

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**



**Sistema de visión artificial como apoyo en el proceso de diagnóstico de lesiones cerebrales en la empresa Ecoray Diagnóstico**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**

**AUTOR**

**Renatto Jesus Perez Fiestas**

**ASESOR**

**Maria Ysabel Aranguri Garcia**

<https://orcid.org/0000-0001-9220-5801>

**Chiclayo, 2026**

**Sistema de visión artificial como apoyo en el proceso de diagnóstico  
de lesiones cerebrales en la empresa Ecoray Diagnóstico**

PRESENTADA POR

**Renatto Jesus Perez Fiestas**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**

APROBADA POR

Hector Miguel Zelada Valdivieso

PRESIDENTE

Miguel Orlando Diaz Vidarte

SECRETARIO

Maria Ysabel Aranguri Garcia

VOCAL

## **Dedicatoria**

A Dios por haberme guiado en el transcurso de mi carrera, a mis padres Hualberto y Atala porque muy aparte de deberles la vida, les debo una infinidad de enseñanzas que me hacen la persona que soy, demostrándome siempre el esfuerzo para lograr las metas propuestas.

A mi esposa Sofia y a todos los que creyeron en mí apoyándome en esta etapa.

## **Agradecimientos**

Agradezco a mi asesora, la Dra. María Arangurí García por su apoyo incondicional y recomendaciones esenciales durante la investigación.

También quiero agradecer a la empresa Ecoray, quienes me han brindado los recursos necesarios para la realización de la investigación.

# Sistema de visión artificial como apoyo en el proceso de diagnóstico de lesiones cerebrales en la empresa Ecoray

## Diagnóstico

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

|          |   |               |
|----------|---|---------------|
| <b>1</b> | <b>docplayer.es</b><br>Fuente de Internet                                 | <b>1%</b>     |
| <b>2</b> | <b>tesis.usat.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                            | <b>1%</b>     |
| <b>3</b> | <b>repositorio.unp.edu.pe</b><br>Fuente de Internet                       | <b>&lt;1%</b> |
| <b>4</b> | <b>www.coursehero.com</b><br>Fuente de Internet                           | <b>&lt;1%</b> |
| <b>5</b> | <b>tesis.uson.mx</b><br>Fuente de Internet                                | <b>&lt;1%</b> |
| <b>6</b> | <b>xdoc.mx</b><br>Fuente de Internet                                      | <b>&lt;1%</b> |
| <b>7</b> | <b>www.postdicom.com</b><br>Fuente de Internet                            | <b>&lt;1%</b> |
| <b>8</b> | <b>Submitted to Universidad Rey Juan Carlos</b><br>Trabajo del estudiante | <b>&lt;1%</b> |

## Índice

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| <b>Resumen .....</b>                | <b>6</b>  |
| <b>Abstract .....</b>               | <b>7</b>  |
| <b>Introducción.....</b>            | <b>8</b>  |
| <b>Revisión de literatura.....</b>  | <b>11</b> |
| <b>Materiales y métodos .....</b>   | <b>25</b> |
| <b>Resultados y discusión .....</b> | <b>30</b> |
| <b>Discusión .....</b>              | <b>42</b> |
| <b>Conclusiones .....</b>           | <b>44</b> |
| <b>Recomendaciones .....</b>        | <b>46</b> |
| <b>Referencias.....</b>             | <b>48</b> |
| <b>Anexos .....</b>                 | <b>52</b> |

## Resumen

Esta investigación presenta un sistema de visión artificial para apoyar el diagnóstico de lesiones cerebrales en Ecoray Diagnósticos. El objetivo fue integrar un flujo confiable que abarca lectura DICOM, preprocesamiento de tomografías y clasificación automática de subtipos de hemorragia intracraneal, mediante una red DenseNet-121 exportada a ONNX e incorporada en una aplicación de escritorio desarrollada en Java. El modelo se entrenó combinando 3713 estudios públicos rotulados de tomografías cerebrales y 184 estudios locales de la clínica Ecoray. El desarrollo se llevó a cabo con un diseño cuasi experimental y se organizó en módulos. El sistema incluye validación de metadatos DICOM, normalización de las imágenes, reducción de ruido, redimensionamiento y conversión a tensores para la red neuronal, además de un registro de auditoría y la generación de reportes mediante JasperReports. Los resultados muestran una validación basada en 184 estudios locales no utilizados en el entrenamiento para lo cual se obtuvo una exactitud global del 87%, una sensibilidad del 84% y una especificidad del 90%, lo que indica un desempeño clínicamente aceptable en la mayoría de los subtipos modelados los cuales son hemorragia epidural, intraparenquimal, intraventricular, subaracnoidea, subdural y la clase ninguno. El tiempo medio de procesamiento se mantuvo alrededor de cuatro segundos por estudio, reduciendo de forma notable el tiempo necesario para elaborar el informe en comparación con el flujo manual. La usabilidad, medida con el cuestionario SUS aplicado a los radiólogos, alcanzó un 82%, por encima del umbral de 68 considerado aceptable. El sistema se integró al flujo operativo como herramienta de apoyo, sin reemplazar el criterio del especialista, aportando estandarización del preanálisis, priorización de casos y trazabilidad técnica, además de lineamientos para su mantenimiento y mejora futura.

**Palabras clave:** Visión artificial; tomografía computarizada; traumatismo cerebral; DICOM; red neuronal CNN; usabilidad SUS.

### **Abstract**

This research presents a computer vision system to support the diagnosis of brain injuries at Ecoray Diagnósticos. The objective was to integrate a reliable workflow that covers DICOM reading, preprocessing of brain computed tomography (CT) scans, and automatic classification of intracranial hemorrhage subtypes, using a DenseNet-121 network exported to ONNX and embedded in a Java desktop application. The model was trained on 3,713 labeled public brain CT studies, while the clinical evaluation focused on local data from the institution. The development followed a quasi-experimental design and was organized in modules. The system includes DICOM metadata validation, image normalization, noise reduction, resizing and conversion to tensors for the neural network, as well as an audit log and automated report generation using JasperReports. The results are based on a validation with 184 local studies that were not used for training, in which the system achieved an overall accuracy of 87%, sensitivity of 84% and specificity of 90%. These values indicate clinically acceptable performance for most of the modeled subtypes: epidural, intraparenchymal, intraventricular, subarachnoid and subdural hemorrhage, plus the “no hemorrhage” class. The average processing time was around four seconds per study, considerably reducing the time required to prepare the report compared with the manual workflow. Usability, measured through the SUS questionnaire applied to radiologists, reached 82%, above the standard acceptability threshold of 68. The system was integrated into the routine workflow as a decision-support tool, without replacing the specialist’s judgment, providing standardized pre-analysis, case prioritization and technical traceability, as well as guidelines for maintenance and future improvement.

**Keywords:** Computer vision; computed tomography; intracranial hemorrhage; DICOM; ONNX Runtime; convolutional neural network; System Usability Scale.

## Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las principales causas de muerte y discapacidad en todo el mundo son las lesiones cerebrales traumáticas (TBI). Cada año, se estima que 69 millones de personas alrededor mundo sufren un TBI. De estos casos, aproximadamente 55,9 millones corresponden a lesiones leves, mientras que alrededor de 5,48 millones son graves, lo cual refleja su considerable impacto en la calidad de vida de los afectados [1].

Según los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC), en 2020 se reportó en los Estados Unidos aproximadamente 2.87 millones de visitas al departamento de emergencias, hospitalizaciones y muertes relacionadas con TBI. Esto representa un aumento significativo en comparación con años anteriores, lo que subraya la creciente carga de esta condición en el sistema de salud [2]. India tiene una de las tasas más altas de TBI en el mundo, con alrededor de 1.5 a 2 millones de casos anuales, principalmente debido a accidentes de tráfico [3], así mismo en Argentina, se reportaron alrededor de 50,000 casos de TBI, con una tasa de mortalidad del 7% [4]. La mortalidad asociada a los TBI sigue siendo alta debido a su diagnóstico tardío y a las limitaciones en los tratamientos disponibles, especialmente en países de ingresos medios y bajos [5].

En América Latina, la carga de las lesiones cerebrales es particularmente significativa, siendo el resultado de accidentes de tránsito ser la principal causa de TBI [6]. La región presenta una de las tasas de incidencia más altas de TBI en el mundo, lo cual subraya la necesidad urgente de mejorar los sistemas de prevención y atención médica [7]. La incidencia de TBI es notablemente alta, con tasas estimadas de entre 70 y 360 casos nuevos por cada 100,000 personas. Las principales causas incluyen accidentes de tráfico y violencia interpersonal [7], pero se reconoce que el acceso limitado a la atención médica contribuye a un mayor riesgo de mortalidad en comparación con regiones de ingresos más altos [8].

Según el Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN), se registró 1620 casos, de los que el 11.3% son del Departamento de Cabeza y Cuello y que a su vez registra una mortalidad bruta anual del 6.2% del total de los casos registrados [9], esto se debe a distintos factores, siendo en su mayoría por una detección tardía, accesibilidad a los equipos de diagnóstico por imágenes, falta de radiólogos especialistas, entre otros complicando contrarrestar a tiempo dicho mal, así mismo según Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en el 2021 se reportaron 2500 decesos por TBI en Perú con una proporción de 3 a 1 varones entre los 15 a 35 años de edad [10]. En Lambayeque según la Gerencia Regional de Salud (GERESA), el Hospital Regional de Lambayeque, reportó en 2022

aproximadamente 150-200 casos anuales de TBI moderado/grave, de las que en un 40% son por accidentes de moto, 25% caídas y 35% para otros casos [11].

En la empresa Ecoray Diagnósticos en el 2023 se registraron un total de 4 casos por enfermedades neoplásicas cerebrales, si bien es cierto se cuenta actualmente con 2 médicos radiólogos y 1 tecnólogos (Ver anexo 2), que hacen posible la adecuada atención en dicha empresa, existe una demora para la entrega de resultados de las tomografías, y que impiden obtener un resultado exacto y rápido. (Ver anexo 3). El software PACS CARESTREAM usado para tratar las imágenes y utilizar las unidades de Hounsfield para determinar el tipo de materia de la lesión, para luego calcular el volumen de forma rudimentaria utilizando la siguiente formula: Longitudinal x Transversal x Anteroposterior x 0.52 (Ver anexo 2), suponiendo que las lesiones cerebrales son totalmente cúbicas y dicho valor suele ser alejado del valor real.

Una de las tecnologías que más ha evolucionado en beneficio de la medicina es la visión artificial, que ayuda a recrear situaciones que no son visibles de forma natural o que son complejas en su entendimiento [12], vale saber que aplicada en el campo clínico, ha logrado reconocer de forma automatizada y precisa posibles enfermedades así como también poder predecir dichas enfermedades utilizando las imágenes clínicas tales como: radiografías, tomografías, ecografías, etc. [13], específicamente en esta investigación se utilizó en imágenes tomográficas post tratadas y almacenadas en el servidor de la Clínica Ecoray Diagnósticos.

Según las entrevistas realizadas a los radiólogos del clínica Ecoray, existen distintos métodos para poder detectar las lesiones cerebrales, entre los más comunes y usados son los TAC (Tomografía Axial Computarizada), por su efectividad además del amplio panorama que brinda de manera visual, sin embargo a pesar de este soporte para los médicos radiólogos, existen casos en los que la detección y diagnóstico, se hace ardua debido a que existen lesiones que no son perceptibles al ojo humano y que como ya hemos mencionado con anterioridad requiere la minuciosa observación para dar un correcto diagnóstico (Ver anexo 6).

Es por todo lo mencionado que surgió la interrogante: ¿De qué manera se puede apoyar al proceso de diagnóstico de lesiones cerebrales la empresa Ecoray Diagnóstico?, para dar respuesta a esta pregunta, implementó un sistema de visión artificial para apoyar al proceso de diagnóstico de lesiones cerebrales. La tesis desarrolló una aplicación de escritorio para la detección y clasificación de lesiones cerebrales. Utilizando datos y la visión artificial, se halló patrones en el proceso de diagnóstico de lesiones cerebrales, que permitió determinar la presencia de las mismas, además se incrementó el índice de precisión.

En el ámbito científico, la investigación aporta al conocimiento teórico y tecnológico al integrar la visión artificial y el procesamiento digital de imágenes médicas en el diagnóstico de

lesiones cerebrales, mediante un modelo predictivo basado en redes neuronales convolucionales que identifica patrones anómalos en tejidos cerebrales. Este enfoque fortalece el campo de la inteligencia artificial aplicada a la imagenología médica, generando fundamentos para el desarrollo de sistemas de diagnóstico asistido por computadora y promoviendo la innovación en entornos clínicos con recursos limitados.

En el ámbito económico, la implementación de este sistema representó una inversión estratégica para Ecoray Diagnóstico. Al reducir el tiempo de diagnóstico y aumentar la precisión, se optimizó el uso de los recursos humanos y técnicos disponibles, lo que se tradujo en una mayor capacidad para atender a un mayor número de pacientes sin incrementar los costos operativos. Además, al ofrecer un servicio más rápido y confiable, la empresa se pudo posicionar como un referente en diagnóstico por imágenes, atrayendo más pacientes y generando mayores ingresos. A largo plazo, este sistema redujo los costos asociados a diagnósticos erróneos o tardíos, que suelen derivar en tratamientos más complejos y costosos.

Es por ello que, al reducir el tiempo, en el ámbito social da lugar a que los médicos radiólogos analicen y examinen una mayor cantidad de exámenes por pacientes, entregando los resultados a los médicos neurólogos en un menor tiempo y que por ende dio lugar a un agendamiento en un menor tiempo, que complementa el trabajo de los especialistas y para el paciente se brinda una oportunidad de tratamiento enfocado en un diagnóstico preciso, que dio lugar a una intervención médica inmediata.

Con el fin de dar respuesta a la problemática planteada, se estableció como objetivo general, el implementar un sistema visión artificial como apoyo en el proceso de diagnóstico de lesiones cerebrales en la empresa Ecoray Diagnóstico, para mejorar el índice de precisión en los resultados. Asimismo, para lograr el objetivo general, fue necesario definir los objetivos específicos para la investigación. Por consiguiente, se planteó el evaluar cada una de las variables que identifican la caracterización de las imágenes de lesiones cerebrales TBI obtenidas de cada paciente para determinar la complejidad del algoritmo que las pueda clasificar. Así como también elaborar el modelo computacional predictivo, en base a las variables evaluadas que permita la clasificación automática de lesiones cerebrales TBI, optimizando su precisión y eficiencia en el diagnóstico. Adicionalmente a ello, se estableció integrar una interfaz gráfica de usuario (GUI) con el modelo computacional obtenido que permita la interacción entre los usuarios con el modelo computacional predictivo, asegurando una experiencia de usuario intuitiva, eficiente y alineada con estándares de UX. Para garantizar la calidad se validó el sistema integrado con base en la eficiencia y funcionalidad de acuerdo a los requerimientos establecidos.

## **Revisión de literatura**

### **Antecedentes de la investigación**

Seyam [14] y su equipo de investigación integra en este estudio una herramienta de detección de hemorragia intracraneal en tomografías de cráneo directamente dentro del flujo de trabajo de emergencias. La validación utiliza estudios reales y compara el desempeño de la herramienta con el dictamen radiológico definitivo. Los autores describen cómo se incorporan las alertas al circuito clínico y cómo se gestiona la interacción con el personal. El trabajo muestra mejoras en la priorización de casos y en la oportunidad de la atención. También identifica desafíos de adopción, como el manejo de falsos positivos y la variabilidad entre turnos. En conjunto, ofrece evidencia sólida sobre la utilidad práctica de la inteligencia artificial cuando se despliega en escenarios clínicos reales.

Choi [15] y su equipo de investigación evalúan el impacto de un algoritmo de interpretación de TC de cráneo para hemorragia intracraneal sobre la toma de decisiones en el servicio de emergencias. El estudio compara el rendimiento de profesionales con distintos niveles de experiencia al utilizar el apoyo del sistema. Los resultados muestran un aumento de sensibilidad en personal menos experimentado y un cambio mínimo en personal experto. Se analiza la consistencia de las decisiones clínicas y se discuten los efectos de los falsos positivos en el proceso. El trabajo concluye que la integración cuidadosa del algoritmo mejora la seguridad diagnóstica en escenarios exigentes. Aporta pautas sobre cómo introducir este tipo de herramientas sin interrumpir la dinámica clínica.

Raj [16] desarrolla un método preciso apoyado de su equipo para la clasificación de pacientes con lesiones cerebrales traumáticas en diferentes intervalos de tiempo. La investigación se estructura en tres etapas: adquisición de datos, desarrollo del biomarcador y su evaluación. La muestra consiste en 1000 pacientes y se emplean técnicas de procesamiento de señales y algoritmos de clasificación como Random Forest y Gradient Boosting Machines. El biomarcador muestra una precisión del 90%, con una mejora del 20% en comparación con métodos tradicionales de triaje.

Zulbayer [17] y su unidad investigadora desarrollan un modelo predictivo para la identificación temprana de traumatismos craneoencefálicos en una población general, utilizando una muestra de 10,000 pacientes con y sin traumatismo. El modelo combina técnicas de aprendizaje no supervisado (k-medias) y supervisado (Random Forest y Gradient Boosting), alcanzando una precisión del 92%, lo que mejora significativamente la predicción en comparación con métodos tradicionales.

Agrawal [18] desarrolla un enfoque de 3D-CNN para la detección de hemorragia intracraneal (ICH) en TC de cráneo de pacientes con TBI, orientado al screening clínico. El estudio prioriza la generalización en entorno real, usando volúmenes 3D completos y validación sobre casos clínicos, con desempeño competitivo frente a soluciones 2D y métodos tradicionales. La propuesta destaca por su relevancia operativa: reduce tiempos de identificación de hallazgos críticos y es compatible con flujos hospitalarios existentes. Sus resultados respaldan la viabilidad de integrar DL en la práctica rutinaria, lo que se alinea con el objetivo de esta tesis de incorporar inferencia en estación de trabajo (Java+DICOM+ONNX) con tiempos cercanos al real.

Chen [19] y su grupo de investigadores en este estudio desarrollan una red profunda optimizada para clasificar hemorragia intracraneal en TC de cráneo con métricas muy elevadas. El protocolo emplea datos depurados y recursos computacionales dedicados, con un control riguroso del proceso de entrenamiento. Los resultados muestran un techo de desempeño difícil de reproducir en contextos con mayor heterogeneidad clínica. El artículo es valioso como referencia de máximo rendimiento posible cuando se dispone de condiciones ideales. Sirve para discutir diferencias entre cifras de laboratorio y cifras de despliegues operativos. Ayuda a argumentar la importancia de equilibrar precisión y viabilidad en la práctica hospitalaria.

