wiley&Sons.

## ANEXOS

### ANEXO A

#### GLOSARIO DE TERMINOS

**TUMOR:** Es cualquier bulto que se deba a un aumento en el número de células que lo componen, independientemente de que sean de carácter benigno o maligno. Es cualquier alteración de los tejidos que produzca un aumento de volumen.

**TUMOR BENIGNO:** Es una neoplasia que no posee la malignidad de los tumores cancerosos. Esto implica que este tipo de tumor no crece en forma desproporcionada ni agresiva, no invade tejidos adyacentes, y no hace metástasis a tejidos u órganos distantes. Los tumores benignos no constituyen generalmente una amenaza para la vida.

**TUMOR MALIGNO:** Los tumores malignos son los tumores capaces de propagarse por invasión y metástasis. Por definición, el término "cáncer" se aplica solamente a los tumores malignos.

**METASTASIS:** Es una teoría científica que supone la propagación de un foco canceroso a un órgano distinto de aquel en que se inició. Ocurre generalmente por vía sanguínea o linfática.

**NEOPLASIA:** Es el proceso de proliferación anormal (multiplicación abundantemente) de células en un tejido u órgano que desemboca en la formación de un neoplasma.

**BASE DE DATOS:** Recopilación de uno o más archivos computarizados. En el caso de sistemas biomédicos, estos archivos pueden ser imágenes tomográficas, tumores cerebrales, plantillas, resultados de coincidencias, información sobre pacientes, etc.

**ÓRGANO:** es un conjunto asociado de tejidos que concurren en estructura y función.

**CORTEZA CEREBRAL:** Es el manto de tejido nervioso que cubre la superficie de los hemisferios cerebrales, alcanzando su máximo desarrollo en los primates. Es aquí donde ocurre la percepción, la imaginación, el pensamiento, el juicio y la decisión.

**DIAGNOSTICO:** Alude, en general, al análisis que se realiza para determinar cualquier situación y cuáles son las tendencias. Esta determinación se realiza sobre la base de datos y hechos recogidos y ordenados sistemáticamente, que permiten juzgar mejor qué es lo que está pasando.

**HISTOLOGÍA:** Es la ciencia que estudia todo lo referente a los tejidos orgánicos: su estructura microscópica, su desarrollo y sus funciones.

**IMAGEN MÉDICA:** Se llama imagen médica al conjunto de técnicas y procesos usados para crear imágenes del cuerpo humano, o partes de él, con propósitos clínicos.

**TOMOGRAFIA:** Es el procesado de imágenes por secciones.

**SEGMENTACION:** Es el primer paso en la mejora de la imagen; la cual consiste en separar el fondo, del resto de la imagen de la tomografía axial, esto permite enfocarse únicamente en la parte de interés (donde posiblemente se encuentre el área afectada por el tumor).

**UMBRAL:** Es la cantidad mínima de señal que ha de estar presente para ser registrada por un sistema.

**BINARIZACIÓN (Procesamiento digital de imágenes):** Etapa del procesamiento digital de imágenes que consiste en llevar una imagen a solo dos escalas de intensidad 1 para blanco y 0 para negro.

**FILTRADO:** Las Tomografías digitales, por diversos factores internos y externos del proceso de captura presentan cierto ruido o imperfecciones, que particularmente dificulta el procesamiento de las mismas; debido a esto, es necesario mejorar la calidad de las imágenes atenuando o extrayendo el ruido

y así permitir un mejor reconocimiento de las líneas que conforman la muestra, y de esta forma extraer sus puntos característicos.

**RED NEURONAL ARTIFICIAL:** Son un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático inspirado en la forma en que funciona el sistema nervioso de los animales. Se trata de un sistema de interconexión de neuronas en una red que colabora para producir un estímulo de salida.

**EXTRACCION DE CARACTERISTICAS:** Proceso de conversión de una imagen médica, capturada en datos médicos para su posterior comparación con respecto a una referencia.

**RUIDO:** Es el conjunto de perturbaciones indeseadas que tienden a desmejorar el contenido de información en una señal.

## ANEXO B

### DESCRIPCION DE LAS FUNCIONES EMPLEADAS EN MATLAB

El sistema desarrollado en Matlab está conformado por las siguientes funciones:

<b>FUNCIÓN</b>	<b>APLICACION</b>
<b>ConexionAMagi.m</b>	Función encargada de establecer la conexión de Matlab con MySQL para identificar la imagen asociada a un paciente.
<b>magiBaltasar.m</b>	Función encargada del tratamiento digital de la imagen, basada en la segmentación de la misma.
<b>GuardarenBD.m</b>	Función encargada de guardar la imagen generada por el algoritmo en Matlab en la Base de Datos.
<b>criteroFormaTamano.m</b>	Función para validar que los objetos hallados tengan la forma y el tamaño para considerarlos sospechosos.
<b>Perimeter.m</b>	Función para calcular el perímetro de los objetos extraños en la imagen.
<b>Triangular.m</b>	Función que calcula los posibles umbrales de segmentación, basada en el método Triangular.
<b>ajusteEntrada.m</b>	Función que vectoriza una matriz.
<b>Main.m</b>	Función para el entrenamiento de la red neuronal artificial.
<b>Simulación.m</b>	Función encargada de verificar la calibración de la red neuronal
<b>Redimensionar.m</b>	Función encargada de redimensionar la imagen ingresada al sistema.
<b>Validación.m</b>	Función que verifica que la imagen cumpla el porcentaje de error simulando la red neuronal.
<b>magiMelchor.mat</b>	Red Neuronal que detecta las imágenes no válidas para el sistema.
<b>magiGaspar.mat</b>	Red Neuronal Artificial que detecta la presencia de tumor en una imagen analizada.

## ANEXO C

### BASE DE DATOS IMPLEMENTADA

El objetivo de la base de datos es almacenar la información de los pacientes que son ingresados al sistema, la información de los usuarios del sistema, así como también la información que se va generando a medida que se van interpretando los resultados de los análisis a las imágenes médicas utilizando el software desarrollado para este fin. Esta información es consultada a través de la misma herramienta. La base de datos está compuesta por las siguientes tablas:

- **Usuarios:** Esta tabla contiene los tipos de usuarios que pueden acceder al sistema, además de la información personal de cada uno de ellos y maneja los siguientes campos:

- ✓ Cedula
- ✓ Apellido
- ✓ Nombre
- ✓ Fecha\_nac
- ✓ Edad
- ✓ Teléfono
- ✓ Dirección
- ✓ Ciudad
- ✓ Usuario
- ✓ Pass
- ✓ Código\_cargo

- **Cargos:** En esta tabla se almacena la información de los cargos disponibles en el sistema y su respectivo código de identificación como cargo, y los campos que maneja son:

- ✓ Codigo\_cargo
- ✓ Nombre\_cargo

- **Historial:** En esta tabla se almacenan los datos correspondientes a la historia de cada uno de los pacientes así como también la fecha en que se creó en el sistema, los campos presentes en la tabla son los siguientes:

- ✓ Codigo\_hist
- ✓ Cedula\_pac
- ✓ Fecha

- **Detalle\_hist:** Esta tabla almacena la información de los casos de estudio de los que son objeto cada uno de los pacientes así como los resultados que genera el sistema de los mismos y contiene los siguientes campos:

- ✓ Codigo\_hist
- ✓ Consec\_det
- ✓ Fecha\_hora
- ✓ Codigo\_doctor
- ✓ Observaciones
- ✓ Procedimientos
- ✓ Diagnostico\_med

- **Doctores:** Almacena la información del código del doctor y la especialidad a la que corresponde dicho código, los campos que maneja son:

- ✓ Código\_doctor
- ✓ Cedula
- ✓ Especialidad

- **Pacientes:** Almacena la información personal de cada paciente presente en el sistema, los campos de la tabla son:

- ✓ Cedula\_pac
- ✓ Apellido
- ✓ Nombre

- ✓ Fecha\_nac
- ✓ Teléfono
- ✓ Dirección
- ✓ Ciudad
- ✓ Genero
- ✓ Edad
- ✓ Grupo\_RH

- **Imágenes:** Almacena la información de todas y cada una de las imágenes que ingresan al sistemas así como las generadas por el mismo después del análisis, además de los datos de ubicación del paciente a quien corresponde dicha imagen, los campos que maneja son:

- ✓ Código\_hist
- ✓ Consec\_det
- ✓ Consec\_imagen
- ✓ Fecha
- ✓ Imagen\_original
- ✓ Imagen\_MAGI
- ✓ Forma
- ✓ Diagnostico\_RNA
- ✓ Ubicacion

- **Imágenes\_automatico:** esta tabla esta exclusivamente diseñada para que almacene la información del modo automático desarrollado en el sistema, y contiene los siguientes campos:

- ✓ Código\_imagen\_Automatico
- ✓ Imagen\_original\_Automatico
- ✓ Imagen\_MAGI\_Automatico

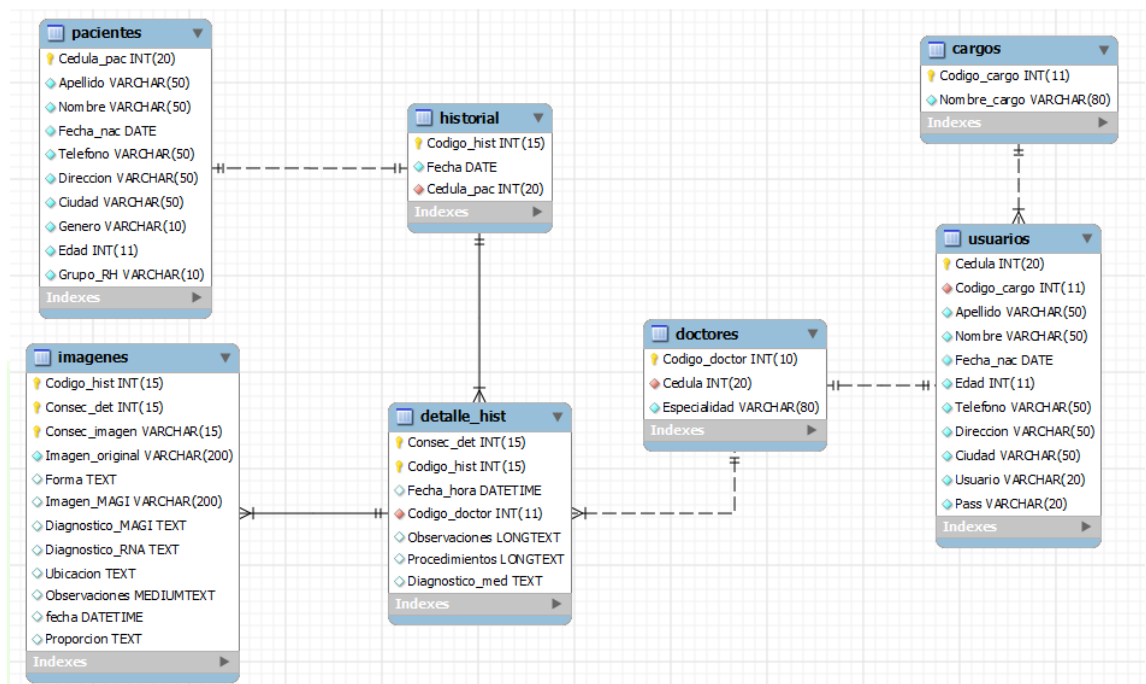


Figura 57. Modelo E/R de la base de datos implementada.

**ANEXO D**  
**CAPTURAS DEL SISTEMA**

**MODULO CAPTURA DE IMÁGENES**



**Figura 58** Pantalla verificación de usuario.

La Figura 58 muestra la pantalla de verificación de usuario ante el sistema cuya principal función es evitar el ingreso de personal no autorizado.



**Figura 59.** Pantalla menú principal del modulo.

La figura 59 muestra el menú principal de la herramienta cuya principal función es dar paso a la identificación del paciente que va a ser objeto de estudio.

Figura 60. Panel selección de paciente.

La figura 60 muestra el panel destinado a la búsqueda y selección del paciente que va a ser objeto de estudio, dicha búsqueda se puede realizar por tres modalidades, nombre, apellido o cedula, en la sección inferior se puede hacer una navegación por los registros hallados en el sistema que cumplen los requisitos de la búsqueda.

Figura 61. Panel de activación análisis.

La figura 61 muestra la pantalla donde se da inicio al análisis de las imágenes tomográficas.

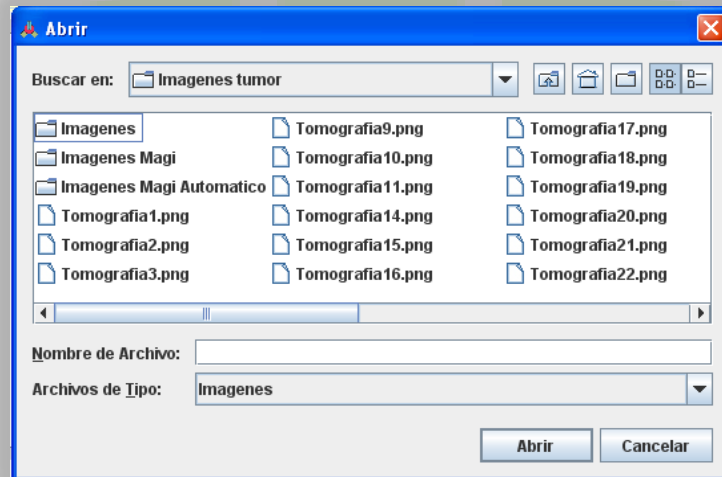


Figura 62. Ventana emergente del botón examinar.

La figura 62 muestra una ventana emergente que tras presionar el botón examinar aparece y cuya única finalidad es ubicar la imagen que se desea cargar al sistema.

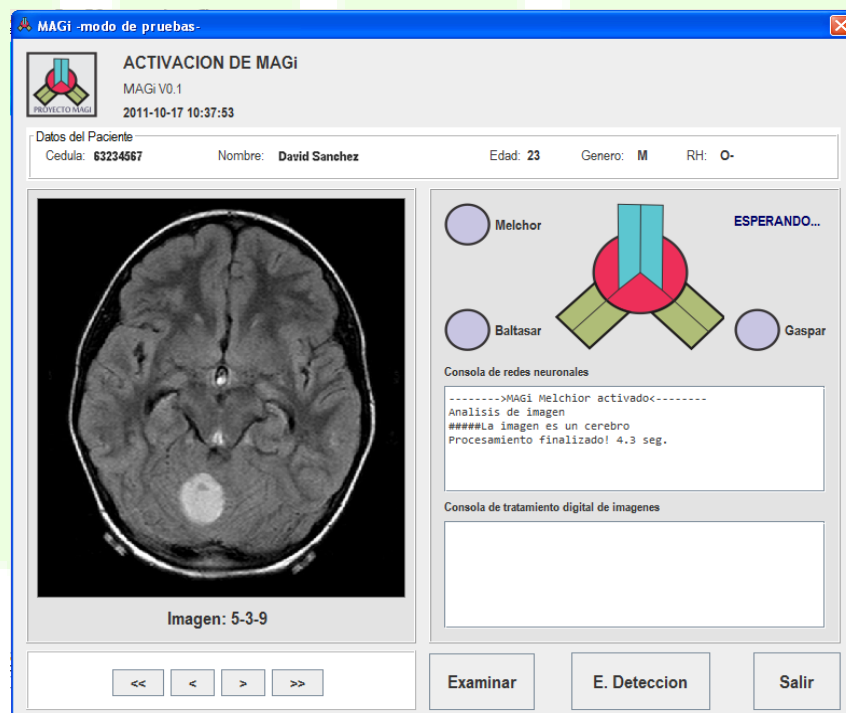


Figura 63. Panel de Verificación de carga de la imagen.

La figura 63 muestra el proceso de verificación realizado por la Red Neuronal 1 sobre la imagen que se desea cargar el sistema, dicha verificación consiste en identificar si corresponde o no a un cerebro la imagen en proceso.

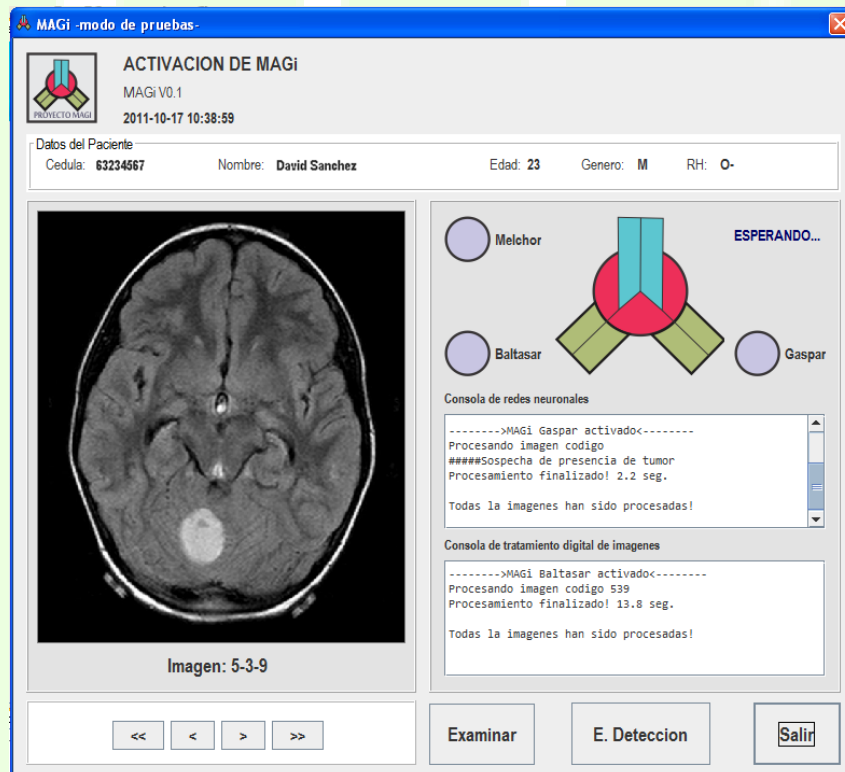


Figura 64. Panel de análisis de la imagen.

La figura 64 muestra la segunda acción de la ventana que es la ejecución del análisis sobre la misma arrojando una confirmación de la finalización del proceso.