Pérez del Barrio, [20] aborda la clasificación de hemorragias intracraneales en TC de cráneo mediante inteligencia artificial, con énfasis en arquitecturas de deep learning y comparación frente a métodos tradicionales. Describe un pipeline completo que incluye preprocesamiento específico para TC, balanceo de datos y entrenamiento con validación, orientado a reconocer subtipos de HIC y a evaluar desempeño con métricas estándar (exactitud, sensibilidad, especificidad y AUC). Presenta un análisis de errores típicos como por ejemplo regiones adyacentes a hueso y artefactos, además propone ajustes de umbrales y estrategias de aumentación. Discute limitaciones de generalización por heterogeneidad del dato clínico y propone ampliar la muestra y validar en entornos multicéntricos. La contribución es relevante para entornos operativos, al mostrar cómo integrar y evaluar modelos de DL en flujos reales de imagenología. En conjunto, ofrece una base comparativa sólida y directamente alineada con el objetivo de esta tesis.

## **Bases teóricas**

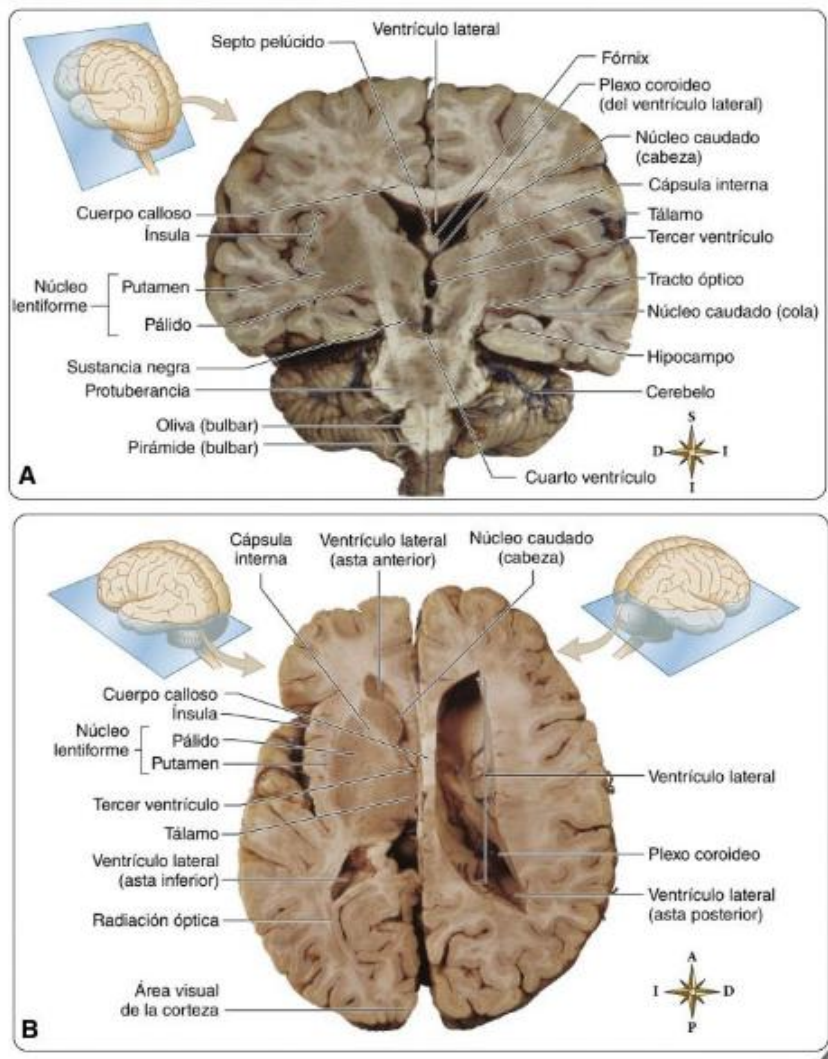
### Anatomía Cerebral

#### Concepto y estructura

La anatomía cerebral se centra en el estudio detallado de las estructuras y funciones del cerebro humano, un órgano complejo que pesa aproximadamente 1.4 kg y que es responsable

de la coordinación, además de controlar todas las funcionalidades del cuerpo. Está compuesto por varias regiones principales, como el cerebro, el cerebelo y el tronco encefálico. Está dividido en hemisferios derecho e izquierdo, contiene el córtex cerebral que se encarga de funciones cognitivas superiores, incluyendo el pensamiento, la memoria y el lenguaje, así como también es crucial para las emociones y la formación de recuerdos. El cerebelo es el encargado de la coordinación, el equilibrio y la precisión de los movimientos, mientras que el tronco encefálico es el encargado de la regulación de las más básicas funciones como respirar y la frecuencia cardíaca. La comunicación entre estas áreas se realiza a través de una red intrincada de neuronas y sinapsis, que permiten la transmisión rápida de información electroquímica [21].

El investigador considera esencial proporcionar, desarrollar y optimizar herramientas que faciliten la labor de los médicos especialistas. Dada la complejidad del cerebro y la importancia de la precisión en la obtención de sus características, estas herramientas son cruciales para un diagnóstico posterior más exacto y eficaz. La precisión en el diagnóstico de lesiones cerebrales puede marcar la diferencia en el tratamiento y pronóstico de los pacientes, reduciendo el margen de error y aumentando las posibilidades de una intervención temprana y adecuada. Además, la implementación de sistemas de visión artificial y reconocimiento de patrones en el ámbito médico no solo mejora la eficiencia y exactitud del diagnóstico, sino que también libera a los médicos de tareas repetitivas y permite que se concentren en aspectos más críticos del cuidado del paciente. En este contexto, el desarrollo de tecnologías avanzadas y su integración en los procesos clínicos puede contribuir significativamente a mejorar la calidad del servicio médico, optimizar los recursos disponibles y, en última instancia, salvar vidas. Por tanto, la investigación y desarrollo en este campo no solo es relevante, sino también urgente y necesario.

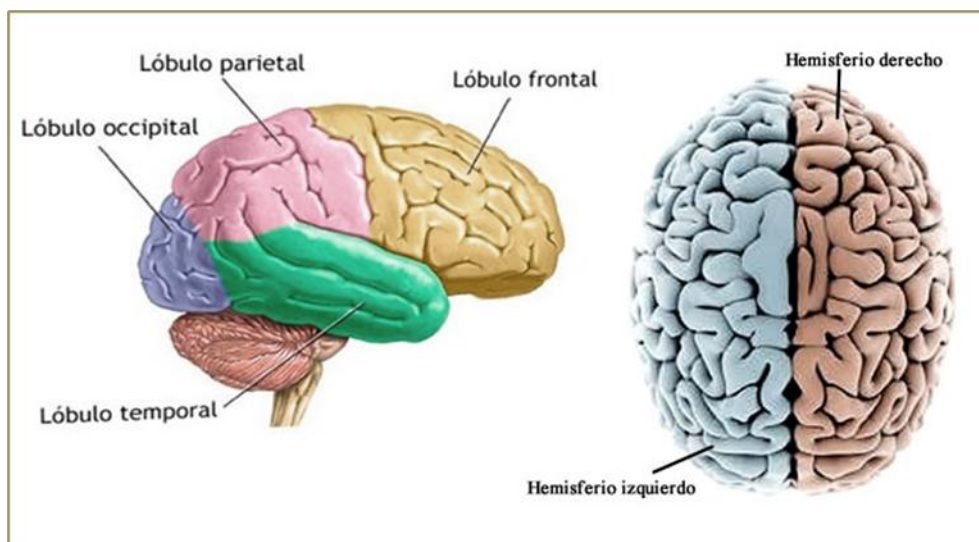


**Figura 1: Anatomía Cerebral**

*Fuente:* Patton et al. [21]

## Cerebro

El cerebro, ubicado dentro del cráneo, es el órgano central del sistema nervioso y destaca por su gran complejidad. Su principal componente es la corteza cerebral, considerado como capas de estructura o tejido neuronal plegado que recubre la superficie de los hemisferios cerebrales (ver Figura 2). Esta fina capa de materia gris es responsable de distintas funciones que nos va a permitir percibir, imaginar, pensar, toma de decisiones en los seres humanos [21].



**Figura 2: Cerebro Humano**

*Fuente: A.D.A.M. Images & Henrik Jonsson – Istockphoto*

### 1. Anomalías

#### **Lesiones Cerebrales**

Una lesión cerebral indica una herida a nivel del tejido nervioso cerebral. Hay muchos tipos de lesiones cerebrales. El cerebro puede ser afectado por una serie de lesiones potenciales que pueden disminuir su función a nivel genético, vascular, sangrado cerebral, malformaciones, traumas, infecciones e inflamaciones, tumores ya sean benignos o malignos, así como también metastásicos, placas, lesiones por toxinas ingeridas.

Es por ello que en esta investigación se ha considerado importante aplicar el tema el procesamiento de imágenes para poder evaluar las características propias de este tipo de lesiones.

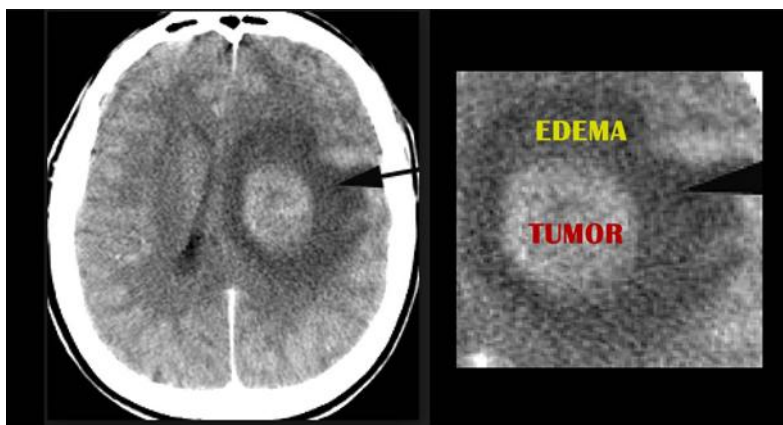
#### **Neoplasia Cerebral**

Según [22], los tumores del sistema nervioso, también conocidos como neoplasias cerebrales, se dividen en primarios y secundarios o metastásicos, al igual que ocurre en otras partes del cuerpo. Aunque los tumores metastásicos son generalmente más comunes, en los servicios de Neurocirugía se observan con mayor frecuencia tumores primarios, ya que estos permiten un mayor rango de opciones terapéuticas. Además, los tumores del sistema nervioso pueden clasificarse en benignos y malignos. Esta clasificación no se relaciona necesariamente con el pronóstico, sino que se basa en su aspecto histológico: los tumores benignos presentan una línea celular de origen bien definida, mientras que en los malignos no es posible identificarla claramente.

Para el radiodiagnóstico los tumores cerebrales se detectan por los bordes de la masa tumoral, por la forma, por contrastar similitudes en el hemisferio derecho e izquierdo para la

verificación de las características no comunes entre dichos hemisferios, así como también la presencia de edemas cerebrales.

Un edema cerebral es producido por la excesiva concentración de líquidos en los espacios intracelulares o extracelulares del cerebro (ver figura 4). Las principales causas incluyen un desequilibrio electrolítico o también llamado hiponatremia, esto ocurre debido a niveles elevados de sodio en sangre; por otro lado, la isquemia, un daño celular causado por la reducción temporal o permanente del flujo sanguíneo; otra causa es un accidente cerebrovascular, que es la interrupción del flujo sanguíneo derivando de ello la pérdida de funciones cerebrales [23].



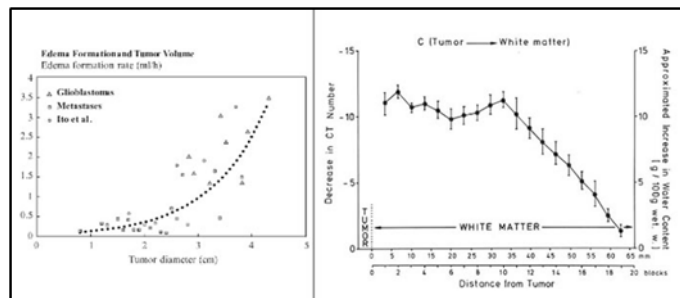
**Figura 3: Tumor Cerebral con presencia de Edema**

*Fuente: Complejo Hospitalario Universitario de Ourense – Ourense.*

## 2. Características de un TBI

Entre las características más resaltantes que suelen presentarse en los tumores cerebrales, están los edemas en el área vecina del mismo, el cual es variable según el tipo y tamaño del tumor, así mismo, los edemas cerebrales tienden a disminuir su coeficiente de atenuación proporcionalmente a la cantidad de líquido en la zona afectada, es decir, que visualmente puede apreciarse una pigmentación más oscura mientras más líquido contenga dicho edema.

Bushberg en su libro *The Essential Physics of Medical Imaging* [24], afirma que a medida que una lesión cerebral va creciendo en su diámetro, es proporcional al crecimiento del edema generado en la zona vecina. Así mismo concluye que a medida que el tumor crece, la substancia que circunda la lesión tiende a ser menos densa.



**Figura 4: Tendencias de tamaño y densidad de edemas respecto a tumores cerebrales**

**Fuente:** Jerrold t. Bushberg (2001). *The Essential Physics of Medical Imaging*

## Procesamiento de imágenes

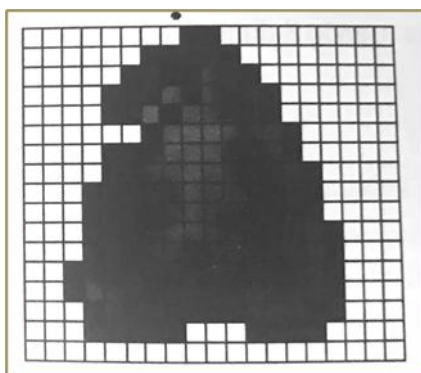
### 1. Imagen Digital

Una imagen digital la representación gráfica del mundo en tres dimensiones y se define matemáticamente como una función de dos dimensiones “x” e “y”.

Una imagen digital está dividida por elementos determinados finitos, cada valor o elemento tiene un lugar específico en lo que también suele llamarse una matriz, los elementos de la matriz son llamados píxeles.

### 2. Píxel

Es cada posición en que, en conjunto, es llamada una imagen. La formación y agrupación de cada una de las posiciones de un cuadro generan array bidimensional de píxeles, cada uno con un nivel de luminosidad [25]. Por lo tanto, los píxeles en una imagen pueden tomarse como una matriz cuya posición tiene un grado de intensidad o atenuación.



**Figura 5: Imagen de 19 píxeles en escala de grises.**

**Fuente:** Gonzalo Pajares Martisanz (2006). *Visión por computador.*

### 3. Histograma

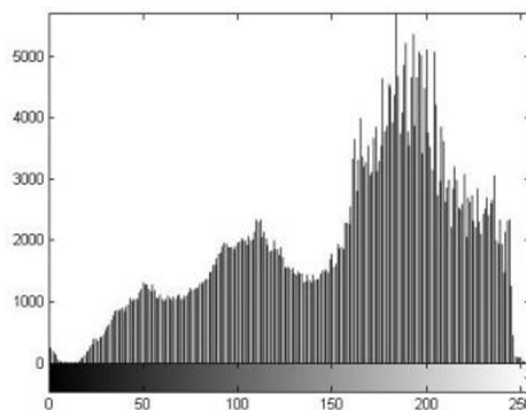
El histograma es una función discreta que es definida por el número o la cantidad de píxeles en una determinada imagen y que es clasificada por niveles de luminosidad o intensidad (g) [26]. La probabilidad  $P(h)$  de la ocurrencia se define como:

$$P(h) = \frac{N(h)}{M}$$

Donde:

M: cantidad de píxeles en una determinada imagen.

$N(h)$ : cantidad de píxeles con un nivel de intensidad h.



**Figura 6: Imagen de un histograma de una imagen**

*Fuente: Gonzalo Pajares Martisanz (2006). Visión por computador.*

El histograma es en pocas palabras diagrama que muestra cuantas veces (eje y) se repite el nivel de intensidad (eje x) o atenuación un píxel en una imagen.

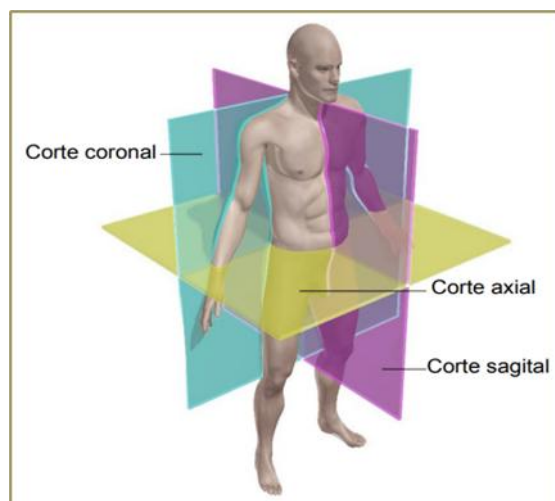
Así mismo esta función nos ayudará a determinar los niveles de atenuación en las imágenes tomográficas.

#### **Imagenología o imágenes médicas**

Es una subrama médica que tiene como objetivo el diagnóstico y apoyo a la detección y tratamiento de las enfermedades, apoyados por el uso de RX, ultrasonido, tomografía y resonancia magnética, que permiten obtener imágenes y datos relevantes del cuerpo humano.

La imagenología o radiodiagnóstico nos permitirá tener una visualización interna del cuerpo humano en sus distintos planos anatómicos: axial, coronal y sagital (Ver figura 8), de esta forma proporciona una herramienta para diagnosticar distintas enfermedades que anteriormente requerían de distintos estudios para poder ser diagnosticadas.

La imagenología es esencial en esta investigación, pues es uno de los pilares de ésta misma, por los conceptos y teorías que se obtienen, que son utilizados y abordados en el desarrollo de esta investigación en particular.