## MODULO REGISTRO Y RESULTADOS

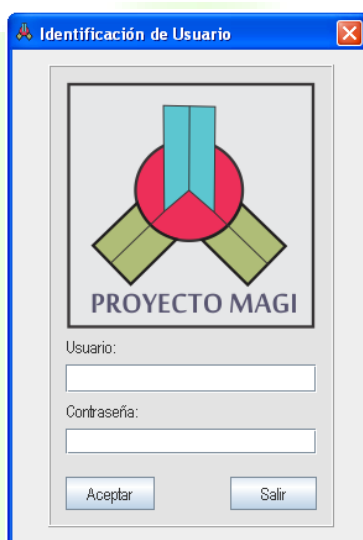


Figura 65. Pantalla verificación de usuario.

La Figura 65 muestra la pantalla de verificación de usuario ante el sistema cuya principal función es evitar el ingreso de personal no autorizado.



Figura 66. Menú principal del modulo.

En la figura 66 se puede observar la pantalla principal del módulo desde la cual se pueden hacer las operaciones principales del sistema tales como agregar, modificar, verificar pacientes e incluso ver los resultados del mismo.

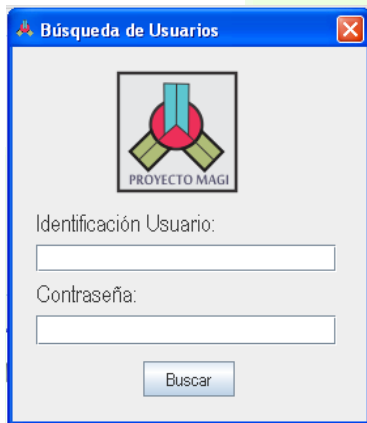


Figura 67. Ventana de verificación.



Figura68. Formulario de datos de usuario.

Las figuras 67 y 68 muestran las pautas para seguir a la hora de hacer una modificación de un usuario del sistema en donde primero se debe hacer una validación de usuario autorizado para manipular la información de los otros usuarios y después se puede ver la información contenida por el sistema de dicho usuario.

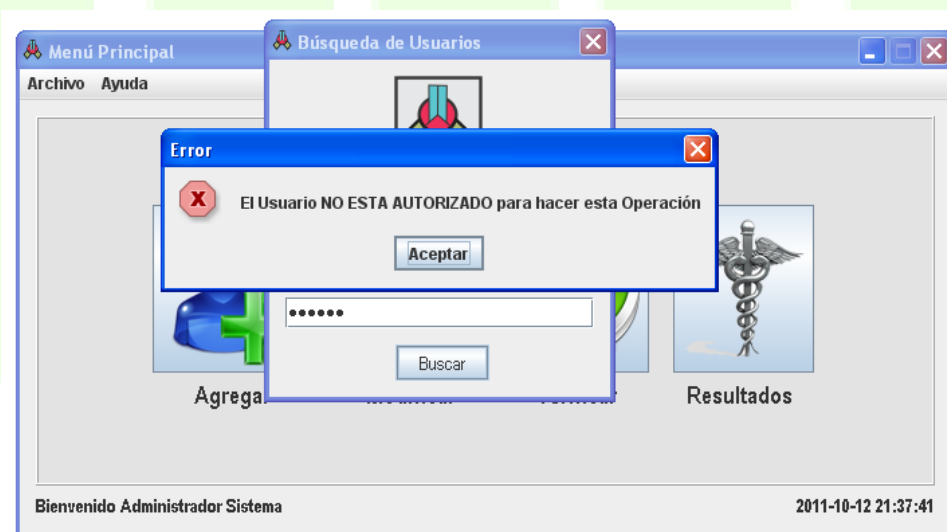


Figura 69. Validación de la identificación.

La figura 69 muestra la validación que se hace a la hora de hacer operaciones con los usuarios del sistema.



The screenshot shows a window titled "Información del Paciente" with a logo for "PROYECTO MAGI". The main heading is "Datos de Paciente". Below it, there is a section for "Datos Personales" containing several input fields: "Cedula", "Nombre", "Apellido", "Telefono", "Direccion", "Ciudad", "Fecha nac", "Genero" (with a dropdown menu showing 'M'), "Edad", and "RH". At the bottom right, there are two buttons: "Guardar" and "Salir".

Figura 70. Formulario de datos del paciente.

La figura 70 muestra el formulario que se debe diligenciar a la hora de agregar un nuevo paciente al sistema, en donde cada uno de los campos está correctamente validado.



The screenshot shows a window titled "Verificación de Existencia" with an icon of a person at a computer. Below the icon, there is a text label "Documento de Identidad:" followed by an empty input field. At the bottom, there are two buttons: "Verificar" and "Asignar". The "Verificar" button is highlighted with a red border.

Figura 71. Verificación de existencia del paciente.

La figura 71 muestra el panel de verificación diseñado para consultar si un paciente ya se encuentra registrado en el sistema.

**Resultados del Paciente**

**FORMATO RESULTADOS**  
Codigo Historia: 1

**PROYECTO MAGI**

Cedula: **1095234765** Fecha Examen: **2010-10-10**  
Nombre: **Juan Ardila**  
Genero: **M** Edad: **21** RH: **O-**

**Diagnostico del Sistema**

RNA:  
Diagnostico:

Observaciones Procedimientos Diagnostico

Presencia cuerpo sospechoso

**Doctor**  
**Sebastian Vega**

Aceptar

**Figura 72.** Formulario de resultados del paciente.

La figura 72 muestra un informe detallado del formulario que se genera por el sistema con los resultados de los análisis realizados al paciente junto con su información personal.

## MODULO DIAGNOSTICO

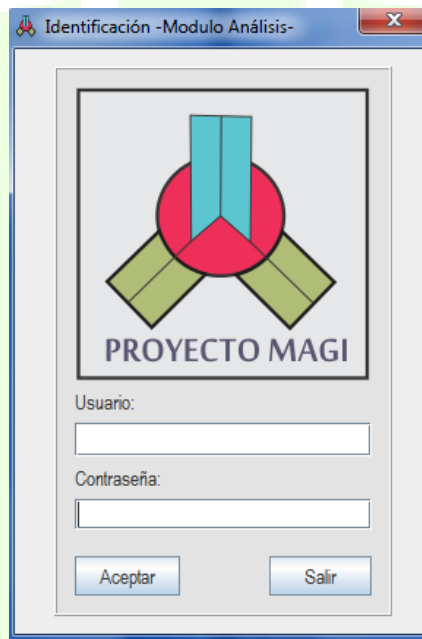


Figura 73. Pantalla verificación de usuario.

La Figura 73 muestra la pantalla de verificación de usuario ante el sistema cuya principal función es evitar el ingreso de personal no autorizado.



Figura 74. Menú principal del modulo.

En la figura 74 se puede observar la pantalla principal del módulo desde la cual se pueden hacer las operaciones principales del sistema.

**Búsqueda de paciente**

**Selección de paciente**

PROYECTO MAGI

Criterios de búsqueda

Nombre   Apellido

Cédula

Datos Personales

Cedula: Fecha nac:

Nombre: Apellido:

Telefono: Direccion:

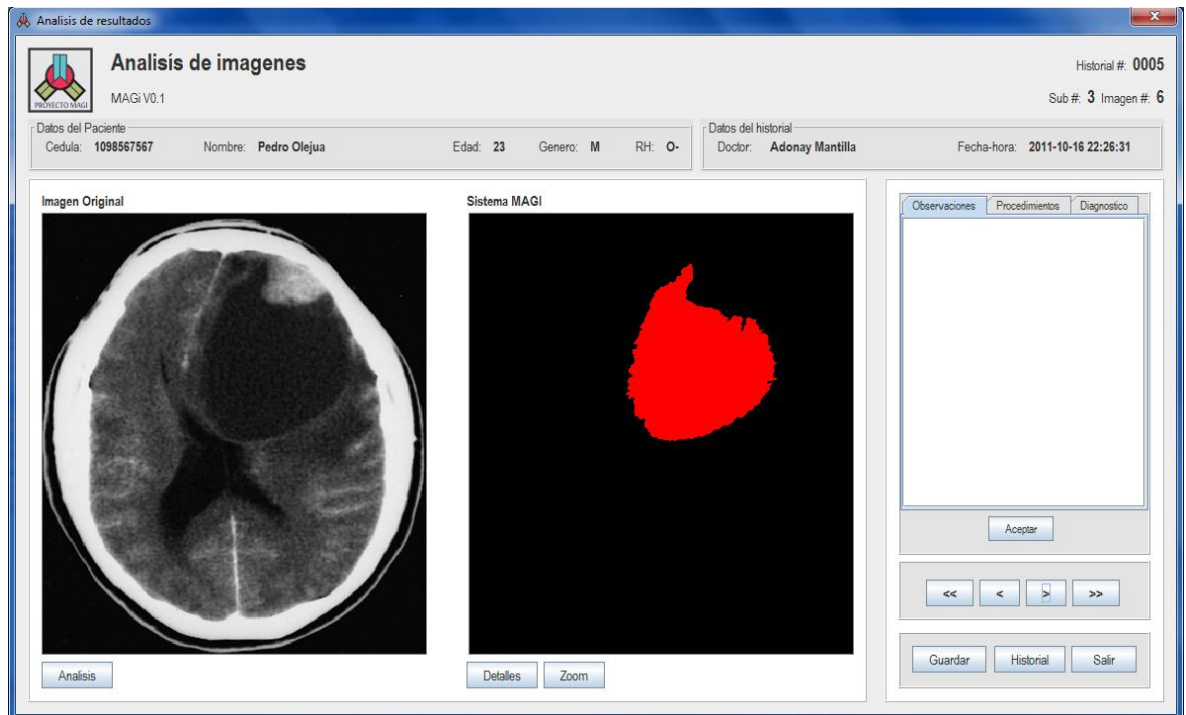
Genero: Ciudad:

Edad: RH:

<< < > >>

**Figura 75.** Panel selección de paciente.

La figura 75 muestra el panel destinado a la búsqueda y selección del paciente que va a ser objeto de estudio, dicha búsqueda se puede realizar por tres modalidades, nombre, apellido o cedula, en la sección inferior se puede hacer una navegación por los registros hallados en el sistema que cumplen los requisitos de la búsqueda.