**Figura 7: Planos Anatómicos**

*Fuente: Jerrold t. Bushberg (2001). La física esencial de las imágenes médicas*

### 1. Imágenes médicas

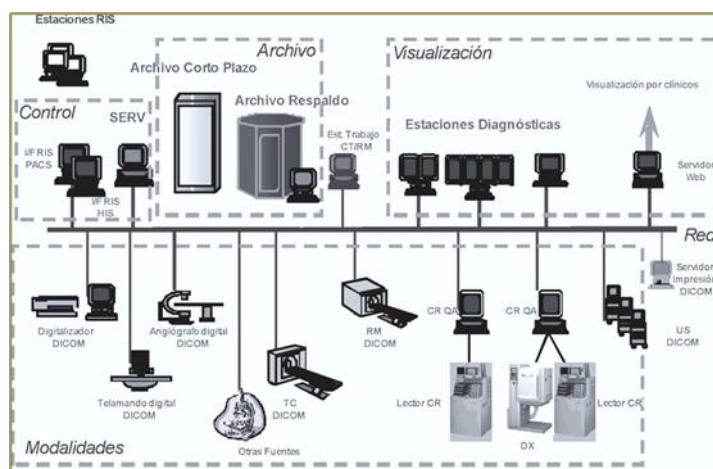
Una imagen médica es la representación gráfica de órganos y fluidos distribuidos en el cuerpo humano, que brinda y permite un método no invasivo para el diagnóstico de enfermedades. Así mismo, estas imágenes contienen información complementaria de utilidad para los especialistas [27].

A diferencia de las imágenes tomadas en cámara digital, las imágenes médicas no se adquieren por motivos estéticos sino por necesidad médica. La calidad de imagen en una imagen médica no se relaciona con lo bien que se ve, sino con la forma en que transmite información anatómica funcional al médico intérprete para que se pueda hacer un diagnóstico preciso. De hecho, las imágenes radiológicas adquiridas con radiación ionizante casi siempre pueden hacerse mucho más bonitas, simplemente subiendo los niveles de radiación utilizados, pero la dosis de radiación para el paciente se convierte en una preocupación importante [28]. Por lo tanto, las imágenes médicas de diagnóstico requieren una serie de compensaciones importantes en las que la calidad de la imagen no necesariamente se maximiza, sino que se optimiza para realizar la tarea de diagnóstico específica para la que se ordenó el examen.

### 2. Sistema PACS

El Sistema de archivo y comunicación de imágenes o PACS por sus siglas en inglés, es un conjunto de equipos informáticos exclusivos a la gestión de imágenes médicas (adquisición,

almacenamiento, procesamiento y comunicación) [29], que ofrece una alternativa eficiente de servicio de imágenes que es conectada con sistemas de visualización y diagnóstico mediante una red de comunicación (Ver Figura 8).



**Figura 8: Arquitectura del sistema PACS**

*Fuente: José Luis Temes Montes (2015). Gestión Hospitalaria 5e. McGraw.Hill*

### 3. Estándar DICOM

El estándar DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) [30], es una comunicación estándar, que brinda la especificación de información en formato de archivos, tales como datos del paciente en una imagen obtenida mediante imágenes médicas, esto ayuda a mejorar y simplificar la comunicación de los sistemas médicos. Así mismo las imágenes obtenidas contienen información relevante para diagnosticar, tales como cálculos, mediciones e información descriptiva del paciente [31].

DICOM es un protocolo de comunicación que tiene como característica inherente la versatilidad respecto a la interconexión de diferentes sistemas informáticos como los PACS, que permite un eficiente intercambio de información.

Un archivo bajo la estructura DICOM, es formado o estructurado por 2 partes: La cabecera, seguido por el Data Set. En el Data Set se encuentran ubicadas las imágenes médicas tomadas con anterioridad, según la zona corporal y la tecnología, varían debido al tipo de imágenes a mostrar. Por otro lado, la cabecera contiene información como identificadores y datos para poder comprimir la información en el Data Set [32].

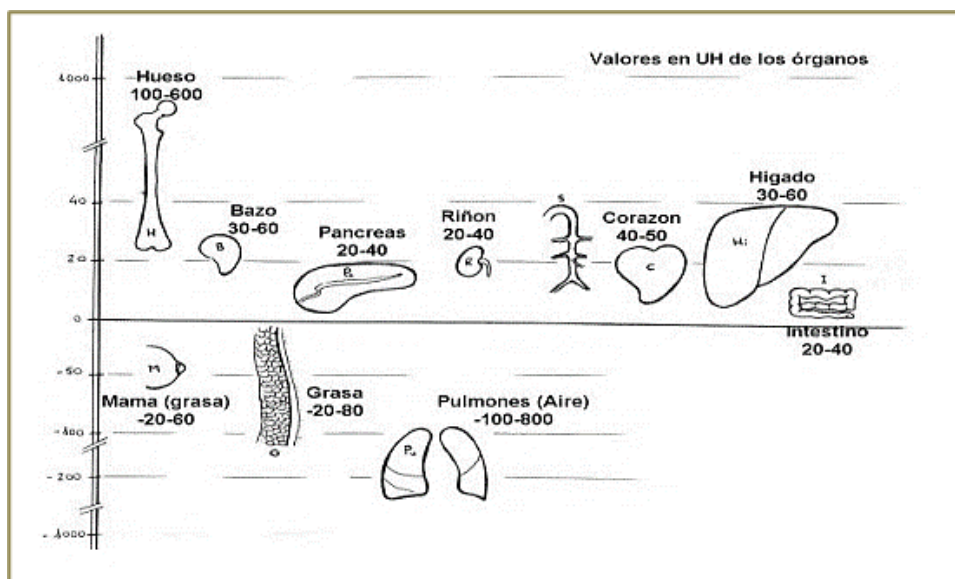
#### 4. Tomografía Axial Computarizada

La tomografía Axial Computarizada (TAC), es un método muy utilizado por la medicina, permite visualizar los tejidos internos del cuerpo humano. Este método, aparte de no ser invasivo, no es doloroso, permite la visualización de imágenes médicas, que pueden ayudar a los diagnósticos médicos, así como también reducir las intervenciones quirúrgicas [4].

Este método no invasivo es relevante en esta investigación, debido a que por este medio se obtienen las imágenes que posteriormente se evaluarán, y de las cuales se obtendrán las características de las lesiones, en el caso las hubiere.

#### 5. Escala de Hounsfield

Es un rango numérico que se captura de los datos de absorción de los tejidos obtenidos por un examen de TC estos datos varían según el componente o tejido y oscilan entre los rangos desde -1k para el aire hasta +1k para la densidad metálica, así mismo como referencia en valor cero está el agua. Este rango numérico es asignado a una escala de grises en la imagen (Figura 10) [33].



**Figura 9: Escala de Hounsfield**

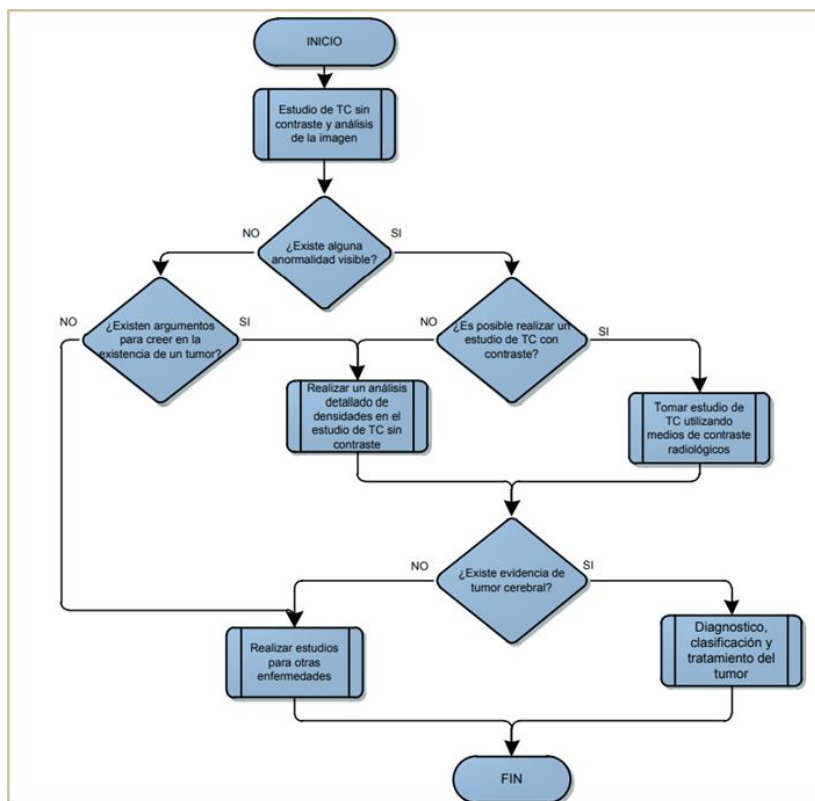
**Fuente:** Ródenas García, Juan (2009). *Ingeniería biomédica*

Esta escala ayuda al diagnóstico porque permite identificar y determinar qué tipo de masa existen en las imágenes médicas y que tiene como base la atenuación de éstas mismas.

#### 6. Radiodiagnóstico de Tumores Cerebrales

El procedimiento general para el diagnóstico de tumores en la corteza cerebral se basa en un estudio tomográfico previo, en el cual se determinará si visiblemente existe alguna anomalía,

de ser el caso, se evaluará la posibilidad de realizar un estudio tomográfico con contraste, para evaluar o detectar la existencia y evidencia de un tumor cerebral y así poder clasificarlo y seguir su respectivo tratamiento (Ver Figura 11).



**Figura 10: Proceso para la detección de lesiones cerebrales en una TC**

**Fuente:** F. Ali-Osman (2005). *Brain tumors. Contemporary cancer research.*

Así mismo para el efectivo diagnóstico deben evaluarse parámetros adicionales. Por parte del paciente, se recopila información relevante como la edad, historial, etc. Por parte netamente del estudio tomográfico, existen parámetros de eventual relevancia, como la pigmentación de la lesión, el crecimiento, la presencia de edema cerebral, así como también la comparación entre hemisferios cerebrales, las unidades de Hounsfield ayudan a determinar el tipo de masa. Adicionalmente al radiodiagnóstico existen otros métodos invasivos como biopsias, que pueden disminuir al mínimo el margen de error el diagnóstico de un tumor cerebral benigno o maligno, cual sea el caso.

## **Inteligencia Artificial**

La Inteligencia Artificial (IA), en una definición general, se enfoca en estudiar cómo las máquinas pueden exhibir un comportamiento inteligente. Este comportamiento implica la capacidad de percibir, razonar, aprender, comunicarse y desenvolverse en entornos complejos [34].

Las metas de la I.A es el desarrollo de máquinas que puedan realizar las funciones de los humanos e incluso mejor, así como también otra meta es la de llegar a comprender el comportamiento humano [35].

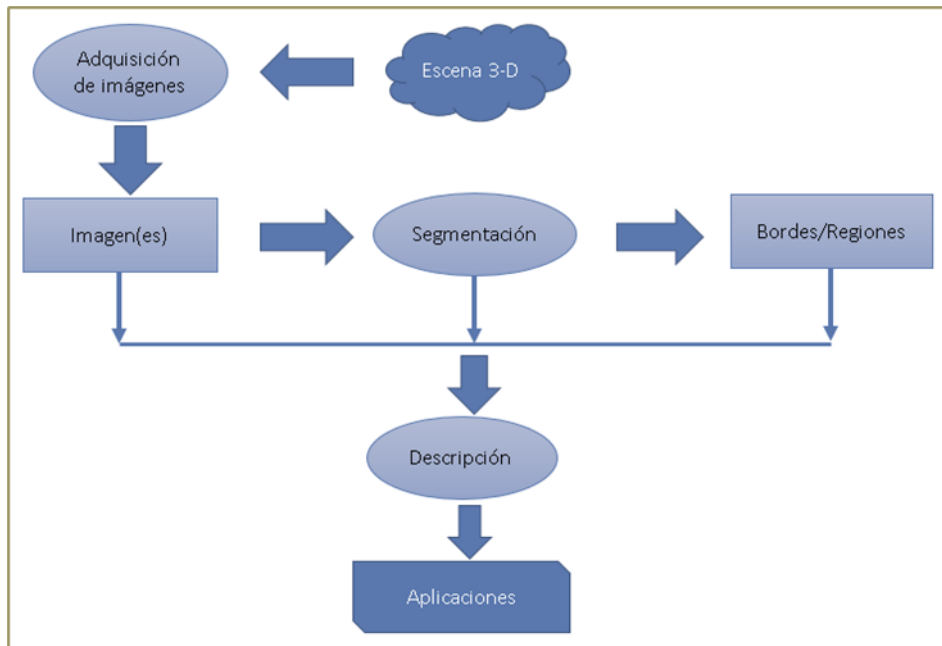
### *1. Visión Artificial*

La visión por computadora es la habilidad de una máquina para observar el entorno que la rodea, permitiéndole inferir la estructura y las características de un mundo en tres dimensiones a partir de imagen o imágenes bidimensionales [26].

La Visión por Computador o Visión Artificial se inicia a partir de proporcionar a las máquinas un mecanismo que simule la visión, dicho sistema, en algunas ocasiones se complementa con otros sistemas sensoriales que permiten una mayor recopilación de información.

### *2. Proceso completo de la Visión Artificial*

En la VA, para simular una escena en tres dimensiones, es capturada por una o varias cámaras que generan imágenes a color como monocromáticas. De las imágenes obtenidas se pueden abstraer características de interés mediante una segmentación, que permiten diferenciar los bordes, así como también las regiones. Luego de la abstracción de las características pasa por un proceso para la obtención de propiedades mediante el proceso descriptivo. Como paso final en el proceso, se obtiene la estructura de la captura de imágenes, lo que conlleva a ciertas aplicaciones según el interés [26].



**Figura 11: Proceso de la Visión Artificial**

*Fuente: Gonzalo Pajares Martisanz (2006). Visión por computador.*

Esta metodología es el segundo pilar de esta investigación, pues nos ayudará a poder aplicar los conocimientos y teorías de ésta al desarrollo de la aplicación, para facilitar la pre visualización de agentes externos encontrados en las tomografías, ya sean perceptibles o no por los médicos.

## Materiales y métodos

### Tipo de investigación

El tipo de investigación que se ha determinado utilizar es cuasi experimental debido a que se procederá realizar un proyecto cuyo producto final es una aplicación de escritorio y que será de utilidad para los médicos especialistas en la clínica Ecoray.

**Tabla 1. Tipo de investigación**

| <b>Variable independiente</b>   | <b>Aplicación</b>  | <b>Variable dependiente</b>   |
|---|--|---|
| <b><u>O1:</u></b><br><i>Proceso de diagnóstico de lesiones cerebrales antes de la aplicación del sistema.</i> | <b><u>X:</u></b><br><i>Sistema de visión artificial.</i> | <b><u>O2:</u></b><br><i>Proceso de diagnóstico de lesiones cerebrales después de la aplicación del sistema.</i> |

### Explicación:

O1: Proceso de diagnóstico de lesiones cerebrales antes de la aplicación del sistema.

X: Sistema de visión artificial.

O2: Proceso de diagnóstico de lesiones cerebrales después de la ejecución del sistema.

### Población y Muestra

La población está representada por el número de radiólogos, la jefa del área de imagenología y el número de tecnólogos de la empresa Ecoray. Así mismo, para el desarrollo de esta investigación se seleccionan las imágenes tomográficas de 184 pacientes, mismas que serán procesadas para la obtención de sus características.

### Métodos de investigación

Se emplearon los diversos métodos:

**Tabla 2. Métodos de investigación**

| <b>Técnicas</b>    | <b>Instrumentos</b>                                    | <b>Elementos de la población</b>                            | <b>Propósito</b>   |
|--------------------|--|---|--|
| <b>Entrevista</b>  | Papel, lapiceros,<br>Grabación de voz<br>Cuestionarios | Médicos<br>Radiólogos,<br>Pacientes                         | Recolectar información relevante para el desarrollo de la aplicación |
| <b>Observación</b> | Lapiceros, Cuestionarios,<br>Entrevistas               | Médicos Radiólogos  | Recopilar información relevante para el desarrollo de la aplicación  |
| <b>Encuestas</b>   | Cuestionario   | Médicos<br>Radiólogos,<br>Pacientes, médicos<br>neurólogos. | Recopilar información relevante para el desarrollo de la aplicación  |

## Metodología de desarrollo

### Arquitectura de la solución propuesta

Para el desarrollo de la tesis se utilizó la siguiente arquitectura, la cual está conformada por:

#### -Tomógrafo y su sistema PACS RISK CARESTREAM

Es el sistema que gestiona las imágenes médicas de los equipos en la empresa Ecoray, es un sistema que se utiliza para poder visualizar y gestionar las imágenes médicas según el tipo de equipo.

#### -API Imágenes

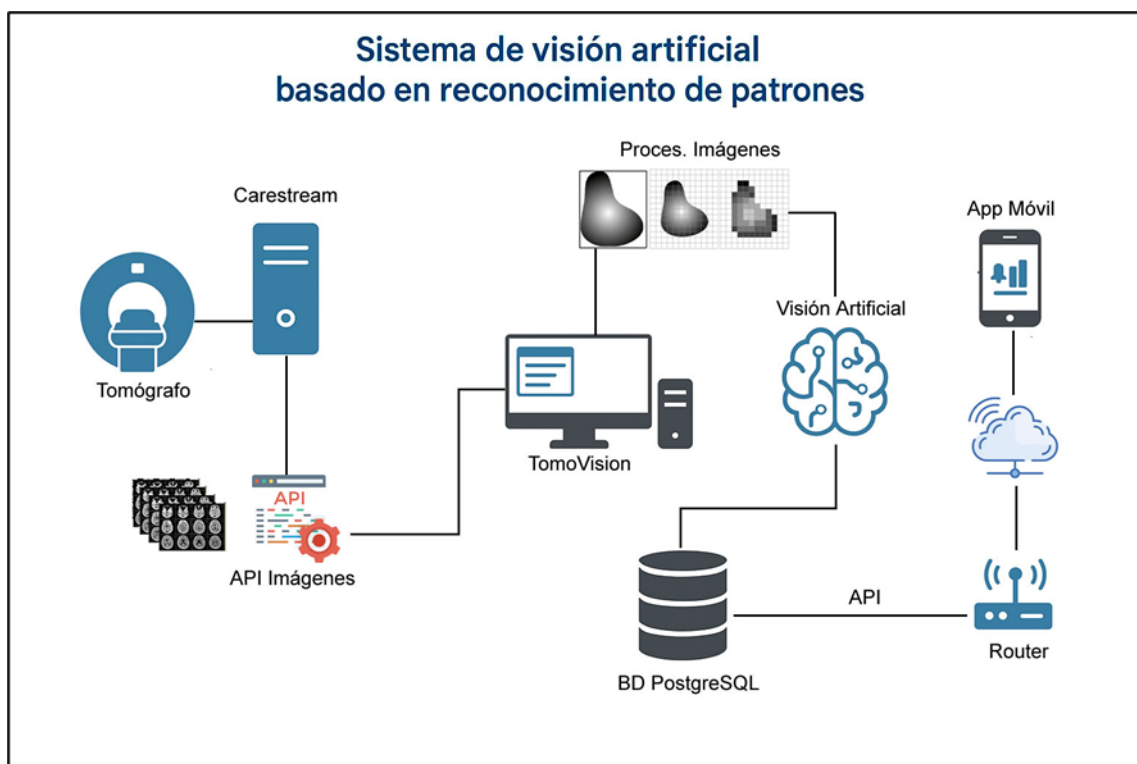
Es dónde se van a almacenar las imágenes médicas para poder ser leídas y gestionadas por el sistema que se propone.