**Figura 76.** Pantalla de análisis de resultados.

La figura 76 muestra la pantalla que está destinado al análisis de las tomografías axiales computarizadas además de una amplia gama de herramientas tales como:

- El análisis de la imagen por medio de un editor de imágenes.
- Los detalles de la ejecución del algoritmo.
- La ampliación de la imagen extraída.
- Un panel para que el médico especialista haga sus anotaciones y observaciones.
- La visualización del historial neurológico del paciente.
- Un panel con los datos del paciente.

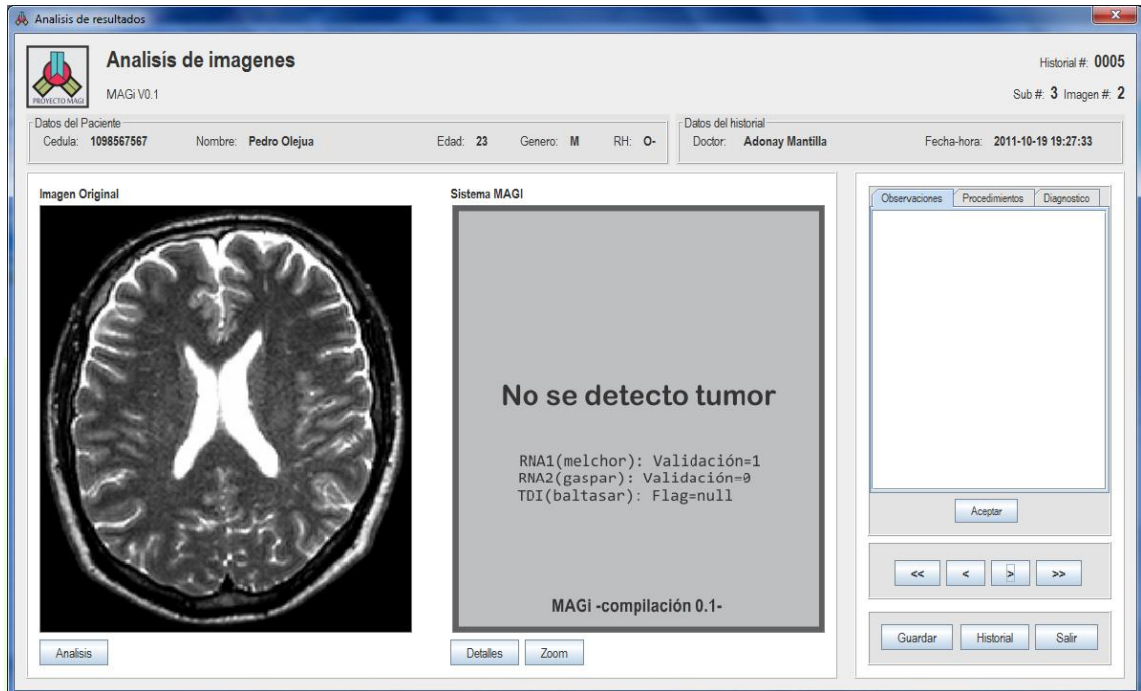


Figura 77. Pantalla de análisis de resultados.

La figura 77 muestra el resultado del análisis para un cerebro sano.

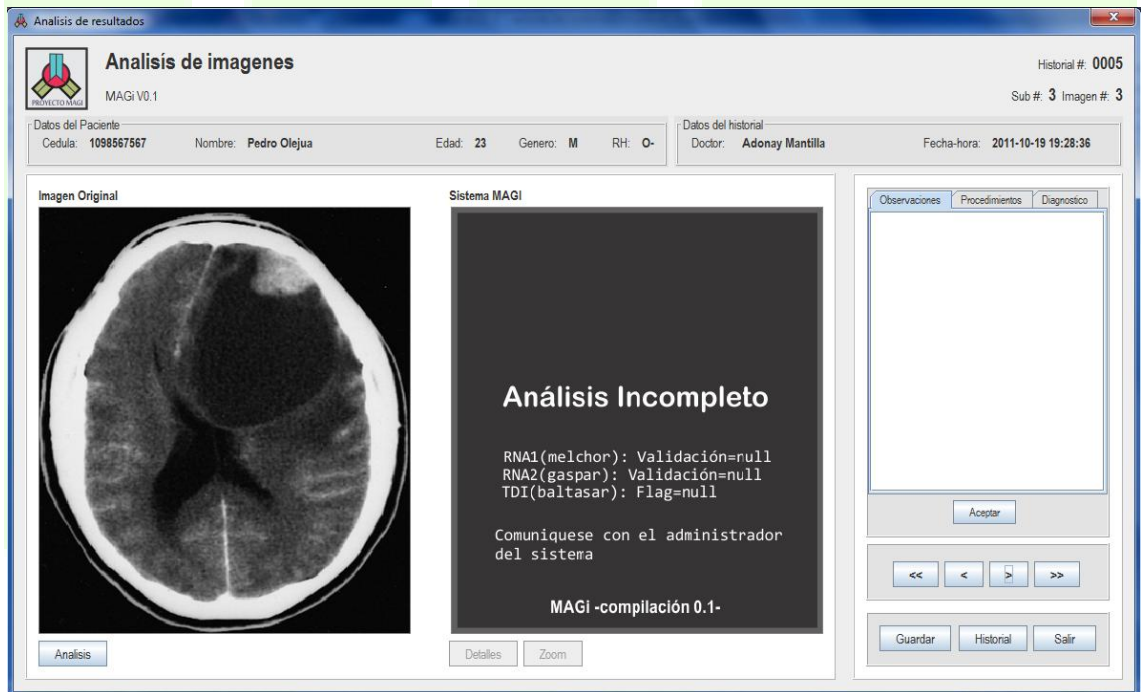
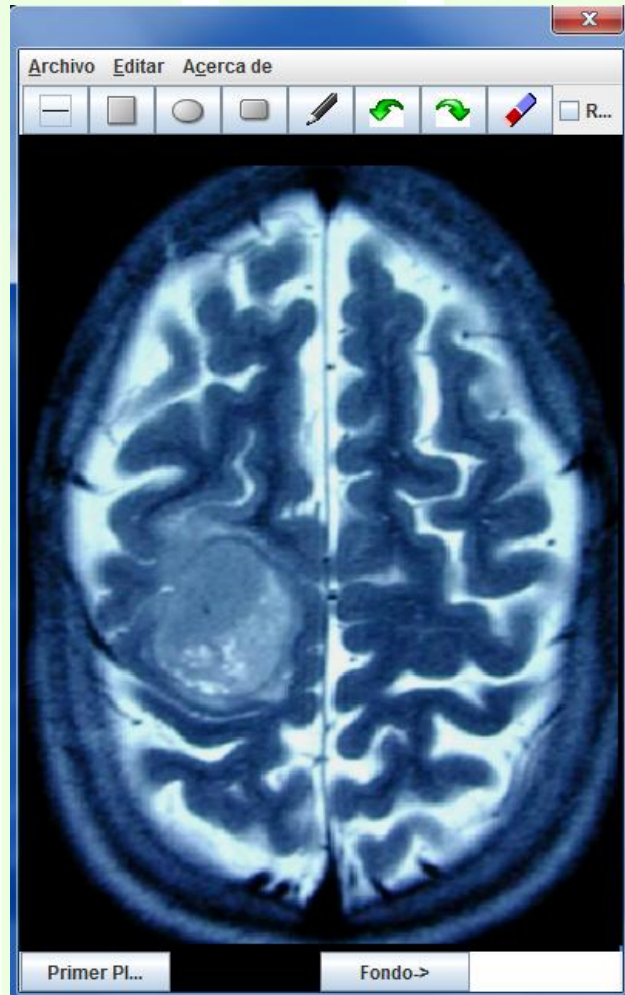


Figura 78. Pantalla de análisis de resultados.

La figura 78 muestra el resultado del análisis cuando por alguna razón se interrumpió el análisis en tiempo de ejecución.