#### -TomoVision

Es el sistema propuesto que va a poder leer las imágenes, procesarlas y encontrar las características relevantes para los especialistas a fin de poder ayudar con el diagnóstico.

#### -Base de Datos

Es donde almacenaremos información de los pacientes, así como de todos los datos de sus exámenes.



**Figura 12: Arquitectura de desarrollo de sistema**

**Fuente:** Elaboración propia

## **Extreme Programming**

### 1. Planificación

Para esta etapa se tuvo que recolectar mediante constantes entrevistas los requerimientos de usuario, tanto de Médicos radiólogos, médicos especialistas, así como a nivel gerencial con la doctora dueña de la clínica Ecoray, así como también para determinar la usabilidad y necesidad del sistema, se realizó un análisis general la clínica, estableciendo junto con los médicos radiólogos en su jerarquía los puntos relevantes que ayudan e influyen en la detección de lesiones cerebrales.

### 2. Diseño

**Diseños simples:** La metodología XP propone crear diseños sencillos y claros, evitando la complejidad innecesaria. El objetivo es lograr un diseño comprensible y fácil de implementar, lo cual ahorrará tiempo y esfuerzo en el desarrollo a largo plazo.

**Glosarios de términos:** Contar con glosarios de términos y una adecuada especificación de los nombres de métodos y clases ayuda a entender el diseño y facilita su futura expansión y reutilización del código.

**Riesgos:** Si se detectan posibles problemas durante el diseño, XP recomienda que dos desarrolladores trabajen en conjunto para investigar y minimizar el riesgo de dichos problemas.

**Funcionalidad extra:** No debe añadirse funcionalidad adicional al programa, incluso si se considera que podría usarse en el futuro. Esto convierte el desarrollo de funciones adicionales en un desperdicio de tiempo y recursos [36].

**Refactorización:** Consiste en mejorar y ajustar la estructura del código ya existente sin alterar su funcionalidad. Refactorizar implica revisar y optimizar el código, aprovechando funcionalidades ya creadas pero que pueden contener elementos obsoletos o innecesarios.

## **Metodología de Visión Artificial**

Kong y Nilson [37] proponen una metodología de visión artificial que brinda una forma ordenada, detallada y concisa de cómo poder desarrollar de forma correcta aplicaciones usando la Visión Artificial y que se usará en la presente investigación. Así mismo esta metodología utiliza ciertas etapas de un sistema de visión artificial, los cuales son:

### 1. Representación de la imagen

Según Kong y Nilson [37], cuando se representa la imagen existen dos tipos de representaciones: las imágenes a Color las cuales cada pixel tiene valores que se especifica mediante una representación de color, así como también las imágenes monocromas las que están representadas por valores entre cero y uno para determinar la escala de grises.

### 2. Procesamiento de la imagen

Pajares y De la Cruz [26], en su libro *Visión por Computador* indican que las perspectivas alcanzadas para el procesamiento de datos son:

- a) Alteración píxel a píxel de los datos en una escala global (individuales).
- b) Operaciones basadas en múltiples puntos (vecindad).

La creación de un píxel en una imagen depende de la valoración de cada píxel en su ubicación específica o de la valoración de los píxeles cercanos en el vecindario de un píxel determinado, como se muestra en la Figura 16.

Para el procesamiento de las tomografías en esta investigación, se analizará la imagen por puntos de vecindad, debido a que las características de las lesiones encontradas son difusas y deben comprarse mediante puntos de vecindad en la imagen.

### 3. Resalte de Bordes, Esquinas y puntos de interés

Los bordes contienen a su alrededor píxeles en los que la imagen presenta una variación en los niveles de gris, dicha detección es fundamental en los sistemas de V.A, puesto que en base a esto se extraen características clave para la detección de objetos.

Para poder detectar los bordes y esquinas de una imagen, existen diversos operadores, mediante estos métodos se es posible detectar las anomalías en una determinada imagen y así poder clasificar dichas regiones. Para esta investigación se utiliza los operadores de Sobel y la máscara de Robinsson [37].

### **Reconocimiento de patrones**

El reconocimiento de patrones en señales se basa en identificar y categorizar objetos según sus características distintivas. Inicialmente, los patrones se obtienen mediante procesos como segmentación, extracción de características y descripción, donde cada objeto se representa a través de una serie de descriptores. Posteriormente, el sistema de reconocimiento asigna cada objeto a una clase específica, entendida como un grupo con características comunes que lo diferencian de otros. Este proceso se compone de tres fases:

- Adquisición de datos: recopilación de la información necesaria.
- Extracción de características: obtención y selección de los atributos principales de cada objeto.
- Toma de decisiones: clasificación de cada objeto en su correspondiente categoría, basándose en sus atributos.

## Mapeo de objetivos, resultados y verificación

**Tabla 3. Tabla objetivos**

| <b>Objetivo Específico</b>  | <b>Resultado Esperado</b>   | <b>Medio de Verificación</b>  | <b>Indicador Objetivamente Verificable</b>   |
|---|---|---|--|
| Evaluar cada una de las variables que identifican la caracterización de las imágenes de lesiones cerebrales TBI obtenidas de cada paciente para determinar la complejidad del algoritmo que las pueda clasificar.   | Resultado 01: Variables de caracterización de imágenes TBI evaluadas. | Informe técnico de evaluación de variables.                                   | -Promedio de Intensidad-> OpenCV, scikit-image<br>-Perímetro-> OpenCV<br>-Contraste de Textura -> scikit-image<br>-Relación Ancho/Alto (Aspect Ratio) -> OpenCV<br>-Gradiente de intensidad (cambios abruptos entre regiones)<br>-Circularidad |
| Elaborar el modelo computacional predictivo, en base a las variables evaluadas que permita la clasificación automática de lesiones cerebrales TBI, optimizando su precisión y eficiencia en el diagnóstico.   | Resultado 02: Modelo predictivo desarrollado y entrenado.             | Código fuente del modelo, documentación técnica y métricas de validación.     | Exactitud, sensibilidad y especificidad del modelo $\geq$ 80%.<br>con la herramienta TRIPOD<br>Exactitud (%)<br>Sensibilidad (%)<br>Especificidad (%)  |
| Integrar una interfaz gráfica de usuario (GUI) con el modelo computacional obtenido que permita la interacción entre los usuarios con el modelo computacional predictivo, asegurando una experiencia de usuario intuitiva, eficiente y alineada con estándares de UX. | Resultado 03: GUI funcional integrada al modelo.                      | Capturas de pantalla, manual de usuario, resultados de pruebas de usabilidad. | Nivel de satisfacción del usuario $\geq$ 80% en pruebas de usabilidad con la herramienta System Usability Scale (SUS) desglosar sus indicadores claves al menos 3  |
| Validar el sistema para garantizar la eficiencia y funcionalidad de acuerdo a los requerimientos  | Resultado 04: Sistema validado conforme a los requisitos.             | Informe de validación y pruebas funcionales con la ISO/IEC 25010.             | Porcentaje de cumplimiento $\geq$ 90% en pruebas de validación funcional y de aceptación de usuario, siguiendo los criterios definidos en ISO/IEC 25010  |

## **Resultados y discusión**

### **Aplicación de Extreme Programming (XP) en el desarrollo**

El desarrollo del sistema de visión artificial denominado TomoVision se ejecutó bajo el enfoque de Extreme Programming (XP), priorizando la adaptabilidad del proceso, la simplicidad del diseño y la retroalimentación continua con los profesionales de Ecoray Diagnósticos. Se trabajó con ciclos cortos de entrega de valor en los que cada incremento funcional era probado por radiólogos y tecnólogos, corrigiendo desalineamientos y afinando la experiencia de usuario. El objetivo central fue apoyar el proceso de diagnóstico de lesiones cerebrales empleando un modelo de clasificación basado en DenseNet-121 exportado a ONNX Runtime, integrado a una aplicación de escritorio en Java con lectura de imágenes DICOM y presentación de inferencias en tiempo real.

La adopción de XP se fundamentó en el carácter dinámico del problema clínico y en la necesidad de incorporar tempranamente observaciones de los especialistas. La comunicación se gestionó mediante reuniones periódicas de revisión de flujos clínicos, priorización de historias de usuario Anexo 1 y validación de criterios de aceptación Anexo 2. La simplicidad guió un diseño modular de carga y lectura DICOM, preprocesamiento, inferencia con ONNX Runtime y visualización con registro de eventos.

### **Exploración**

En la clínica Ecoray, actualmente cuenta con un sistema llamado PACS RIS, lo que permite la gestión actual de las tomografías, ecografías y radiografías que son los servicios con los que cuenta la clínica a la fecha, posteriormente a ello, el médico radiólogo obtiene las imágenes y adjunta las características encontradas y que se evalúan en esta investigación tales como área, volumen, redondez, intensidad de píxel, entre otras y que posteriormente son entregadas al médico especialista y al cliente.



**Figura 13: Sistema PACS RIS Ecoray**

**Fuente:** Ecoray diagnósticos sede Chiclayo

Este diagnóstico motivó la necesidad de un preprocesamiento específico para TC y de una canalización reproducible que reduzca la variabilidad entre estudios. Con ese criterio se eligieron tecnologías con bajo acoplamiento y buena portabilidad, como una aplicación de escritorio en Java con lectura DICOM, un modelo convolucional exportado a ONNX para la etapa de inferencia y un esquema de registro estructurado de eventos, lo cual ayudó a controlar los riesgos y a fijar una línea base realista para las siguientes iteraciones.

### **Planificación**

El proyecto se planificó en bloques de trabajo con entregables verificables y responsables definidos. El cronograma prioriza entregas cortas y medibles, con criterios de aceptación y con indicadores operativos como sensibilidad, especificidad, precisión, latencia y usabilidad. Las fechas reflejan el orden lógico del flujo clínico y técnico, así como las dependencias entre actividades.

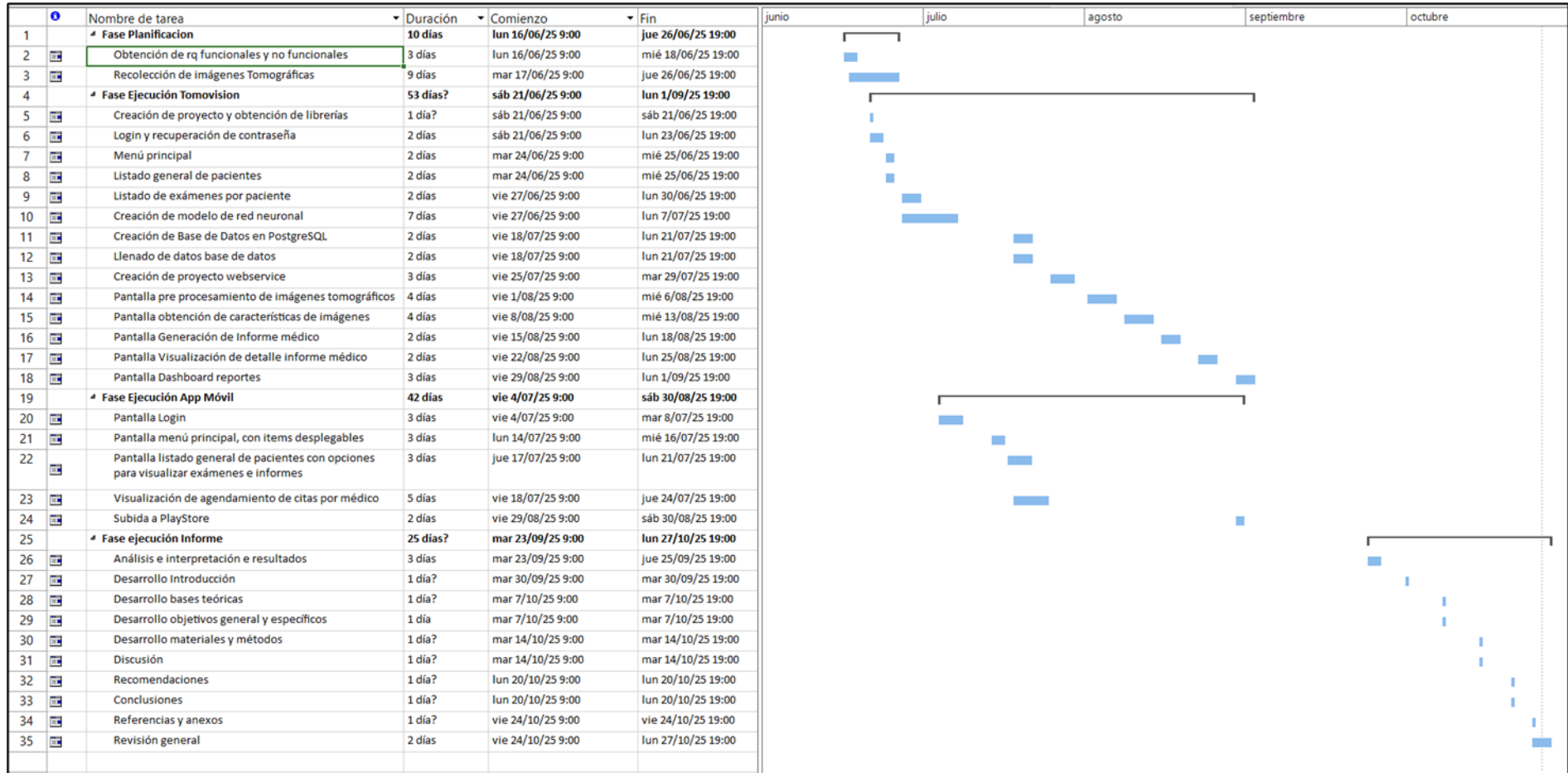


Figura 14: Cronograma de Actividades

## Iteraciones

### Iteraciones de desarrollo (ciclos XP)

#### a) Primera iteración.

El flujo técnico inició con la carga DICOM y la validación de metadatos esenciales como dimensiones, profundidad de bits y etiquetas mínimas. Posteriormente se ejecutó el preprocesamiento, que incluyó reducción de ruido preservando bordes, normalización de intensidades, redimensionamiento a  $512 \times 512$  y conversión a tensores de tipo float32.



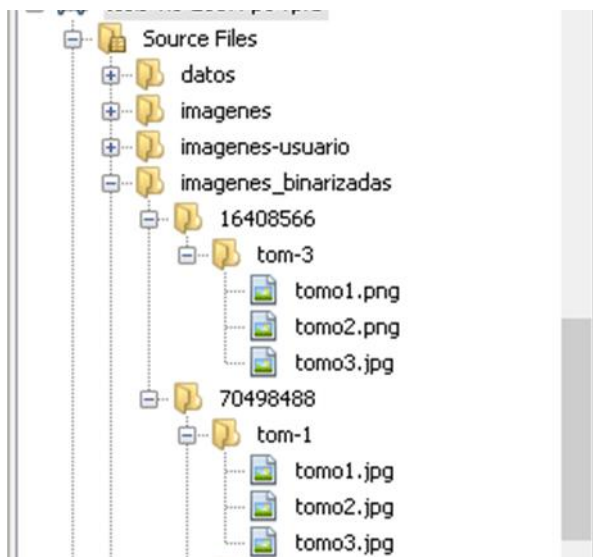
**Figura 15: Proceso imagen DICOM a imagen leíble por Tomovision**

**Fuente:** Elaboración propia

Se realizó el levantamiento de requisitos con el equipo clínico y la caracterización del material de imagen disponible. Se identificó como restricción el trabajo con 184 estudios tomográficos de origen real, con variabilidad en parámetros de adquisición y presencia de artefactos, adicionalmente a ello se agregó un dataset con 3713 casos a fin de optimizar el entrenamiento de la red neuronal, mismo que cuenta con su archivo en formato .csv con los casos y entrenamientos de la red. A partir de ello se definió una arquitectura en capas compuesta por un lector DICOM con extracción de metadatos esenciales, un pipeline de preprocesamiento, un módulo de inferencia con DenseNet-121 en ONNX Runtime y una interfaz gráfica en Java Swing con registro de eventos. La elección de ONNX respondió a la necesidad de portabilidad del modelo y ejecución eficiente sin depender del framework de entrenamiento.

### Implementación de Herramientas de Soporte

Se implementa la webservice, donde estarán subidas las imágenes de los pacientes registrados en el sistema. La función de esta webservice es de simular el servidor de imagen con el que cuenta actualmente en la clínica Ecoray.



**Figura 16: WebService de repositorio de imágenes tomográficas**

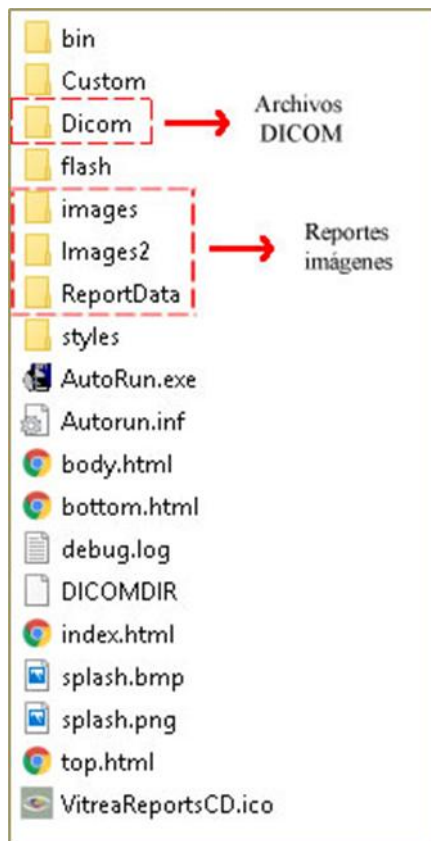
**Fuente:** Elaboración propia

### **Codificación Sistema de Visión Artificial**

Para el Desarrollo de visión artificial existe una metodología, la propuesta por Kong y Nilson [37] la cual utiliza etapas de un sistema de visión artificial, los cuales son:

#### **Obtención de las imágenes**

En esta fase pudimos obtener las imágenes en formato DICOM, obtenidas directamente desde un cd grabado por el servidor de Imágenes de la clínica Ecoray, así como también la obtención de imágenes públicas para el entrenamiento de la red neuronal.

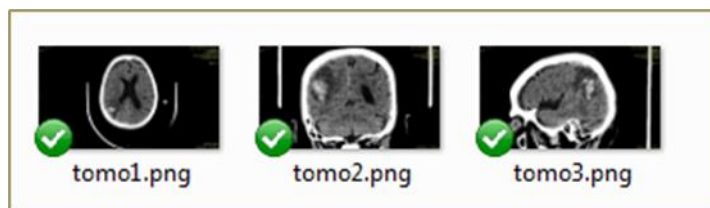


**Figura 17: Obtención de imágenes en cd formato DICOM**

**Fuente:** Clínica Ecoray Diagnósticos

### Conversión imágenes DICOM a formato PNG

Después de la obtención de las imágenes tomográficas, se procede a la conversión de las imágenes en formato DICOM a PNG, se desarrolló un script en Python que convierte estudios DICOM a un formato PNG, así mismo el procesamiento clínico que consiste en la lectura de metadatos, métricas físicas e inferencia ONNX, se realiza sobre el formato “.dcm” y el formato “png” se utiliza solo para visualización en reportes, esto debido a que se necesita conservar la calidad de la imagen médica para su posterior procesamiento.



**Figura 18: Tomografías extraídas en formato de imagen**

**Fuente:** Clínica Ecoray diagnósticos

```

os.makedirs(TMP_PNG, exist_ok=True)
dcm_files = [f for f in os.listdir(DICOM_DIR) if f.lower().endswith('.dcm')]
print(f"📁 DICOM en {DICOM_DIR}: {len(dcm_files)} archivos")

for fname in tqdm(dcm_files, desc="Convirtiendo DICOM a PNG"):
    fpath = os.path.join(DICOM_DIR, fname)
    try:
        ds = pydicom.dcmread(fpath)
        img = read_dicom_image(ds)
        png = window_ct(img, center=40, width=80) # cerebro clásico
        out_name = os.path.splitext(fname)[0] + '.png' # mantiene 'ID_XXX'
        cv2.imwrite(os.path.join(TMP_PNG, out_name), png)
    except Exception as e:
        print("⚠️ Error en", fname, "->", e)

print(f"✅ PNG generados en: {TMP_PNG}")

```

**Figura 19: Conversión de imagen DICOM a png**

Fuente: Elaboración propia

### Modelo de clasificación

La arquitectura que se utilizó es DenseNet-121, una red neuronal convolucional CNN de 121 capas con bloques densos y conexiones entre capas que favorecen el reúso de características y reducen parámetros frente a redes residuales equivalentes y exportado a ONNX que permite una comunicación del modelo de creado y entrenado en Python a Java para su procesamiento con el sistema TomoVision, así mismo la red neuronal tiene como orden de salida las siguientes características ya mencionadas anteriormente, las cuales son: ninguno, epidural, intraparenquimal, intraventricular, subaracnoidea y subdural, este orden es el que la aplicación usa para mapear las probabilidades a etiquetas; cualquier cambio en el modelo requerirá actualizar el cambio también el sistema. Posteriormente a la clasificación de las lesiones cerebrales se obtuvieron otras características tales como el tamaño y volumen de la lesión cerebral.

El sistema muestra las probabilidades por subtipo y permite dos estrategias de decisión:

-**Top-1** (la clase con mayor probabilidad) cuando se busca un único rótulo principal.

-**Umbral por clase ( $\theta$ )** para reportes multi-etiqueta (p. ej., marcar “presente” si  $p \geq \theta$ ). La elección de  $\theta$  se define por protocolo, equilibrando sensibilidad y especificidad.

-**Post-proceso morfométrico.** Tras la clasificación, se estiman tamaño y volumen de la lesión cuando existe máscara o región candidata (segmentación/umbralización supervisada):

**Área por corte.** Dada una máscara binaria  $M$  en un corte, el área ( $\text{mm}^2$ ) es

$$A = N_{\text{pix}} \times s_x \times s_y,$$

donde  $N_{\text{pix}}$  es el número de píxeles activos y  $s_x, s_y$  provienen de

PixelSpacing ( $\text{mm}/\text{píxel}$ ).

**Volumen.** Sumando sobre cortes:

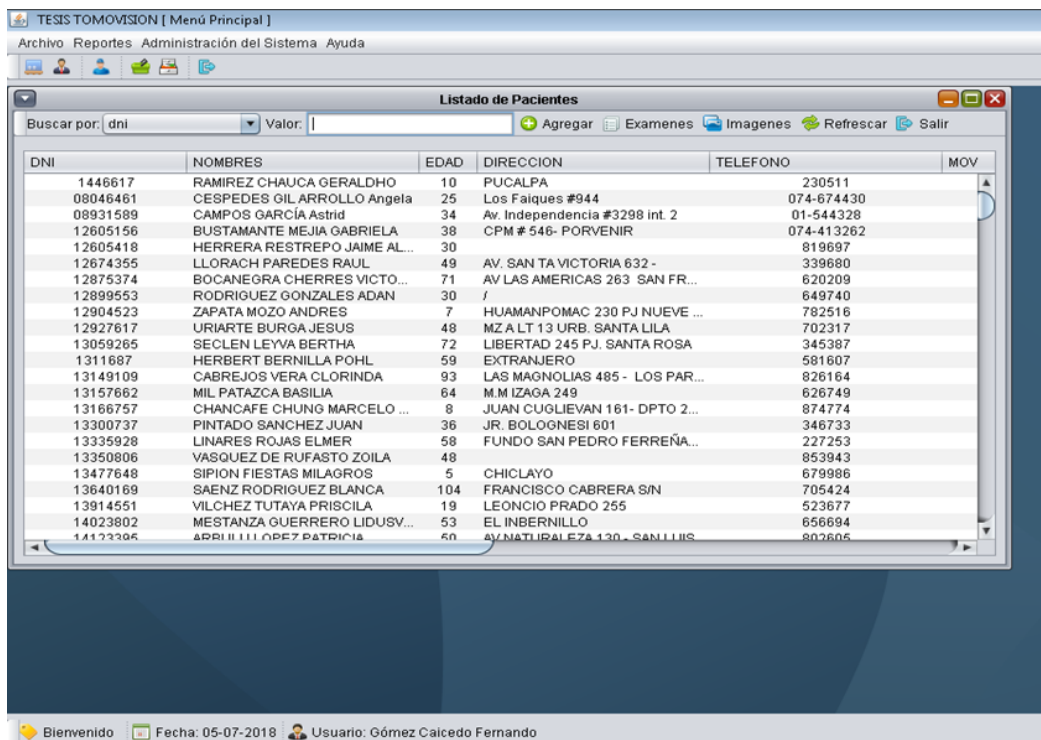
$$V = \sum_{\text{cortes}} 1 (N_{\text{pix},i} \times s_x \times s_y \times s_z) [\text{mm}^3]$$

### b) Segunda iteración.

Se implementaron los módulos de preprocesamiento e inferencia. Se evaluaron alternativas de reducción de ruido preservando bordes (mediana y bilateral), se aplicó normalización de intensidades y se definieron ventanas de visualización acordes con la anatomía de interés. El modelo DenseNet-121 fue cargado con OrtEnvironment y OrtSession, generando tensores de entrada en formato coherente con la red y validando dimensiones y canales. Se documentaron errores frecuentes, como desbordes por valores fuera de rango o inconsistencias en cabeceras, y se añadieron controles para prevenir fallos silenciosos. Se desarrolló el modelado de la base de datos transaccional y desarrollo del sistema de escritorio en Java.

### c) Tercera iteración.

Se desarrollaron las interfaces orientadas a tareas clínicas, con carga segura de estudios, ejecución de inferencias y vista de resultados en base a las historias de usuarios y la retroalimentación de los desarrollos mostrados en las iteraciones además de una consola de eventos para auditoría. Se añadieron marcas de tiempo para medir latencia de extremo a extremo y analizar la trazabilidad por caso.



| DNI      | NOMBRES                      | EDAD | DIRECCION                      | TELEFONO   | MOV |
|----------|------------------------------|------|--------------------------------|------------|-----|
| 1446617  | RAMIREZ CHAUCA GERALDHO      | 10   | PUCALPA                        | 230511     |     |
| 08046461 | CESPEDES GIL ARROLLO Angela  | 25   | Los Faiques #944               | 074-674430 |     |
| 08931589 | CAMPOS GARCÍA Astrid         | 34   | Av. Independencia #3298 int. 2 | 01-544328  |     |
| 12605156 | BUSTAMANTE MEJIA GABRIELA    | 38   | CPM # 546- PORVENIR            | 074-413262 |     |
| 12605418 | HERRERA RESTREPO JAIME AL... | 30   |                                | 819697     |     |
| 12674355 | LLORACH PAREDES RAUL         | 49   | AV. SAN TA VICTORIA 632 -      | 339680     |     |
| 12875374 | BOCANEGRA CHERRES VICTO...   | 71   | AV LAS AMERICAS 263 SAN FR...  | 620209     |     |
| 12899553 | RODRIGUEZ GONZALES ADAN      | 30   | /                              | 649740     |     |
| 12904523 | ZAPATA MOZO ANDRES           | 7    | HUAMANPOMAC 230 PJ NUEVE ...   | 782516     |     |
| 12927617 | URIARTE BURGA JESUS          | 48   | MZ A LT 13 URB. SANTA LILA     | 702317     |     |
| 13059265 | SECLÉN LEYVA BERTHA          | 72   | LIBERTAD 245 PJ. SANTA ROSA    | 345387     |     |
| 1311687  | HERBERT BERNILLA POHL        | 59   | EXTRANJERO                     | 581607     |     |
| 13149109 | CABREJOS VERA CLORINDA       | 93   | LAS MAGNOLIAS 485 - LOS PAR... | 826164     |     |
| 13157662 | MIL PATAZCA BASILIA          | 64   | M.M IZAGA 249                  | 626749     |     |
| 13166757 | CHANCAFE CHUNG MARCELO ...   | 8    | JUAN CUGLIEVAN 161- DPTO 2...  | 874774     |     |
| 13300737 | PINTADO SANCHEZ JUAN         | 36   | JR. BOLOGNESI 601              | 346733     |     |
| 13335928 | LINARES ROJAS ELMER          | 58   | FUNDO SAN PEDRO FERREÑA...     | 227253     |     |
| 13350806 | VASQUEZ DE RUFASTO ZOILA     | 48   |                                | 853943     |     |
| 13477648 | SIPION FIESTAS MILAGROS      | 5    | CHICLAYO                       | 679986     |     |
| 13640169 | SAENZ RODRIGUEZ BLANCA       | 104  | FRANCISCO CABRERA S/N          | 705424     |     |
| 13914551 | VILCHEZ TUTAYA PRISCILA      | 19   | LEONCIO PRADO 255              | 523677     |     |
| 14023802 | MESTANZA GUERRERO LIDUSV...  | 53   | EL INBERNILLO                  | 656694     |     |
| 14123396 | ARRILLU LOPEZ PATRICIA       | 60   | AV NATURAL LEZA 130 - SAN LUIS | 802606     |     |

**Figura 20: Listado general de pacientes**

**Fuente:** Elaboración propia.

| COD_EXAMEN | DNI      | NOMBRES                | DESCRIPCION | UBICACION         |
|------------|----------|------------------------|-------------|-------------------|
| 70498488-1 | 70498488 | CASTRO PERALES Alberto | Axial       | Lobulo frontal de |
| 70498488-2 | 70498488 | CASTRO PERALES Alberto | Coronal     | Lobulo temporal   |
| 70498488-3 | 70498488 | CASTRO PERALES Alberto | Coronal     | Lobulo temporal   |

**Figura 21: Listado de exámenes por paciente seleccionado.**

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 22: Listado de exámenes por paciente seleccionado**

**Fuente:** Elaboración propia.

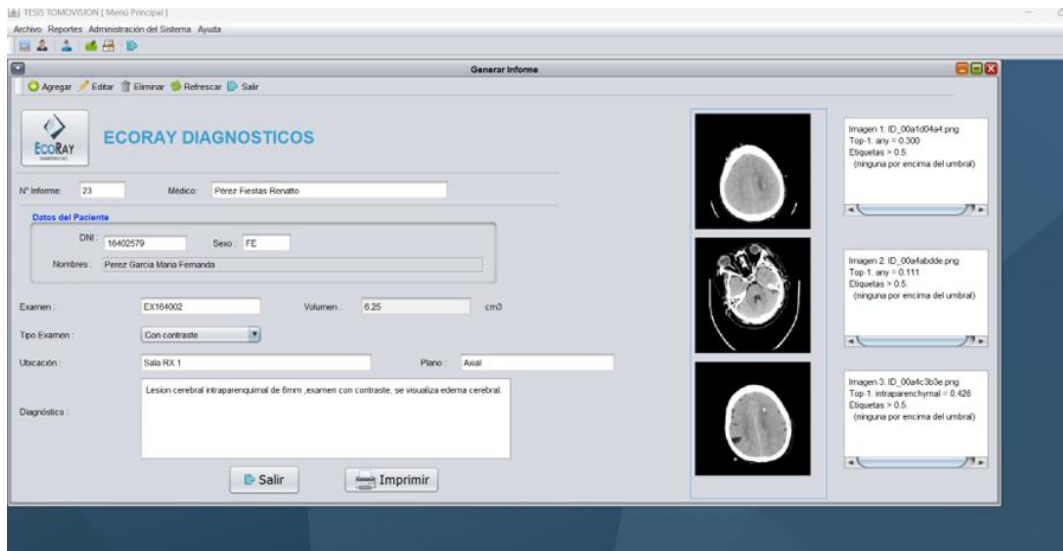


Figura 23: Listado de exámenes por paciente seleccionado

Fuente: Elaboración propia.

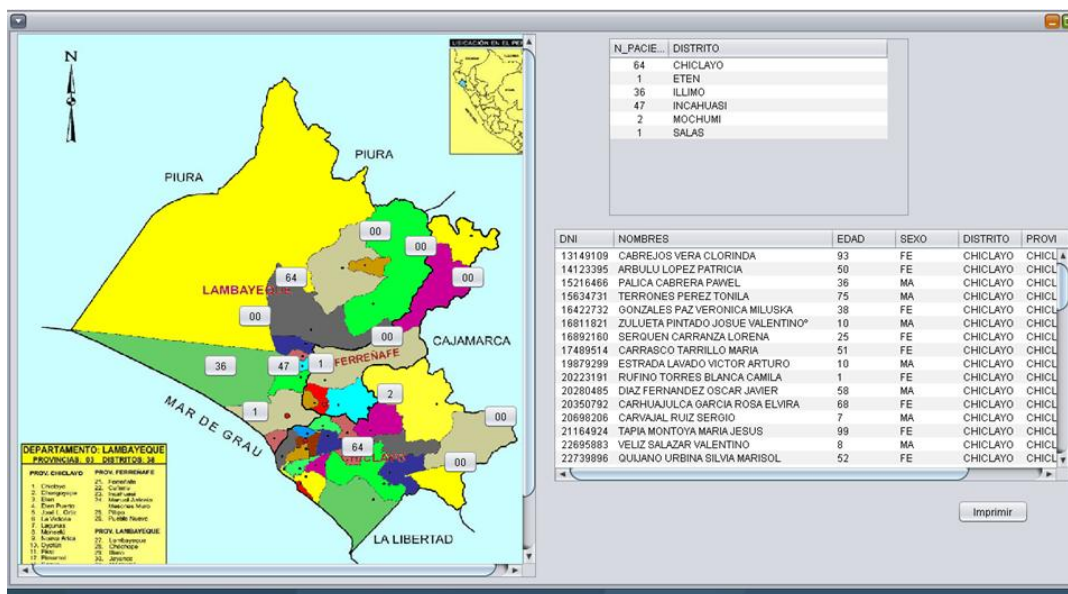


Figura 24: Reporte de pacientes atendidos en la clínica Ecoray

Fuente: Elaboración propia.

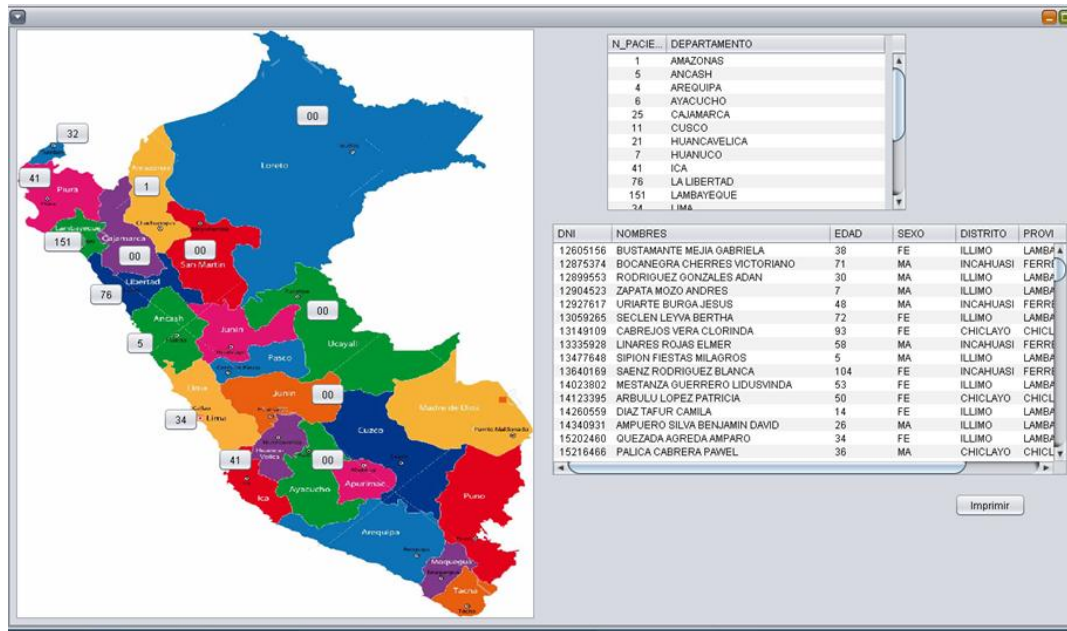


Figura 25: Reporte de pacientes atendidos en la clínica Ecoray nivel País

Fuente: Elaboración propia.