**Figura 79.** Editor de imágenes.

El editor de imágenes permite hacer un análisis más detallado a la imagen permitiendo que se pueda hacer uso de herramientas como lápices de colores, deshacer, rehacer, encerrar una zona de la imagen, entre otros

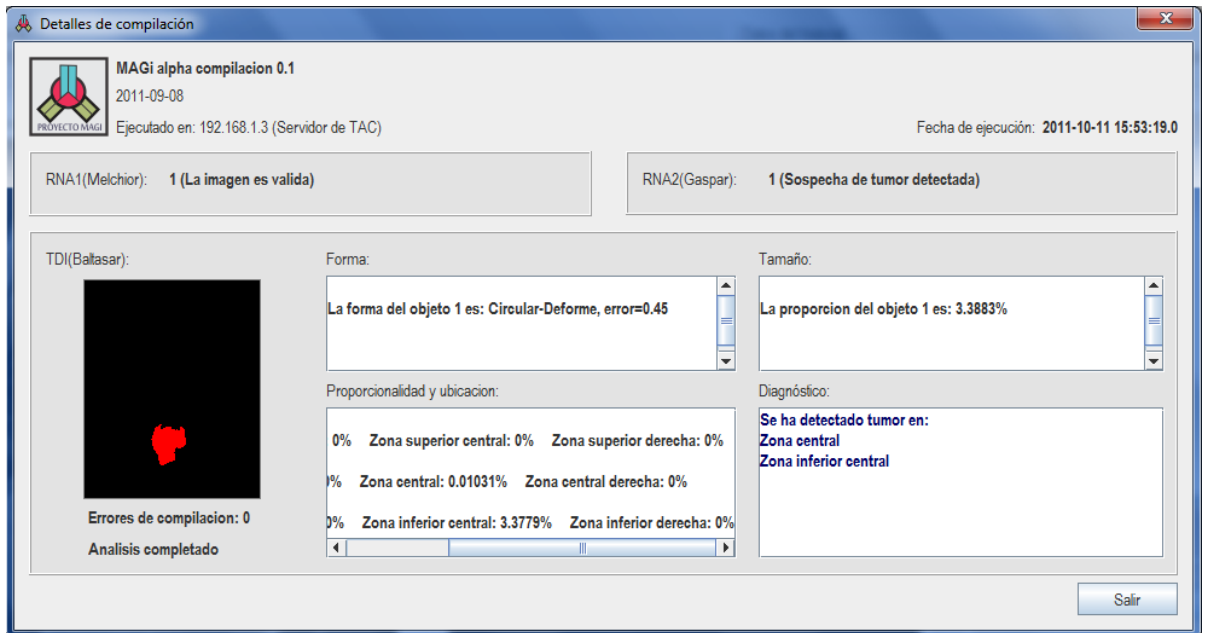


Figura 80. Editor de imágenes.

La figura 80 muestra el análisis realizado por las dos redes neuronales y por el tratamiento digital de imágenes.

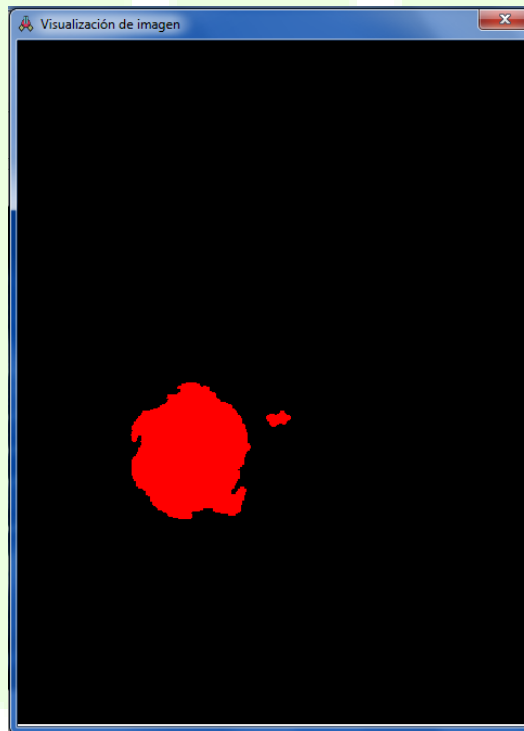


Figura 81. Editor de imágenes.

La figura 81 muestra la ampliación del objeto extraído con el fin de mirar más de cerca sus características morfológicas.

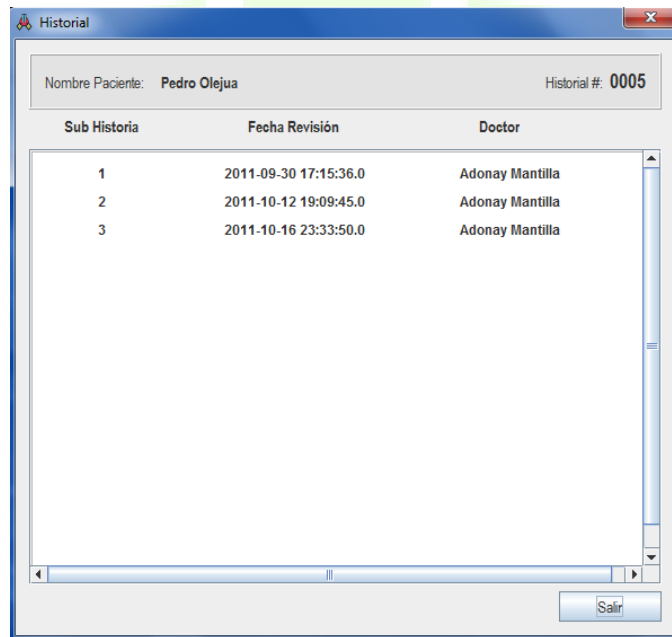


Figura 82. Pantalla historial

Esta es la pantalla encargada mostrar las consultas anteriores de los pacientes.

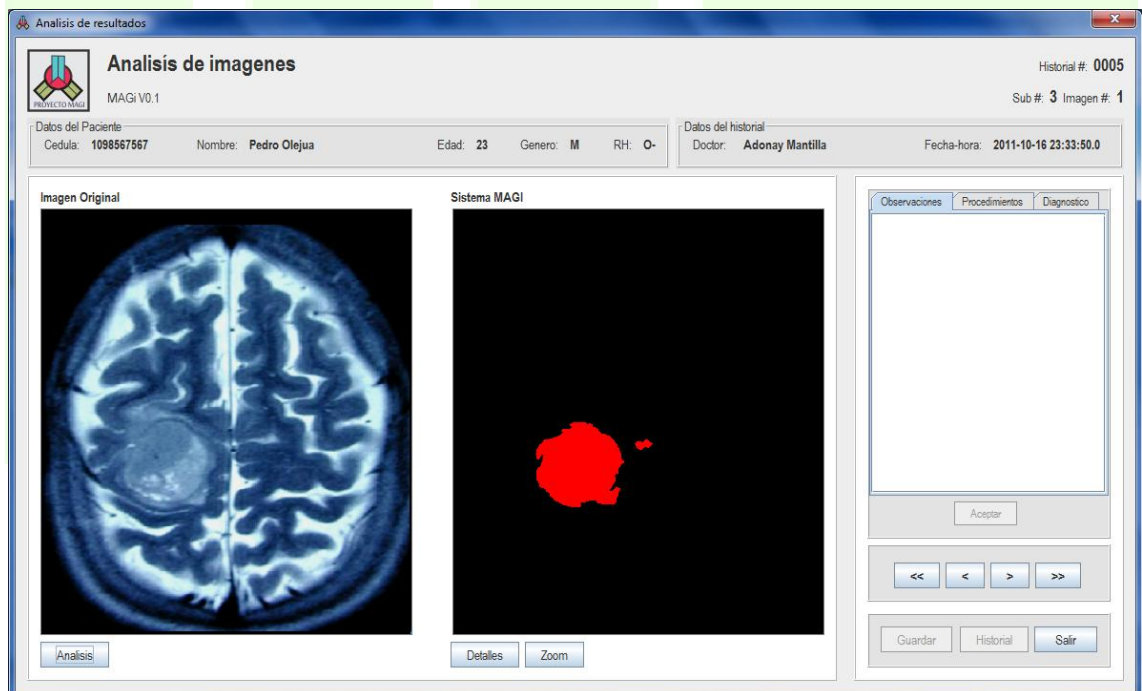


Figura 83. Pantalla visualización del historial.

Esta pantalla tiene la función de mostrar las imágenes de las consultas anteriores así como las observaciones, procedimientos y diagnóstico que fueron hechos por otros médicos.