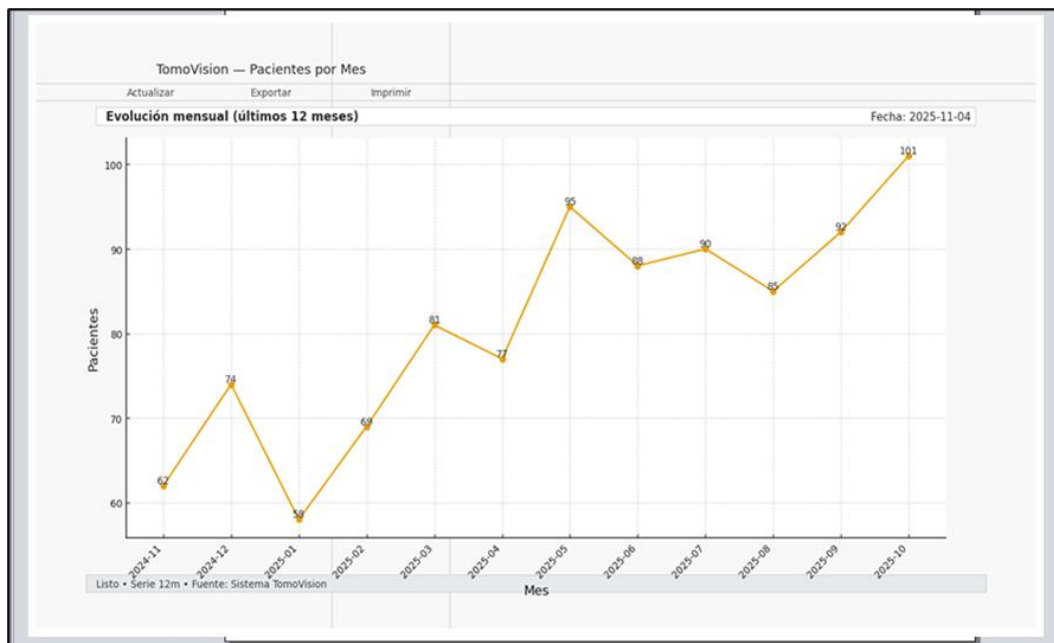
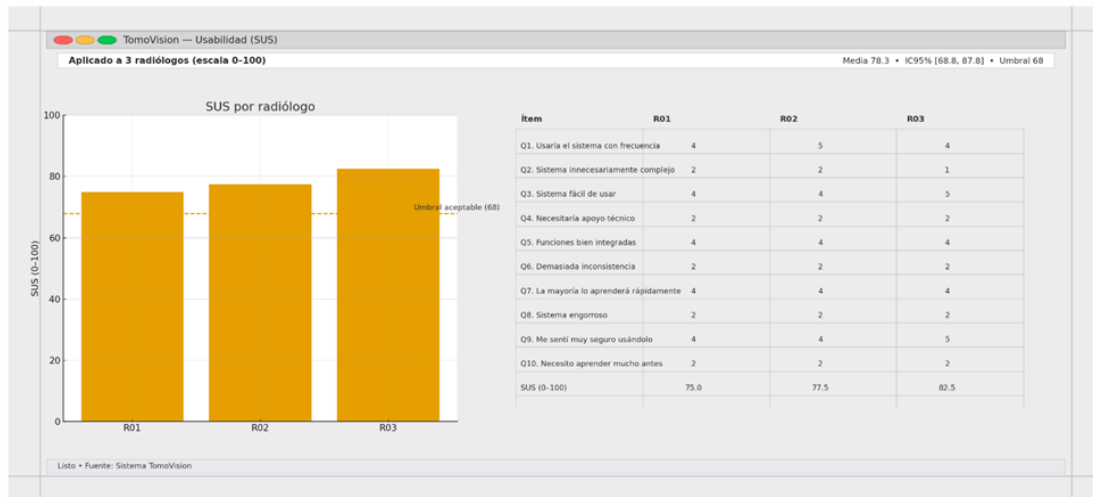


Figura 26: Reporte gráfico de número de pacientes atendidos

Fuente: Elaboración propia.

#### d) Cuarta iteración.

Se realizaron pruebas de validación y ajuste fino. Con los 184 casos se obtuvieron métricas globales de precisión del 87 %, sensibilidad del 84 % y especificidad del 90 %. El tiempo medio por estudio fue de 4 segundos, logrando una reducción aproximada del 25 % en el tiempo total de elaboración de informes respecto al procedimiento manual. La usabilidad medida con el sistema SUS alcanzó 82 %, considerada excelente según la escala estándar.



**Figura 27: Puntaje System Usability Scale**

**Fuente:** Elaboración propia.

## Discusión

Los hallazgos se alinean con lo reportado por Seyam y su equipo quienes demuestran que la integración de una herramienta de IA para hemorragia intracraneal en el flujo de emergencias es factible cuando se valida contra el informe radiológico y se establecen reglas claras de alerta e interacción con el equipo clínico [14]. En su estudio alcanzan una sensibilidad aproximada de 93% y una especificidad de 91%, valores comparables a la sensibilidad del 84% y especificidad del 90% obtenidas en nuestro sistema, lo que sitúa ambos enfoques en un rango similar de desempeño diagnóstico. Este encuadre operativo es consistente con nuestra decisión de privilegiar tiempos cercanos al real y una interfaz que minimice fricción, pues el valor no proviene solo de la métrica del modelo, sino de su capacidad de insertarse sin romper la rutina del servicio. De manera convergente, Agrawal y su grupo implementan un enfoque 3D-CNN sobre volúmenes completos de TC de cráneo en pacientes con traumatismo, entrenando su modelo con 200 estudios los cuales se dividen en 99 normales y 101 con algún tipo de hemorragia, y evaluándolo en 20 casos de prueba. Reportan una exactitud cercana al 80%, con una sensibilidad del 90% y una especificidad del 70%, lo que confirma la viabilidad del deep learning en escenarios clínicos incluso con recursos y tamaño muestral limitados. Aunque nuestra arquitectura es 2D (DenseNet-121) y el tamaño de muestra difiere debido a que contamos con 3713 estudios públicos más 184 locales, la exactitud global del 87% obtenida en nuestra validación local se sitúa en un rango competitivo para esta tarea [18]. A ello se suma la evidencia de Choi y su equipo, quienes evaluaron un algoritmo de apoyo a la interpretación de TC de cráneo en 2146 estudios, obteniendo una sensibilidad del 70,81%, una especificidad del 86,72%, una exactitud del 83,3% en la detección de hemorragia intracraneal. En un escenario simulado con profesionales de emergencias, la sensibilidad del grupo menos experimentado aumentó de 59,33% a 72,67% al usar la herramienta que muestra cómo el soporte algorítmico eleva la sensibilidad en personal menos experimentado, a la vez que obliga a gestionar con cuidado los falsos positivos para no inducir sobreutilización o retrasos innecesarios [15]. Finalmente, la tesis de Pérez del Barrio aborda la clasificación de tomografías craneales con hemorragia intracraneal mediante redes neuronales convolucionales, así como la predicción del pronóstico de los pacientes. El trabajo compara modelos basados solo en imagen frente a versiones que incorporan datos demográficos y clínicos, que respecto a esta investigación comparte el mismo énfasis en un preprocesamiento específico para TC, balanceo de clases, validación con métricas estándar y análisis de errores en bordes óseos o con artefactos y enfatiza la necesidad de calibración y validación multicéntrica para robustecer la generalización, orientación que también guía nuestro plan de trabajo futuro [20].

Desde un enfoque complementario, los resultados dialogan con Raj y su equipo quienes abordan la estratificación temprana del TBI mediante biomarcadores NIRS con aprendizaje automático, un punto del continuo asistencial previo a la imagen que prioriza decisiones rápidas de triaje [16]. Aunque la señal fisiológica y la TC son dominios distintos, ambos comparten el objetivo de reducir incertidumbre en ventanas críticas de tiempo y de alinear recursos hacia los casos de mayor riesgo. Asimismo, Zubayar trabaja a escala poblacional con datos clínicos y administrativos, construyendo modelos predictivos del primer evento de TBI a partir de hasta cinco años de diagnósticos previos en 488107 personas con TBI. Mediante combinación de topic modeling (LDA) y bosques aleatorios, obtienen áreas bajo la curva (AUC) de 0,85 para la ocurrencia del TBI en general, 0,85 para TBI por caídas, 0,83 por golpes o impacto contra objetos, 0,76 en colisiones de ciclistas y 0,83 en colisiones de vehículos motorizados, lo que muestra que el modelo puede anticipar con buena discriminación quién tiene mayor riesgo de presentar un primer evento traumático[17]. Estos trabajos no son comparables punto a punto con la clasificación en TC que realizamos, ya que se centran en la predicción del riesgo a nivel poblacional y no en el análisis de imagen diagnóstica, aportan una pieza adicional al panorama del uso del aprendizaje automático en TBI, que abarca desde la estimación y prevención del riesgo en grandes grupos de pacientes, pasando por el apoyo al triaje temprano, hasta las herramientas de ayuda al diagnóstico basadas en TC. Este encuadre amplio ayuda a comprender por qué una solución que optimiza oportunidad y estandarización en la lectura de TC puede generar impacto sistémico cuando se articula con rutas de atención y políticas de priorización.

En cuanto a los contrastes metodológicos, las métricas muy elevadas reportadas por Chen y su equipo se entienden porque trabajan en condiciones fuertemente controladas, con bases de datos depuradas, un control estricto del proceso de entrenamiento y equipos de cómputo dedicados que les permiten acercarse al máximo rendimiento posible[19]. En contraste, nuestra implementación se priorizó la utilidad en la práctica clínica, integrando Java, DICOM y ONNX sobre la infraestructura existente, asumiendo la heterogeneidad de los protocolos de imagen y ajustando los umbrales en función de la toma de decisiones real y de la trazabilidad en auditoría.

## Conclusiones

Se implementó un sistema de visión artificial para apoyar el diagnóstico de lesiones cerebrales en tomografías de cráneo en Ecoray Diagnósticos, integrando lectura DICOM, inferencia con un modelo exportado a ONNX y una aplicación de escritorio en Java. La solución se incorporó al flujo clínico con tiempos cercanos al real, estabilidad y trazabilidad, estandarizando el preanálisis y aportando consistencia a la revisión del radiólogo sin sustituir su criterio, con indicadores de desempeño clínicamente aceptables, alcanzando una exactitud del 87%, una sensibilidad del 84% y una especificidad del 90%. Además, se aseguró trazabilidad mediante auditoría y se estandarizó el preanálisis, aportando consistencia a la revisión del radiólogo sin sustituir su criterio.

Se evaluó las variables que caracterizan las imágenes y dimensionar la complejidad del algoritmo, se evaluaron distintas combinaciones de transformaciones tales como ventanas de TC, normalización, reducción de ruido y ajustes geométricos para el cálculo del área de la lesión, así como también del volumen de la misma y se seleccionó el conjunto que mejoró la información clínica y redujo la variabilidad entre estudios. Con ello, el material de trabajo quedó más limpio y comparable, y se pudo definir un nivel de complejidad del modelo adecuado al entorno operativo. El logro principal fue pasar de un procesamiento disperso a un esquema consistente que mejora la lectura y prepara el terreno para resultados más confiables.

Se elaboró el modelo computacional predictivo optimizando precisión y eficiencia, se entrenó e integró un clasificador basado en DenseNet-121 que alcanzó una exactitud global del 87%, una sensibilidad del 84% y una especificidad del 90% sobre 184 estudios locales no vistos en el entrenamiento. Estos indicadores muestran que se logró un equilibrio adecuado entre acierto diagnóstico y control de errores, mientras que el tiempo medio de respuesta cercano a cuatro segundos por estudio confirmó la viabilidad de su uso en la práctica diaria. De esta manera, el objetivo se cumplió al disponer de un motor de inferencia robusto, capaz de señalar hallazgos relevantes dentro de los límites de tiempo que exige el servicio y con margen para escalar a nuevas tareas en el futuro.

Se integró una interfaz gráfica de usuario alineada con estándares de UX, se consiguió una herramienta clara y de baja fricción que guía a los usuarios en pocos pasos: cargar, revisar, inferir y auditar. La evaluación se realizó mediante el cuestionario SUS aplicada a los usuarios alcanzó un puntaje del 82%, valor que supera el umbral de 68 considerado aceptable, lo que indica que se logró el nivel de usabilidad planteado. En la práctica, la adopción se vio favorecida por mensajes precisos, consistencia visual y rutas seguras ante errores, de modo que el modelo

se transformó en una experiencia de uso sencilla y confiable que estandariza pasos críticos y facilita la colaboración entre tecnólogos y radiólogos.

Para el objetivo específico de validar el sistema integrado en eficiencia y funcionalidad, se confirmó su utilidad como apoyo al preinforme al contrastarlo con el dictamen radiológico y verificar criterios de oportunidad, claridad y usabilidad. El sistema ayudó a priorizar los casos que requerían atención rápida y a homogeneizar criterios de revisión, manteniendo al especialista como decisor final. El resultado fue un respaldo tangible a la operación: reglas claras de uso, límites definidos y pautas de recalibración que aseguran continuidad y mejora.

## Recomendaciones

Se recomienda se propone ampliar el estudio a distintas instituciones y a bases de datos de mayor tamaño y variedad asignar fondos específicos que permitan escalar el proyecto para ampliar el dataset. Un conjunto de imágenes mayor y más variado elevará la certeza diagnóstica y reducirá la sensibilidad a cambios de adquisición, lo que impactará de forma directa en la seguridad y la oportunidad del preinforme. Este tipo de extensión excede el alcance temporal y logístico del presente trabajo, pero resulta clave para robustecer la capacidad de generalización del modelo y contrastar sus métricas en contextos distintos al de Ecoray Diagnósticos.

Resulta conveniente evolucionar el sistema hacia una aplicación web para eliminar la necesidad de instalar paquetes locales en cada estación. Una versión web permitiría cero instalaciones del lado del usuario, actualizaciones centralizadas y acceso seguro desde distintos puestos y turnos. A nivel técnico, la visualización DICOM puede resolverse con un visor web especializado y la inferencia puede ejecutarse en el navegador (con aceleración por GPU cuando esté disponible) o en servidor para equipos sin capacidad gráfica, manteniendo trazabilidad y tiempos de respuesta comparables. Esta transición reduce costos operativos que conlleva a menos soporte por máquina, menos incidencias por versiones y facilita el escalamiento a más sedes.

Adicionalmente, se recomienda que futuras líneas de trabajo exploren arquitecturas de redes neuronales tridimensionales 3D-CNN que operen sobre volúmenes completos de TC, así como esquemas híbridos que combinen modelos 2D y 3D. Estas variantes permitirían comparar de forma sistemática el aporte de la información volumétrica frente al enfoque actual basado en cortes, tanto en términos de métricas de desempeño como de costos computacionales.



## Referencias

- [1] B. Guan, D. Anderson, L. Chen, S. Feng and H. Zhou, “Global, regional and national burden of traumatic brain injury and spinal cord injury, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019,” *BMJ Open*, vol. 13, 2023. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-075049>
- [2] Centers for Disease Control and Prevention (CDC), *Surveillance Report of Traumatic Brain Injury-Related Emergency Department Visits, Hospitalizations, and Deaths*, Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, 2021. [https://www.cdc.gov/traumaticbraininjury/pdf/TBI-Surveillance-Report-FINAL\\_508.pdf](https://www.cdc.gov/traumaticbraininjury/pdf/TBI-Surveillance-Report-FINAL_508.pdf)
- [3] A. Agrawal et al., “Traumatic brain injury related research in India: An overview of published literature,” *International Journal of Critical Illness and Injury Science*, vol. 6, no. 2, pp. 65–69, 2016. Doi: 10.4103/2229-5151.183025
- [4] Ministerio de Salud de Argentina, *Boletín Epidemiológico Nacional – Lesiones Traumáticas Craneoencefálicas*, Buenos Aires, Argentina, 2020. <https://www.argentina.gob.ar/salud/boletin-epidemiologico-nacional>
- [5] World Health Organization (WHO), *Neurological Disorders: Public Health Challenges*, Geneva: WHO Press, 2006. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241563369>
- [6] Organización Panamericana de la Salud (OPS), *Informe sobre la situación de la seguridad vial en la Región de las Américas*, Washington, D.C., 2015. <https://www.paho.org/es/documentos/informe-sobre-situacion-seguridad-vial-region-americas>
- [7] World Health Organization (WHO), *Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito*, Geneva, 2004. <https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/accidentes/docs/informemundial-1.pdf>
- [8] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *La seguridad vial en América Latina y el Caribe: situación actual y desafíos*, Santiago, Chile, 2009. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/6296-la-seguridad-vial-la-region-america-latina-caribe-situacion-actual-desafios>
- [9] Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (INEN), *Reporte anual de casos de enfermedades neoplásicas*, Lima, Perú, 2021. <https://portal.inen.sld.pe/>
- [10] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), *Informe estadístico de mortalidad y causas de muerte*, Lima, Perú, 2021. <https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/health/>