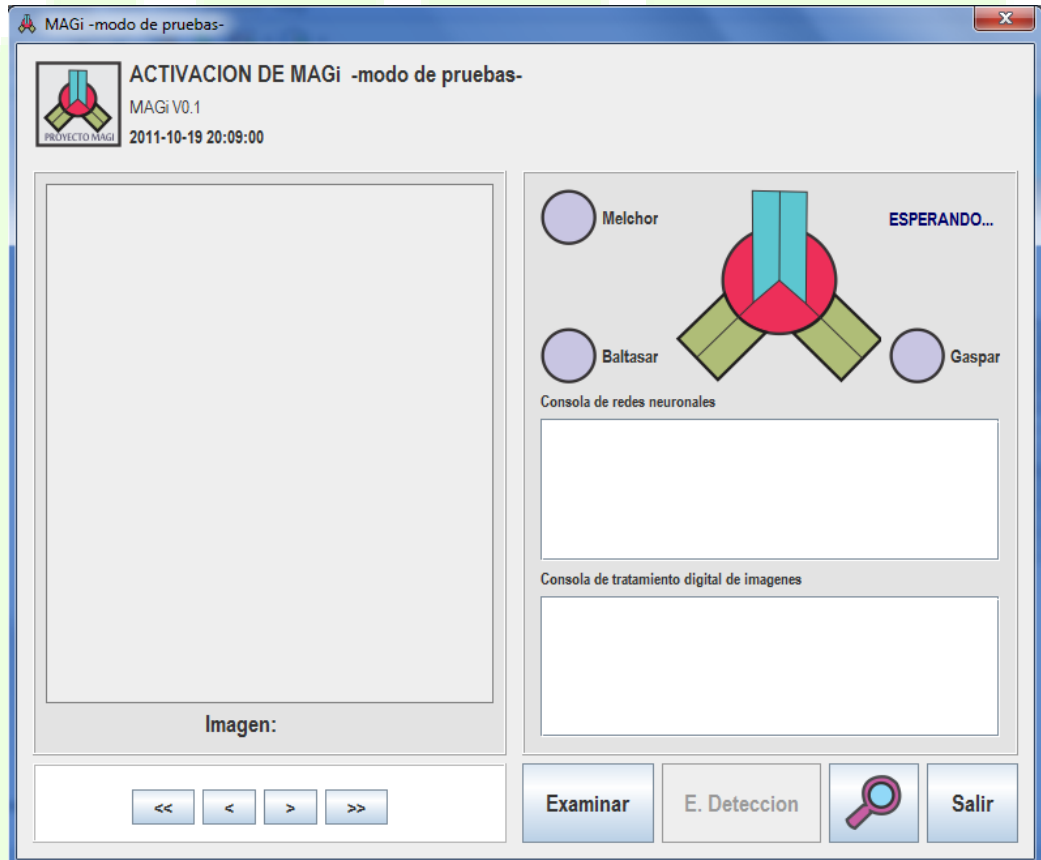
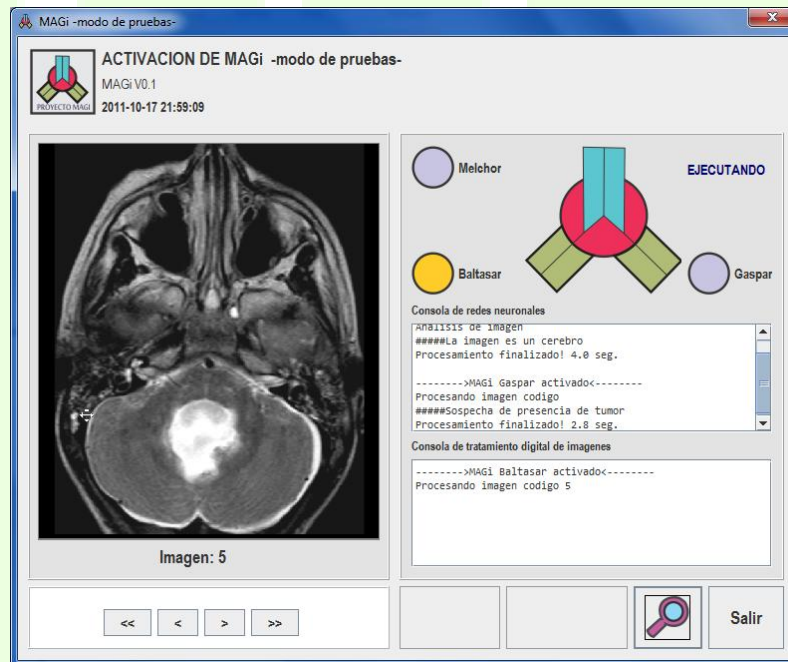


Figura 84. Pantalla modo de pruebas en espera.

El módulo de diagnóstico cuenta con un modo de pruebas para que el doctor evalúe casos particulares de estudio, la pantalla cuenta con:

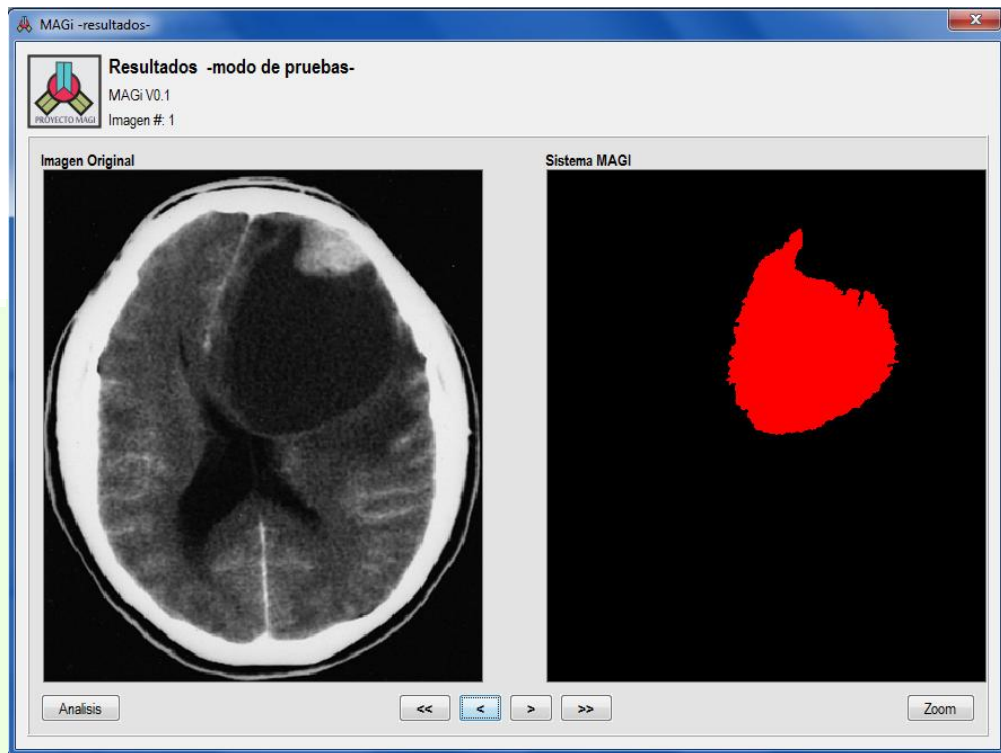
- Un botón examinar para agregar las imágenes deseadas.
- Controles para navegar por las imágenes.
- El botón ejecutar detección para activar la red neuronal 2 y el tratamiento digital de imágenes en las imágenes seleccionadas.
- El botón examinar para visualizar los resultados.

- Indicadores animados para saber en qué estado se encuentra el algoritmo.
- Una consola de eventos para el algoritmo de tratamiento digital de imágenes.
- Una consola de eventos para la ejecución de las redes neuronales.



**Figura 85.** Pantalla modo de pruebas en ejecución.

La figura 85 muestra el algoritmo en tiempo de ejecución donde se muestran los sucesos realizados por el motor 'MAGi'.



**Figura 86.** Pantalla modo de pruebas en ejecución.

Esta pantalla es la encargada de visualizar los resultados del modo de pruebas.

## MODO CONSOLA 'MAGi'

```
----->MAGi BALTASAR ACTIVADO<-----  
----->Iteracion:  
    1  
  
Control de blancos=  
    1  
Relacion de areas 1 activada  
Relacion de areas 2 activada  
Hallando vector de error para los umbrales restantes  
Vector Binario de forma-tamaño  
    1    1    1    1    1    0  
  
Vector de errores  
    0.2500    0.1500    0.5000    0.6500    0.7000    1.0000  
  
Hallando el minimo error y validando forma y tamaño  
Sumatoria: criterio de forma-tamaño  
    100  
  
La proporcion es:  
    5.0177  
  
PROCESAMIENTO REALIZADO CON EXITO!  
----->MAGi BALTASAR DESACTIVADO<-----
```

Figura 87. Pantalla modo consola tratamiento digital de imágenes.

La figura 87 muestra la ejecución en modo consola del algoritmo de tratamiento digital de imágenes.

```
----->MAGi MELCHIOR ACTIVADO<-----  
Imagen cargada  
Imagen redimensionada  
Tranformacion a matriz double finalizada  
Vectorizacion de la imagen finalizada  
Red neuronal cargada con exito!  
Resultado de la simulacion:  
Es un cerebro  
  
ans =  
  
1
```

**Figura 88.** Pantalla modo consola red neuronal 1.

La figura 88 muestra la ejecución del algoritmo que contiene la red neuronal 1.

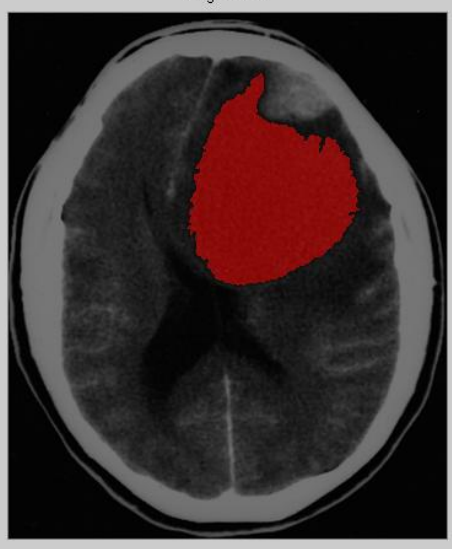
```
----->MAGi GASPAS ACTIVADO<-----  
Imagen cargada  
Imagen redimensionada  
Tranformacion a matriz double finalizada  
Vectorizacion de la imagen finalizada  
Red neuronal cargada con exito!  
Resultado de la simulacion:  
Sospecha de presencia de tumor  
  
ans =  
  
1
```

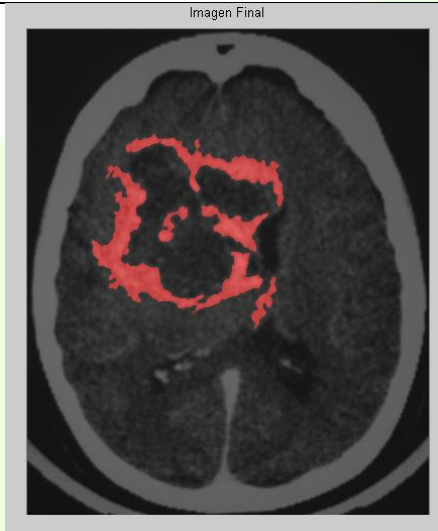
**Figura 89.** Pantalla modo consola red neuronal 2.

La figura 89 muestra la ejecución del algoritmo que contiene la red neuronal 2.

**ANEXO E**  
**RESULTADOS DEL SISTEMA**

A continuación se muestran los análisis realizados a 20 imágenes.

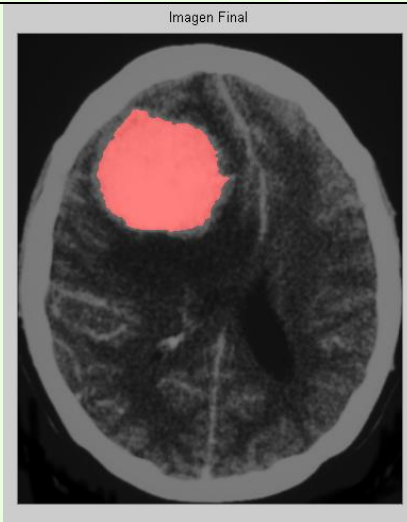
<b>CASO DE PRUEBA 1</b>	
<b>Imagen</b>	<b>Descripción</b>
<p>Imagen Final</p> 	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte superior derecha.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Circular deforme</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 8% de la imagen</p>
<p><b>Segmentación de la imagen</b>(x) Correcta      ( ) Incorrecta</p>	
<p><b>Falso positivo</b>( ) Si                      (x) No</p>	
<p><b>Falso negativo</b>( ) Si                      (x) No</p>	

**CASO DE PRUEBA 2****Imagen****Descripción****Cerebro con tumor****Ubicación:** Parte superior izquierda.**Forma del tumor:** Deforme**Tamaño:** aproximadamente 10% de la imagen

<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta	<input type="checkbox"/> Incorrecta
----------------------------------	--	-------------------------------------

<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

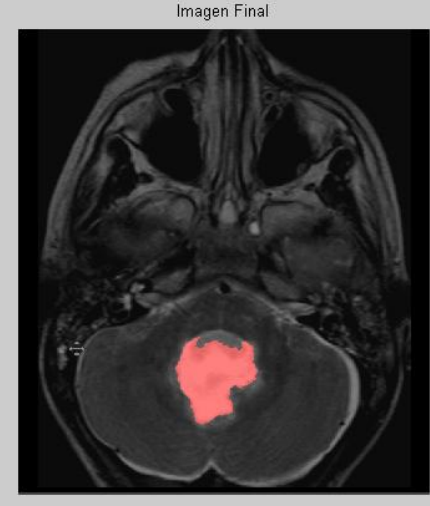
<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

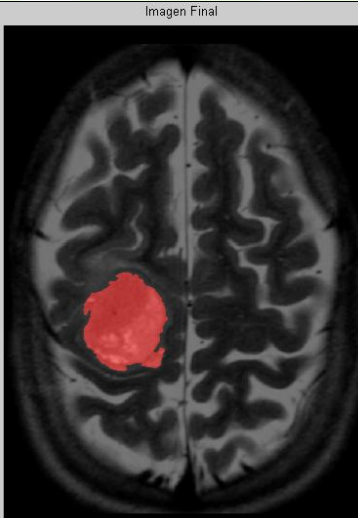
**CASO DE PRUEBA 3****Imagen****Descripción****Cerebro con tumor****Ubicación:** Parte superior izquierda.**Forma del tumor:** Circular deforme**Tamaño:** aproximadamente 11% de la imagen

<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta	<input type="checkbox"/> Incorrecta
----------------------------------	--	-------------------------------------

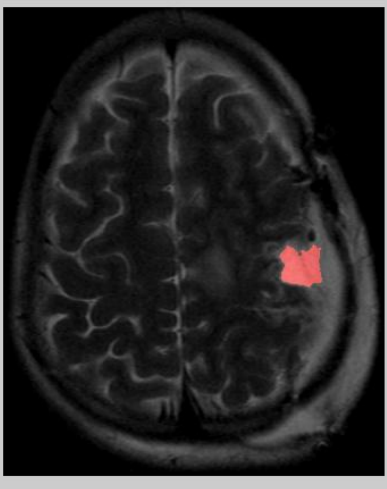
<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

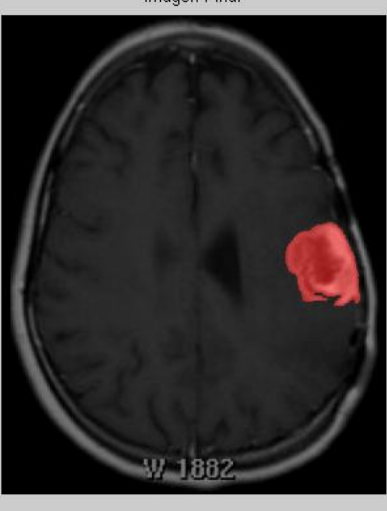
CASO DE PRUEBA 4		
Imagen	Descripción	
<p>Imagen Final</p> 	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte inferior central.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Circular deforme</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 7% de la imagen</p>	
<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta	<input type="checkbox"/> Incorrecta
<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No

CASO DE PRUEBA 5		
Imagen	Descripción	
<p>Imagen Final</p> 	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte inferior izquierda.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Circular deforme</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 7% de la imagen</p>	
<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta	<input type="checkbox"/> Incorrecta
<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No

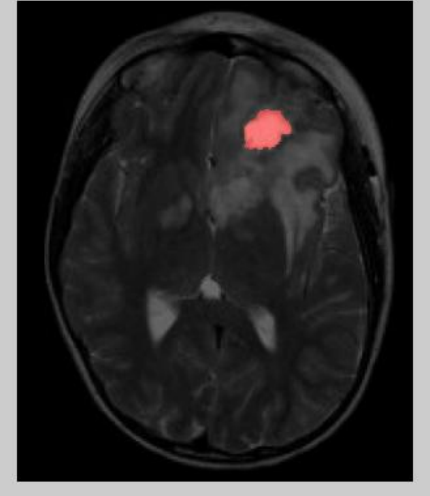
**CASO DE PRUEBA 6**

Imagen	Descripción
	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte central derecha.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Circular deforme</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 3% de la imagen</p>
<b>Segmentación de la imagen</b>	<input type="checkbox"/> Correcta <input checked="" type="checkbox"/> Incorrecta
<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No
<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No

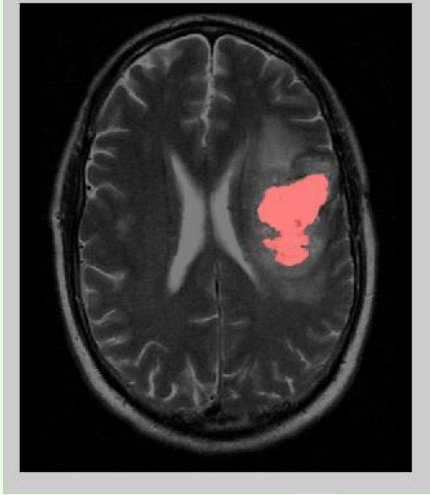
**CASO DE PRUEBA 7**

Imagen	Descripción
	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte central derecha.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Circular deforme</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 7% de la imagen</p>
<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Incorrecta
<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No
<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No

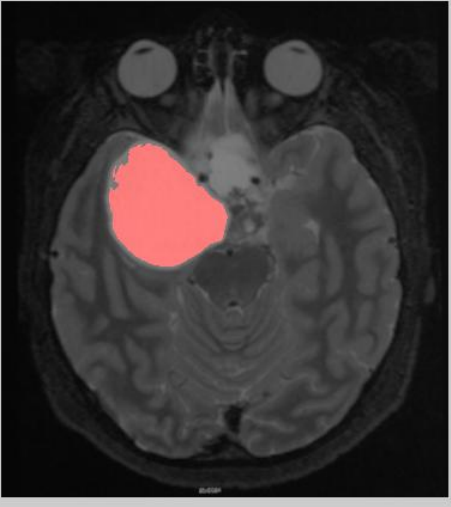
**CASO DE PRUEBA 8**

Imagen	Descripción	
<p style="text-align: center; font-size: small;">Imagen Final</p> 	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte superior derecha.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Circular deforme</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 2% de la imagen</p>	
<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta	<input type="checkbox"/> Incorrecta
<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No