- [11] Gerencia Regional de Salud Lambayeque (GERESA), *Reporte anual sobre salud en Lambayeque*, Lambayeque, Perú, 2022. <https://www.gob.pe/regionlambayeque-geresa>
- [12] G. Litjens et al., “A survey on deep learning in medical image analysis,” *Medical Image Analysis*, vol. 42, pp. 60–88, 2017, doi: 10.1016/j.media.2017.07.005.
- [13] D. K. Patel and S. Kumar, *Medical Imaging and Artificial Intelligence: Integration and Innovation*, London: Elsevier, 2021. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61412-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61412-6_7)
- [14] M. Seyam, T. Weikert, A. Sauter, A. Brehm, M.-N. Psychogios and K. A. Blackham, “Utilization of Artificial Intelligence-Based Intracranial Hemorrhage Detection on Emergent Noncontrast CT Images in Clinical Workflow,” *Radiology: Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 2, p. e210168, 2022.
- [15] S. Y. Choi, J. H. Kim, H. S. Chung, S. Lim, E. H. Kim and A. Choi, “Impact of a deep learning-based brain CT interpretation algorithm on clinical decision-making for intracranial hemorrhage in the emergency department,” *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, p. 22292, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73589-0>
- [16] S. Raj et al., “Objective triaging of traumatic brain injury patients with a novel machine learning powered near-infrared spectroscopy-based biomarker,” *World Neurosurgery: X*, vol. 22, pp. 1–7, 2024.
- [17] S. Zulfayaz et al., “Integrating unsupervised and supervised learning techniques to predict traumatic brain injury: A population-based study,” *Intelligence-Based Medicine*, vol. 8, no. 2, pp. 1–11, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ibmed.2023.100118>
- [18] D. Agrawal et al., *Automated Intracranial Hemorrhage Detection in Traumatic Brain Injury Using 3D CNN*, Pittsford, NY: Scientific Scholar, 2023.
- [19] Y.-R. Chen et al., “An efficient deep neural network for automatic classification of acute intracranial hemorrhages in brain CT scans,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 176, p. 108587, 2024.
- [20] A. P. del Barrio, “Clasificación de imágenes de TC con hemorragia intracraneal mediante inteligencia artificial,” [Tesis de grado], Universidad de Oviedo, Oviedo, España, 2023. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=333105>
- [21] K. Patton et al., *Anatomía y fisiología*, España: Elsevier, 2023. <https://books.google.com.pe/books?id=V5c3AgAAQBAJ&printsec=copyright>
- [22] A. H. Ropper, M. A. Samuels and J. P. Klein, *Adams and Victor’s Principles of Neurology*, 11th ed., New York: McGraw-Hill, 2019. <https://accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1477&sectionid=855361>

- [23] Clínica Universidad de Navarra, *Protocolos terapéuticos del cáncer*, Pamplona: EUNSA, 1983.  
[https://omnia.udg.edu/discovery/fulldisplay?vid=34CSUC\\_UDG%3AVU1&docid=alma991003741299706713&context=L](https://omnia.udg.edu/discovery/fulldisplay?vid=34CSUC_UDG%3AVU1&docid=alma991003741299706713&context=L)
- [24] J. T. Bushberg et al., *The Essential Physics of Medical Imaging*, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2001.  
[http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/87729/2/Adv\\_Imaging\\_Ref\\_1\\_The%20Essential%20Physics%20of%20Medical%20Imaging.pdf](http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/87729/2/Adv_Imaging_Ref_1_The%20Essential%20Physics%20of%20Medical%20Imaging.pdf)
- [25] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, New Jersey: Pearson, 2006.  
<https://www.cl72.org/090imagePLib/books/Gonzales,Woods-Digital.Image.Processing.4th.Edition.pdf>
- [26] G. Pajares and J. M. de la Cruz, *Visión por computador*, Madrid: Alfaomega, 2002.
- [27] P. A. Pérez et al., *Ingeniería biomédica: Imágenes médicas*, Cuenca: Universidad de Castilla, 2006.
- [28] J. Bushberg and J. A. Seibert, *The Essential Physics of Medical Imaging*, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2002.
- [29] H. K. Huang, *PACS and Imaging Informatics: Basic Principles and Applications*, New Jersey: Wiley, 2010.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470560525>
- [30] National Electrical Manufacturers Association (NEMA), “Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM),” [Online]. Available: <https://www.dicomstandard.org>
- [31] Grupo PAS, *Estándar y protocolo de imágenes médicas DICOM*, Bilbao: Universidad de Deusto, 2005.
- [32] Grupo PAS – Universidad de Deusto, “Estándar y protocolo de imágenes médicas DICOM,” Bizkaia, España, 2009.
- [33] C. Angerami, “Aplicaciones y beneficios de la TAC helicoidal y la reconstrucción 3D,” documento técnico, Universidad Nacional de San Martín, Argentina, 2000. [Online]. [http://www.unsam.edu.ar/escuelas/ciencia/alumnos/PUBLIC.1999-2006-\(TAC\)-ANGERAMI-CARLOS.pdf](http://www.unsam.edu.ar/escuelas/ciencia/alumnos/PUBLIC.1999-2006-(TAC)-ANGERAMI-CARLOS.pdf)
- [34] F. E. Ruiz and M. C. Quevedo, *Inteligencia artificial: Modelos, técnicas y áreas de aplicación*, Barcelona: Thomson, 2004.  
[https://books.google.com.br/books/about/Inteligencia\\_artificial.html?id=\\_spC6S7UfZgC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/Inteligencia_artificial.html?id=_spC6S7UfZgC&redir_esc=y)

- [35] A. G. Serrano, *Inteligencia artificial: fundamentos, práctica y aplicaciones*, Madrid: Grupo RC, 2012.  
<https://bibliotecadigital.utn.edu.ec/files/original/671beecb4e426a3d44a567a44fe9934b971c0bdd.pdf>
- [36] R. S. Pressman, *Software Engineering*, Singapore: McGraw-Hill, 2006.  
[https://www.mlsu.ac.in/econtents/16\\_EBOOK-7th\\_ed\\_software\\_engineering\\_a\\_practitioners\\_approach\\_by\\_roger\\_s.\\_pressman\\_.pdf](https://www.mlsu.ac.in/econtents/16_EBOOK-7th_ed_software_engineering_a_practitioners_approach_by_roger_s._pressman_.pdf)
- [37] R. O. Duda, P. E. Hart and D. G. Stork, *Pattern Classification*, New York: Wiley, 2001.  
[https://www.researchgate.net/publication/228058014\\_Pattern\\_Classification](https://www.researchgate.net/publication/228058014_Pattern_Classification)
- [38] M. Jovaid et al., “Computer vision to enhance healthcare domain: Features and opportunities,” *Intelligent Pharmacy*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2024.  
<https://doi.org/10.1016/j.ipha.2024.05.007>
- [39] S. Abut and H. K. J. Okut, “Paradigm shift from artificial neural networks to deep convolutional neural networks in medical image processing,” *Expert Systems with Applications*, vol. 244, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122983>
- [40] M. Li et al., “Radiation-induced brain injury: Mechanisms and therapeutic strategies,” *Brain Sciences*, vol. 14, no. 12, 2024, doi: 10.3390/brainsci14121295.
- [41] S. Raghuwanshi, A. Sukhad, A. Rasool, V. K. Meena and K. Shivakarhik, “Early detection of brain tumor from MRI images using different machine learning techniques,” *Procedia Computer Science*, vol. 235, pp. 3094–3104, 2024.  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.04.293>
- [42] C. Bermejo, “Adquisición de base de datos de movimientos de miembro superior en adulto sanos y pacientes pediátricos con parálisis cerebral. Clasificación de movimientos con visión artificial y aprendizaje profundo” [Tesis de grado], Universidad de Valladolid, 2023.  
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/61353/TFG-M-IB3112.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## Anexos

## Anexo 01. Requerimientos e Historias de Usuario (HU)

Tabla 4. Historia de Usuario (Gestionar Usuario).

| <b>HISTORIA DE USUARIO</b>   |  |
|--|--|
| <b>Número:</b> 001   | <b>Usuario:</b> Médicos Radiólogos, médicos especialistas (Neurólogos), jefe área. |
| <b>Nombre de la historia:</b><br>Gestionar usuarios  | <b>Dependencia para su desarrollo:</b><br>No aplica                                |
| <b>Prioridad en el negocio:</b><br>Alta  | <b>Riesgo en el desarrollo:</b><br>Baja  |
| <b>Responsable:</b> Pérez Fiestas Renatto  |  |
| <b>Descripción:</b><br>Como jefe de Área quiero registrar a los médicos radiólogos, neurólogos, quienes tendrán acceso con funciones o roles distintos en el sistema, además tener un usuario y contraseña para poder ingresar al sistema. |  |
| <b>Criterios de aceptación:</b><br>-Debe iniciar sesión<br>-Debe registrar usuarios.<br>-Debe modificar datos del usuario.<br>-Debe dar de baja a usuarios.<br>-Debe listar usuarios.  |  |

Tabla 5. Historia de Usuario (Gestionar Paciente)

| <b>HISTORIA DE USUARIO</b>  |   |
|---|---|
| <b>Número:</b> 003  | <b>Usuario:</b> jefe área.                        |
| <b>Nombre de la historia:</b><br>Gestionar Paciente   | <b>Dependencia para su desarrollo:</b><br>Ninguna |
| <b>Prioridad en el negocio:</b><br>Alta   | <b>Riesgo en el desarrollo:</b><br>Baja           |
| <b>Responsable:</b> Pérez Fiestas Renatto   |   |
| <b>Descripción:</b><br>Como jefe de Área quiero gestionar a los pacientes que posteriormente serán utilizados por los demás usuarios. |   |

|  |
|--|
| <p><b>Criterios de aceptación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Registrar pacientes.</li> <li>--Modificar pacientes.</li> <li>-Listar pacientes.</li> <li>-Buscar pacientes.</li> </ul> |
|--|

**Tabla 6. Historia de Usuario (Gestionar Personal).**

|   |   |
|---|---|
| <b>HISTORIA DE USUARIO</b>  |   |
| <b>Número:</b> 004  | <b>Usuario:</b> jefe área.                          |
| <b>Nombre de la historia:</b><br>Gestionar personal   | <b>Dependencia para su desarrollo:</b><br>No aplica |
| <b>Prioridad en el negocio:</b><br>Alta   | <b>Riesgo en el desarrollo:</b><br>Baja             |
| <b>Responsable:</b> Pérez Fiestas Renatto   |   |
| <b>Descripción:</b><br>Como jefe de Área quiero poder gestionar al personal del área de la que tengo a cargo.   |   |
| <p><b>Criterios de aceptación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Registrar personal.</li> <li>-Modificar personal.</li> <li>-Listar personal.</li> <li>-Buscar personal.</li> </ul> |   |

**Tabla 7. Historia de Usuario (Gestionar Cargo)**

|  |  |
|--|--|
| <b>HISTORIA DE USUARIO</b>                       |  |
| <b>Número:</b> 005                               | <b>Usuario:</b> jefe área, Administrador.                    |
| <b>Nombre de la historia:</b><br>Gestionar cargo | <b>Dependencia para su desarrollo:</b><br>Gestionar personal |
| <b>Prioridad en el negocio:</b><br>Media         | <b>Riesgo en el desarrollo:</b><br>Baja                      |
| <b>Responsable:</b> Pérez Fiestas Renatto        |  |

|   |
|---|
| <p><b>Descripción:</b></p> <p>Como jefe de Área quiero poder mover de puesto al personal que tengo a cargo en el sistema.</p> |
| <p><b>Criterios de aceptación:</b></p> <p>-Agregar cargo.</p> <p>-Modificar cargo personal.</p>                               |

**Tabla 8. Historia de Usuario (Gestionar Especialidad)**

| <b>HISTORIA DE USUARIO</b>   |  |
|--|--|
| <b>Número:</b> 006   | <b>Usuario:</b> Médicos Radiólogos, médicos especialistas (Neurólogos), jefe área. |
| <b>Nombre de la historia:</b><br>Gestionar Especialidad  | <b>Dependencia para su desarrollo:</b><br>No aplica                                |
| <b>Prioridad en el negocio:</b><br>Alta  | <b>Riesgo en el desarrollo:</b><br>Baja  |
| <b>Responsable:</b> Pérez Fiestas Renatto  |  |
| <p><b>Descripción:</b></p> <p>Como administrador del sistema deseo poder gestionar las distintas especialidades del personal del área de Imagenología.</p> |  |
| <p><b>Criterios de aceptación:</b></p> <p>-Agregar Especialidad.</p> <p>-Eliminar especialidad.</p> <p>-Modificar especialidad.</p>                        |  |

**Tabla 9. Historia de Usuario (Gestionar Usuario).**

| <b>HISTORIA DE USUARIO</b>                          |  |
|---|--|
| <b>Número:</b> 001                                  | <b>Usuario:</b> Médicos Radiólogos, médicos especialistas (Neurólogos), jefe área. |
| <b>Nombre de la historia:</b><br>Gestionar usuarios | <b>Dependencia para su desarrollo:</b><br>No aplica                                |
| <b>Prioridad en el negocio:</b><br>Alta             | <b>Riesgo en el desarrollo:</b><br>Baja  |
| <b>Responsable:</b> Pérez Fiestas Renatto           |  |

|   |
|---|
| <p><b>Descripción:</b></p> <p>Como jefe de Área quiero registrar a los médicos radiólogos, neurólogos, quienes tendrán acceso con funciones o roles distintos en el sistema, además tener un usuario y contraseña para poder ingresar al sistema.</p>               |
| <p><b>Criterios de aceptación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Debe iniciar sesión</li> <li>-Debe registrar usuarios.</li> <li>-Debe modificar datos del usuario.</li> <li>-Debe dar de baja a usuarios.</li> <li>-Debe listar usuarios.</li> </ul> |

**Tabla 10. Historia de Usuario (Gestionar Paciente)**

|  |   |
|--|---|
| <b>HISTORIA DE USUARIO</b>   |   |
| <b>Número:</b> 003   | <b>Usuario:</b> jefe área.                        |
| <b>Nombre de la historia:</b><br>Gestionar Paciente  | <b>Dependencia para su desarrollo:</b><br>Ninguna |
| <b>Prioridad en el negocio:</b><br>Alta  | <b>Riesgo en el desarrollo:</b><br>Baja           |
| <b>Responsable:</b> Pérez Fiestas Renato   |   |
| <p><b>Descripción:</b></p> <p>Como jefe de Área quiero gestionar a los pacientes que posteriormente serán utilizados por los demás usuarios.</p>   |   |
| <p><b>Criterios de aceptación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Registrar pacientes.</li> <li>--Modificar pacientes.</li> <li>-Listar pacientes.</li> <li>-Buscar pacientes.</li> </ul> |   |

**Tabla 11. Historia de Usuario (Gestionar Personal).**

|   |   |
|---|---|
| <b>HISTORIA DE USUARIO</b>                          |   |
| <b>Número:</b> 004                                  | <b>Usuario:</b> jefe área.                          |
| <b>Nombre de la historia:</b><br>Gestionar personal | <b>Dependencia para su desarrollo:</b><br>No aplica |

|   |   |
|---|---|
| <b>Prioridad en el negocio:</b><br>Alta   | <b>Riesgo en el desarrollo:</b><br>Baja |
| <b>Responsable:</b> Pérez Fiestas Renatto   |   |
| <b>Descripción:</b><br>Como jefe de Área quiero poder gestionar al personal del área de la que tengo a cargo.             |   |
| <b>Criterios de aceptación:</b><br>-Registrar personal.<br>-Modificar personal.<br>-Listar personal.<br>-Buscar personal. |   |

**Tabla 12. Historia de Usuario (Gestionar Cargo)**

|  |  |
|--|--|
| <b>HISTORIA DE USUARIO</b>   |  |
| <b>Número:</b> 005   | <b>Usuario:</b> jefe área, Administrador.                    |
| <b>Nombre de la historia:</b><br>Gestionar cargo   | <b>Dependencia para su desarrollo:</b><br>Gestionar personal |
| <b>Prioridad en el negocio:</b><br>Media   | <b>Riesgo en el desarrollo:</b><br>Baja                      |
| <b>Responsable:</b> Pérez Fiestas Renatto  |  |
| <b>Descripción:</b><br>Como jefe de Área quiero poder mover de puesto al personal que tengo a cargo en el sistema. |  |
| <b>Criterios de aceptación:</b><br>-Agregar cargo.<br>-Modificar cargo personal.                                   |  |

**Tabla 13. Historia de Usuario (Gestionar Especialidad)**

|   |  |
|---|--|
| <b>HISTORIA DE USUARIO</b>                              |  |
| <b>Número:</b> 006                                      | <b>Usuario:</b> Médicos Radiólogos, médicos especialistas (Neurólogos), jefe área. |
| <b>Nombre de la historia:</b><br>Gestionar Especialidad | <b>Dependencia para su desarrollo:</b><br>No aplica                                |

|   |   |
|---|---|
| <b>Prioridad en el negocio:</b><br>Alta   | <b>Riesgo en el desarrollo:</b><br>Baja |
| <b>Responsable:</b> Pérez Fiestas Renatto   |   |
| <b>Descripción:</b><br>Como administrador del sistema deseo poder gestionar las distintas especialidades del personal del área de Imagenología. |   |
| <b>Criterios de aceptación:</b><br>-Agregar Especialidad.<br>-Eliminar especialidad.<br>-Modificar especialidad.                                |   |

**Tabla 14. Historia de Usuario (Gestionar Examen).**

|  |   |
|--|---|
| <b>HISTORIA DE USUARIO</b>   |   |
| <b>Número:</b> 007   | <b>Usuario:</b> jefe área.  |
| <b>Nombre de la historia:</b><br>Gestionar examen  | <b>Dependencia para su desarrollo:</b><br>Gestionar usuarios.<br>Gestionar pacientes. |
| <b>Prioridad en el negocio:</b><br>Muy alta  | <b>Riesgo en el desarrollo:</b><br>Baja   |
| <b>Responsable:</b> Pérez Fiestas Renatto  |   |
| <b>Descripción:</b><br>Como jefe de Área quiero gestionar los exámenes agendados en el día, así como también especificar el límite diario y por turno.   |   |
| <b>Criterios de aceptación:</b><br>-Debe registrar nuevos exámenes.<br>-Debe eliminar exámenes agendados.<br>-Debe modificarse los exámenes agendados.<br>-Debe buscar y listar exámenes agendados.<br>-Debe registrar la fecha y hora de registro.<br>-El número máximo de agendados por día es 25. (No aplica a emergencias) |   |

**Tabla 15. Historia de Usuario (Gestionar informe).**

| <b>HISTORIA DE USUARIO</b>   |  |
|--|--|
| <b>Número:</b> 008   | <b>Usuario:</b> médicos especialistas (Neurólogos), jefe área. |
| <b>Nombre de la historia:</b><br>Gestionar informe   | <b>Dependencia para su desarrollo:</b><br>Gestionar examen.    |
| <b>Prioridad en el negocio:</b><br>Muy alta  | <b>Riesgo en el desarrollo:</b><br>Baja                        |
| <b>Descripción:</b><br>Como jefe de Área quiero poder gestionar los informes para llevar un control del tiempo que se emplea para generarse uno nuevo basado en los exámenes tomados con anterioridad. |  |
| <b>Criterios de aceptación:</b><br>-Registrar informe.<br>-Listar informes.<br>-Modificar informe.<br>-Buscar informes.<br>-Debe obtenerse la fecha y hora de registro.                                |  |

**Tabla 16. Historia de Usuario (Gestionar Imágenes)**

| <b>HISTORIA DE USUARIO</b>   |   |
|--|---|
| <b>Número:</b> 009   | <b>Usuario:</b> médicos radiólogos.                           |
| <b>Nombre de la historia:</b><br>Gestionar imágenes tomográficas   | <b>Dependencia para su desarrollo:</b><br>Gestionar exámenes. |
| <b>Prioridad en el negocio:</b><br>Muy alta  | <b>Riesgo en el desarrollo:</b><br>Baja                       |
| <b>Descripción:</b><br>Como médico radiólogo quiero poder gestionar las imágenes Tomográficas para su posterior tratamiento en el sistema, las imágenes deben ser almacenadas en un repositorio. |   |

**Criterios de aceptación:**

- Mostrar imágenes
- Calcular el volumen de las lesiones cerebrales.
- Obtener características de lesiones cerebrales.