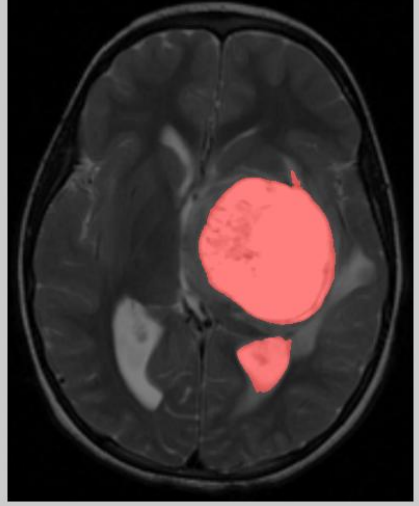
**CASO DE PRUEBA 9**

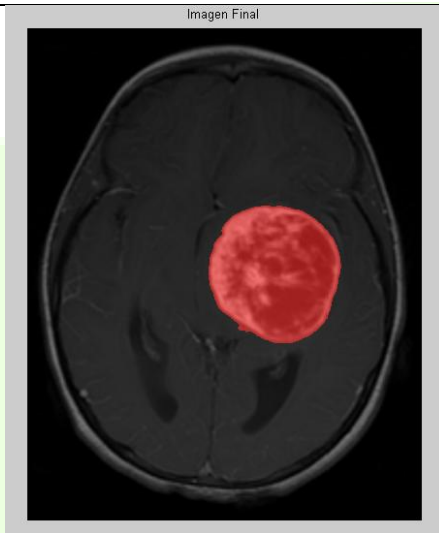
Imagen	Descripción	
<p style="text-align: center; font-size: small;">Imagen Final</p> 	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte central derecha.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Circular deforme</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 10% de la imagen</p>	
<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta	<input type="checkbox"/> Incorrecta
<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No

**CASO DE PRUEBA 10**

Imagen	Descripción
	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte superior izquierda.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Circular deforme</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 13% de la imagen</p>
<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Incorrecta
<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No
<b>Falso negativo</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No

**CASO DE PRUEBA 11**

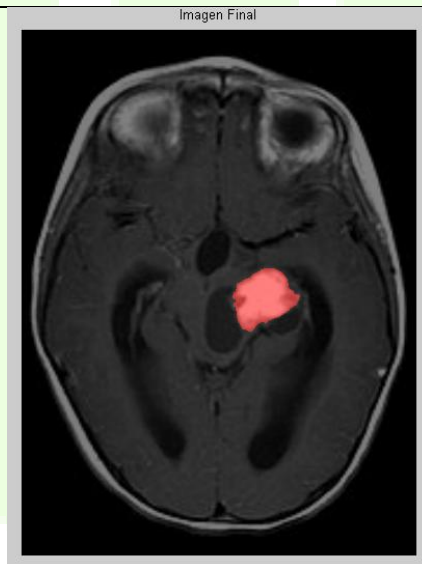
Imagen	Descripción
	<p><b>Cerebro con tumor</b></p> <p><b>Ubicación:</b> Parte central derecha.</p> <p><b>Forma del tumor:</b> Circular deforme</p> <p><b>Tamaño:</b> aproximadamente 14% de la imagen</p>
<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta <input type="checkbox"/> Incorrecta
<b>Falso positivo</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No

**CASO DE PRUEBA 12****Imagen****Descripción****Cerebro con tumor****Ubicación:** Parte central.**Forma del tumor:** Circular deforme**Tamaño:** aproximadamente 10% de la imagen

<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta	<input type="checkbox"/> Incorrecta
----------------------------------	--	-------------------------------------

<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

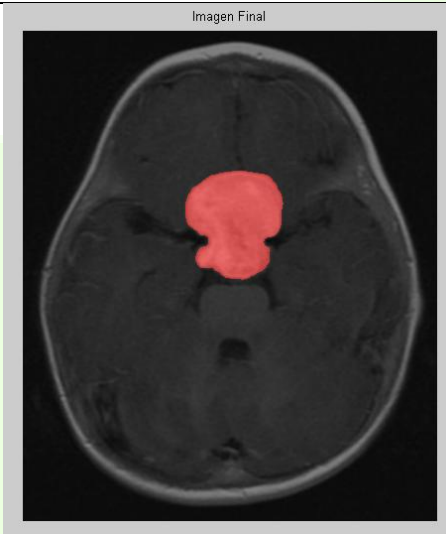
<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

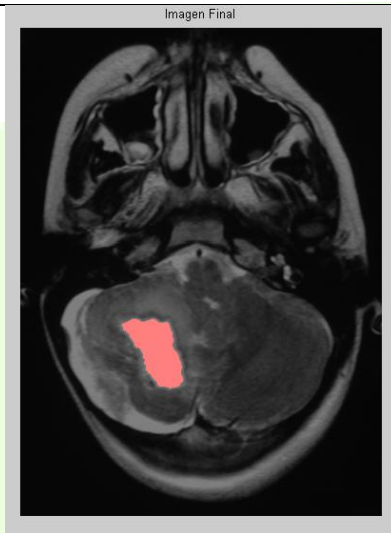
**CASO DE PRUEBA 13****Imagen****Descripción****Cerebro con tumor****Ubicación:** Parte central derecha.**Forma del tumor:** Circular deforme**Tamaño:** aproximadamente 4% de la imagen

<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta	<input type="checkbox"/> Incorrecta
----------------------------------	--	-------------------------------------

<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

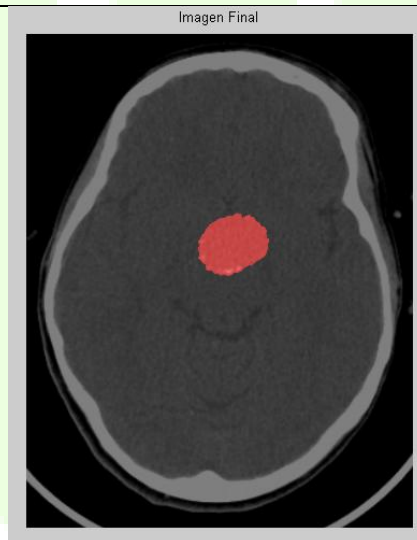
**CASO DE PRUEBA 14****Imagen****Descripción****Cerebro con tumor****Ubicación:** Parte media superior.**Forma del tumor:** Circular deforme**Tamaño:** aproximadamente 11% de la imagen**Segmentación de la imagen**     Correcta     Incorrecta**Falso positivo**     Si     No**Falso negativo**     Si     No**CASO DE PRUEBA 15****Imagen****Descripción****Cerebro con tumor****Ubicación:** Parte central inferior.**Forma del tumor:** Circular deforme**Tamaño:** aproximadamente 8% de la imagen**Segmentación de la imagen**     Correcta     Incorrecta**Falso positivo**     Si     No**Falso negativo**     Si     No

**CASO DE PRUEBA 16****Imagen****Descripción****Cerebro con tumor****Ubicación:** Parte inferior izquierda.**Forma del tumor:** Circular deforme**Tamaño:** aproximadamente 9% de la imagen

<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta	<input type="checkbox"/> Incorrecta
----------------------------------	--	-------------------------------------

<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

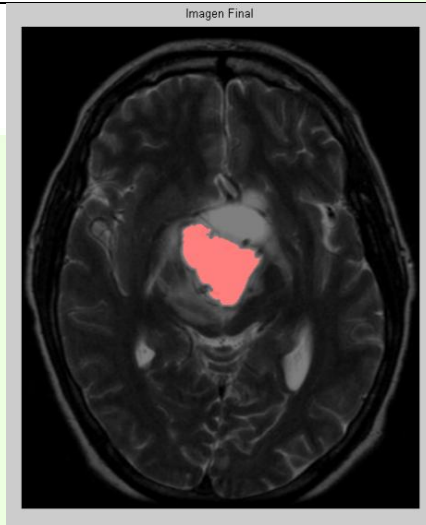
<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

**CASO DE PRUEBA 17****Imagen****Descripción****Cerebro con tumor****Ubicación:** Parte central.**Forma del tumor:** Circular deforme**Tamaño:** aproximadamente 6% de la imagen

<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta	<input type="checkbox"/> Incorrecta
----------------------------------	--	-------------------------------------

<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

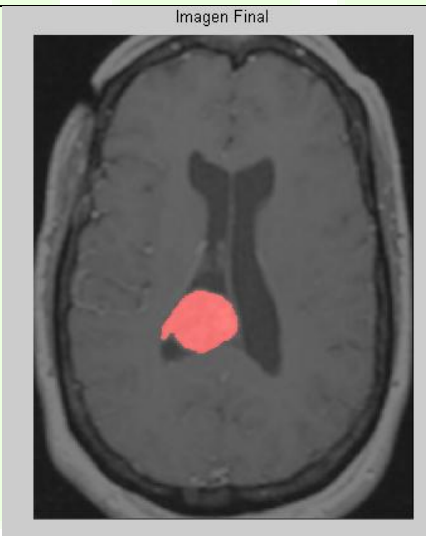
<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

**CASO DE PRUEBA 18****Imagen****Descripción****Cerebro con tumor****Ubicación:** Parte central.**Forma del tumor:** Circular deforme**Tamaño:** aproximadamente 7% de la imagen

<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta	<input type="checkbox"/> Incorrecta
----------------------------------	--	-------------------------------------

<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

**CASO DE PRUEBA 19****Imagen****Descripción****Cerebro con tumor****Ubicación:** Parte central inferior.**Forma del tumor:** Circular deforme**Tamaño:** aproximadamente 6% de la imagen

<b>Segmentación de la imagen</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Correcta	<input type="checkbox"/> Incorrecta
----------------------------------	--	-------------------------------------

<b>Falso positivo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

<b>Falso negativo</b>	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No
-----------------------	-----------------------------	--

**CASO DE PRUEBA 20****Imagen****Descripción****Cerebro con tumor****Ubicación:** Parte media.**Forma del tumor:** Circular deforme**Tamaño:** aproximadamente 9% de la imagen**Segmentación de la imagen**     Correcta     Incorrecta**Falso positivo**     Si     No**Falso negativo**     Si     No