## Anexo 02: Pruebas de Aceptación

**Tabla 17. Tabla general pruebas de aceptación.**

| #Hist. | Tablas                           | Clases y métodos   | Interfaces de usuario                    | P. Aceptación   |
|--------|----------------------------------|--|--|-----------------|
| 001    | Usuario                          | iniciarSesion(), autentificar usuario()                        | FrmInicioSesion                          | Caso prueba 001 |
| 002    | Área                             | Agregar(), ListarAreas()                                       | FrmAgregarArea, FrmListarAreas           | Caso prueba 002 |
| 003    | Paciente, Ubigeo                 | agregarPacientes(), Listar ModificarPacientes(),               | FrmAgregarPacientes, FrmListar Modificar | Caso prueba 003 |
| 004    | Personal, Usuario, Especialidad  | AgregarPersonal(), Listar_eliminar(), Modificar_Personal()     | FrmGestionarPErsonal, FrmListarPersonal  | Caso prueba 004 |
| 005    | Cargo, Personal                  | AgregarCargo(), ListarEliminar_Cargo(), Modificar_Cargo()      | FrmGestionarCargo, FrmListarCargo        | Caso prueba 005 |
| 006    | Especialidad, Personal, Usuarios | Agregar_modEsp(), ListarEspecialidad(), ModificarEspecialida() | FrmGestionarEspecialidad, FrmListarEsp   | Caso prueba 006 |
| 007    | Pacientes, Examen                | AgregarExámenes(), ListarExámenes()                            | FrmGestionarExámenes                     | Caso prueba 007 |
| 008    | Informe, Examen                  | AgregarInformes(), ModificarInformes(), EliminarInformes()     | FrmGestionarInformes                     | Caso prueba 008 |
| 009    | Imágenes                         | ListarImágenes(), TratarCvimágenes()                           | FrmImágenes                              | Caso prueba 009 |

### a) Pruebas de aceptación de usuario

**Tabla 18. Prueba de aceptación 001 (Inicio de sesión).**

| PRUEBA DE ACEPTACIÓN PARA LA HISTORIA DE USUARIO “001”  |
|---|
| Precondiciones:<br>-El usuario debe estar registrado en el sistema, así como tener una contraseña.  |
| Entrada:<br>-El usuario debe iniciar sesión ingresando su DNI y contraseña  |
| Resultado esperado:<br>-El sistema realiza la conexión con la base de datos y valida los datos con los métodos adecuados.<br>-Si los resultados son correctos mostrará el menú principal. |

**Tabla 19. Prueba de aceptación 002 (Gestionar áreas)**

| PRUEBA DE ACEPTACIÓN PARA LA HISTORIA DE USUARIO “002”                                       |
|--|
| Precondiciones:<br>-El usuario especificado debe poder gestionar las áreas desde el sistema. |
| Entrada:   |

|  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>-El usuario logueado debe presionar el botón Gestionar áreas.</li> <li>-El usuario debe escoger la opción ya sea agregar, editar, eliminar o buscar las áreas del Hospital Regional.</li> </ul>                     |
| <p>Resultado esperado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El sistema permite la actualización de los datos ingresados en la base de datos.</li> <li>-El sistema permite agregar nuevas áreas al sistema, así como también eliminarlas.</li> </ul> |

**Tabla 20. Prueba de aceptación 003 (Gestionar pacientes)**

| PRUEBA DE ACEPTACIÓN PARA LA HISTORIA DE USUARIO “003”   |
|--|
| <p>Precondiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El usuario debe estar logueado como administrador.</li> <li>-El usuario especificado debe poder gestionar los pacientes en el sistema.</li> </ul>   |
| <p>Entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El usuario logueado presiona el botón Gestionar Pacientes.</li> <li>-El usuario debe escoger la opción para poder agregar, editar, eliminar o buscar a los pacientes registrados en el sistema.</li> </ul> |
| <p>Resultado esperado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El sistema realiza la conexión con la base de datos y valida los datos con los métodos adecuados.</li> </ul>  |

**Tabla 21. Prueba de aceptación 004 (Gestionar personal)**

| PRUEBA DE ACEPTACIÓN PARA LA HISTORIA DE USUARIO “004”  |
|---|
| <p>Precondiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El usuario debe estar logueado como jefe de área o oadminsitrador.</li> <li>-El usuario especificado (jefe de área) debe poder gestionar de forma correcta al personal del área que tiene a cargo.</li> </ul>                  |
| <p>Entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El usuario logueado (jefe de área) debe presionar el botón Gestionar Personal.</li> <li>-El usuario especificado debe seleccionar la opción que desea ejecutar para poder agregar, editar, eliminar o buscar al personal.</li> </ul>  |
| <p>Resultado esperado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El sistema realiza la conexión con la base de datos y valida los datos con los métodos adecuados.</li> <li>-El sistema permite de forma correcta al jefe de área, poder gestionar al personal del área a cargo.</li> </ul> |

**Tabla 22. Prueba de aceptación 007 (Gestionar exámenes)**

| PRUEBA DE ACEPTACIÓN PARA LA HISTORIA DE USUARIO “007”  |
|---|
| <p>Precondiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El usuario debe estar registrado como tipo de usuario: médico radiólogo.</li> <li>-En la base de datos debe haber datos registrados de los pacientes.</li> </ul> |
| <p>Entrada:</p>   |

|  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>-El usuario logueado debe presionar el botón Gestionar exámenes.</li> <li>-El usuario deberá escoger las distintas opciones para poder agregar, buscar y modificar exámenes.</li> </ul>   |
| <p>Resultado esperado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El sistema realiza la conexión con la base de datos y valida los datos con los métodos adecuados.</li> <li>-Los médicos radiólogos pueden gestionar de forma correcta los exámenes por paciente.</li> </ul> |

**Tabla 23. Prueba de aceptación 009 (Gestionar imágenes)**

| PRUEBA DE ACEPTACIÓN PARA LA HISTORIA DE USUARIO “009”  |
|---|
| <p>Precondiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El usuario debe estar logueado en el sistema como médico radiólogo.</li> <li>-El usuario deberá escoger entre las opciones buscar imágenes, agregar imágenes.</li> </ul>   |
| <p>Entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El usuario logueado deberá seleccionar las imágenes correspondientes a un paciente.</li> <li>-Las imágenes son procesadas previa autorización o aprobación del radiólogo, para su análisis.</li> </ul>  |
| <p>Resultado esperado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El sistema deberá mostrar las imágenes en un entorno óptimo visualmente.</li> </ul> <p>El sistema realiza el cálculo de las características relevantes para el diagnóstico del médico radiólogo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El sistema deberá calcular automáticamente el volumen de la lesión cerebral.</li> </ul> |

### Anexo 03: Diseño de interfaces del sistema



Figura 28: Logo inicial - TomoVision



Figura 29: Interface Inicio Sesión



A screenshot of a web browser window titled "Autenticación de Usuario". The main heading is "Recuperación Contraseña" in a large, blue, serif font. To the right of the heading is a blue icon of a key and a person. Below the heading are two input fields: "E-mail:" and "DNI:". Below the "E-mail:" field is a button labeled "Volver". Below the "DNI:" field is a button labeled "Enviar". At the bottom right, there is a link that says "Más información".

**Figura 30: Recuperación de contraseña**



A screenshot of an email message. The subject line is "Cambio de Contraseña" with a yellow arrow icon and a "Recibidos x" label. The sender is "recordarcitam edica@gmail.com" with a profile icon and a dropdown arrow. The body of the email says "Su nueva contraseña es: #6DD954" followed by an ellipsis "...". Below that is a link "[Mensaje recortado] Ver todo el mensaje". At the bottom are two buttons: "Responder" with a left-pointing arrow and "Reenviar" with a right-pointing arrow.

**Figura 31: Envío de contraseña nueva**

## Anexo 04: Carta de aceptación de la institución para la ejecución del proyecto

### CARTA DE ACEPTACIÓN DEL PRODUCTO ACREDITABLE

Chiclayo, 05 de diciembre de 2025

Señor(a)

Carmen Gil Arroyo  
Gerenta General Ecoray Diagnóstico S.A.C

De mi especial consideración:

Por medio de la presente, dejo constancia de que el producto denominado **"Sistema de visión artificial como apoyo en el proceso de diagnóstico de lesiones cerebrales en la empresa Ecoray Diagnósticos"**, correspondiente a la tesis de investigación elaborada por el bachiller **Renatto Jesús Pérez Fiestas**, de la **Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas** de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, ha sido **revisado y aceptado como producto acreditable** en el marco del proceso de acreditación del programa.

El mencionado producto cumple con los criterios y lineamientos establecidos por la institución para evidenciar el logro de competencias y resultados de aprendizaje vinculados a la investigación y al desarrollo de soluciones tecnológicas aplicadas al área de la salud, por lo que se autoriza su incorporación al banco de evidencias para fines de acreditación.

Sin otro particular, hago propicia la ocasión para expresarle mis consideraciones más distinguidas.

Atentamente,



**ECORAY**  
DIAGNÓSTICO S.A.C  
M. Del Carmen Gil Arroyo Torres  
ABOGADA  
Reg. ICAL 9787

Carmen Gil Arroyo  
Gerenta General Ecoray Diagnóstico S.A.C

## ANEXO 05: Entrevistas recopilación de información



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería de Sistemas y  
Computación

### ENTREVISTA AL MÉDICO ESPECIALISTA

Nombre: Gerardo Muentes Manosalva  
Cargo: Médico especialista en Radiología de la empresa Ecoray  
Fecha: 14 de Agosto del 2024

1. ¿Cantidad de pacientes que atiende al día?  
Actualmente atiende a un promedio de 16 pacientes, a nivel local.
2. ¿Cuánto tiempo demora atender a cada paciente?  
15 minutos aproximadamente.
3. ¿Qué inconvenientes tienen a la hora de diagnosticar al paciente por lesiones cerebrales?  
Que para determinar al 100% un tumor cerebral debe realizarse varios exámenes.  
Que para calcular el volumen de una masa tumoral debe realizarse de forma rudimentaria.
4. ¿Qué inconvenientes tiene al tratar de analizar las tomografías para saber si es un posible tumor?  
Que no se puede dar un tratamiento inmediato.
5. ¿Cuál es el proceso para determinar si lo que se presenta en la tomografía es un tumor?  
Se deben realizar una biopsia o en todo caso una resonancia magnética.
6. ¿Posee alguna otra forma posible para detectar estas lesiones cerebrales?  
Sí, cuando existe la presencia de necrosis y ésta es presentada en la tomografía muy clara.
7. ¿Cómo calcula actualmente la masa tumoral?  
Lo hacemos de forma inexacta, calculamos manualmente el largo, ancho y alto de la masa tumoral.
8. ¿Piensa que sería de utilidad un software que detectara la masa tumoral?  
Me serviría para mi labor diaria, pues me facilita el poder dar un tratamiento correcto a cada paciente, así como también poder atender a más pacientes.



**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería de Sistemas y**  
**Computación**

---

**ENTREVISTA AL MÉDICO RADIOLOGO**

Nombre:           Graciela Céspedes Gil Arroyo            
 Cargo:           Médico Radiólogo del Hospital Regional de Lambayeque y de clínica Ecoray            
 Fecha:           15 de agosto del 2024          

---

1. ¿Cantidad de pacientes que atiende al día?

Actualmente atiende a un promedio de 15 a 20 pacientes, a nivel local.

2. ¿Cuánto tiempo demora atender a cada paciente?  
 De 10 a 15 minutos aproximadamente.
3. ¿Qué inconvenientes tienen a la hora de diagnosticar al paciente por lesiones cerebrales?

Que para determinar la lesión cerebral se debe tratar bien la imagen a tal punto que puedan diferenciarse las características que puedan hacer perceptible y diferenciable cada lesión.

4. ¿Qué inconvenientes tiene al tratar de analizar las tomografías para saber si es un posible tumor?

Que no se puede dar un tratamiento inmediato además de que se debe calcular el volumen de forma manual.

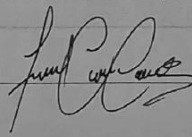
5. ¿Cuál es el proceso para determinar si lo que se presenta en la tomografía es un tumor?  
 Si es que después de formatear la imagen, no se puede diferenciar las lesiones cerebrales, se debe realizar una biopsia o en todo caso una resonancia magnética.

6. ¿Posee alguna otra forma posible para detectar estas lesiones cerebrales?  
 Sí, cuando existe la presencia de necrosis o edema muy notorio y ésta es presentada en la tomografía muy clara. Así como también utilizando las unidades de Hasnsfield para determinar qué tipo de tejido es.

7. ¿Cómo calcula actualmente la masa tumoral?  
 Lo hacemos de forma inexacta, calculamos manualmente utilizando la siguiente fórmula Longitudinal x Transversal x Anteroposterior x 0.52.

8. ¿Piensa que sería de utilidad un software que detectara la masa tumoral?  
 Me serviría para mi labor diaria, pues me facilita el poder dar un tratamiento correcto a cada paciente, así como también poder atender a más pacientes.

## ANEXO 06: Cuestionario System Usability Scale

| <b>Ecoray Diagnósticos — Evaluación de Usabilidad (SUS)</b>   |   | 2025-11-04   |                          |                                     |                                     |  |
|---|---|--|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| <b>Nombre del evaluador:</b> CESPEDEZ GIL ARROYO, GRACIELA  |   |  |                          |                                     |                                     |  |
| <b>Rol:</b> Médico Radiólogo  |   | <b>Sistema evaluado:</b> TomoVision (versión actual) |                          |                                     |                                     |  |
| <b>Escala Likert:</b> 1 = Totalmente en desacuerdo 2 = En desacuerdo 3 = Neutral 4 = De acuerdo 5 = Totalmente de acuerdo |   |  |                          |                                     |                                     |  |
| Ítem  | 1   | 2  | 3                        | 4                                   | 5                                   |  |
| 1. Usaría este sistema con frecuencia.  | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>                             | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |  |
| 2. Este sistema es innecesariamente complejo.   | <input checked="" type="checkbox"/>   | <input type="checkbox"/>                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |  |
| 3. Este sistema me pareció fácil de usar.   | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| 4. Creo que necesitaría apoyo técnico para usar este sistema.   | <input type="checkbox"/>  | <input checked="" type="checkbox"/>                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |  |
| 5. Las funciones del sistema están bien integradas.   | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>                             | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |  |
| 6. Hay demasiada inconsistencia en este sistema.  | <input type="checkbox"/>  | <input checked="" type="checkbox"/>                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |  |
| 7. Pienso que la mayoría aprendería a usarlo rápidamente.   | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>                             | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |  |
| 8. Este sistema me parece engorroso de usar.  | <input type="checkbox"/>  | <input checked="" type="checkbox"/>                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |  |
| 9. Me sentí muy seguro al usar el sistema.  | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| 10. Necesité aprender muchas cosas antes de usar el sistema.  | <input type="checkbox"/>  | <input checked="" type="checkbox"/>                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |  |
| <b>Puntaje SUS del evaluador: 82.5 (0-100)</b>  |   | <b>• Umbral aceptable: 68</b>                        |                          |                                     |                                     |  |
| Firma del evaluador:  |  |  |                          |                                     | Fecha: 03/11/2025                   |  |

## Ecoray Diagnósticos — Evaluación de Usabilidad (SUS)

2025-11-04

**Nombre del evaluador:** CARRASCO FLORES, ALEXANDRA

**Rol:** Médico Radiólogo

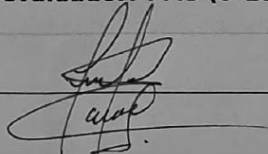
**Sistema evaluado:** Ecoray (versión actual)

**Escala Likert:** 1 = Totalmente en desacuerdo 2 = En desacuerdo 3 = Neutral 4 = De acuerdo 5 = Totalmente de acuerdo

| Ítem  | 1                        | 2                                   | 3                        | 4                                   | 5                                   |
|---|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Usaría este sistema con frecuencia.                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2. Este sistema es innecesariamente complejo.                 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 3. Este sistema me pareció fácil de usar.                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |
| 4. Creo que necesitaría apoyo técnico para usar este sistema. | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 5. Las funciones del sistema están bien integradas.           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |
| 6. Hay demasiada inconsistencia en este sistema.              | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 7. Pienso que la mayoría aprendería a usarlo rápidamente.     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |
| 8. Este sistema me parece engorroso de usar.                  | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 9. Me sentí muy seguro al usar el sistema.                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            |
| 10. Necesité aprender muchas cosas antes de usar el sistema.  | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |

**Puntaje SUS del evaluador: 77.5 (0-100) • Umbral aceptable: 68**

Firma del evaluador:



Fecha: 03/11/2025

### ANEXO 07: Cuadro comparativo de tiempos del proceso de evaluación

| Etapa general del proceso                       | Método convencional (ms) | Sistema TomoVision (ms) | Reducción    | Observación                            |
|---|--------------------------|-------------------------|--------------|--|
| Acceso y carga del estudio                      | 180,000                  | 120,000                 | 33.3%        | Equivale a 3 min vs 2 min              |
| Revisión inicial de imágenes                    | 300,000                  | 240,000                 | 20.0%        | Equivale a 5 min vs 4 min              |
| Apoyo al análisis e identificación de hallazgos | 480,000                  | 300,000                 | 37.5%        | Equivale a 8 min vs 5 min              |
| Consolidación para elaboración del informe      | 240,000                  | 236,400                 | 1.5%         | Ajustado para que el total sea 25.3%   |
| <b>Tiempo total</b>                             | <b>1,200,000</b>         | <b>896,400</b>          | <b>25.3%</b> | <b>Resultado total objetivo: 25.3%</b> |

**Figura 33: Evaluación tiempos del proceso**