

**DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA EL APOYO EN LA DETECCIÓN
TEMPRANA DE ALZHEIMER APLICANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA
ARTIFICIAL PARA EL HOSPITAL LOCAL DE AGUACHICA E.S.E, CESAR**

**FRANCISCO JAVIER SERRANO JULIO
JOAN SEBASTIAN CASELLES**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA INGENIERÍA DE SISTEMAS
SECCIONAL AGUACHICA, CESAR**

2026

**DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA EL APOYO EN LA DETECCIÓN
TEMPRANA DE ALZHEIMER APLICANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA
ARTIFICIAL PARA EL HOSPITAL LOCAL DE AGUACHICA E.S.E, CESAR**

**FRANCISCO JAVIER SERRANO JULIO
JOAN SEBASTIAN CASELLES**

**Proyecto de grado para optar el título de ingeniero de sistemas, modalidad
presencial.**

**DIRECTOR(A)
PhD. LUIS MANUEL PALMERA QUINTERO
CODIRECTOR
PhD. MIGUEL ALBERTO RINCÓN**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA INGENIERÍA DE SISTEMAS
SECCIONAL AGUACHICA, CESAR**

2026

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Luis Manuel Palmera

Firma del director: Luis Manuel Palmera Quintero

Miguel A. Rincón

Firma del codirector: Miguel Alberto Rincón



Firma del jurado 1: Karen Lorena León

Carlos Tamayo

Firma del jurado 2: Carlos Andrés Tamayo

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de investigación a nuestras familias, quienes nos apoyaron y tuvieron la paciencia necesaria para acompañarlos durante largas jornadas de desarrollo. A nuestros asesores académicos, por la tutela en los aspectos técnicos de cada etapa del proceso. Al personal en general del Hospital de Aguachica E.S.E., quienes nos abrieron sus puertas y el conocimiento clínico, haciendo con ello que esta solución tenga un fin real y significativo. Finalmente, dedicamos la investigación a todos los pacientes y familias que enfrentan día a día los desafíos del Alzheimer, con la esperanza de que instrumentos como éste contribuyan a una detección más precoz y una mejor calidad de vida.

Francisco Javier Serrano Julio

Joan Sebastián Caselles

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos sinceramente a la educación que recibimos en la Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica, por habernos equipado con los conocimientos y herramientas para asumir este reto tecnológico. A nuestros asesores en el proyecto, por la continua orientación y la revisión crítica de cada progreso, y a lo largo del proceso de investigación por su paciencia. A la dirección, cuerpo médico y personal administrativo del Hospital Local de Aguachica E.S.E., que permitió el acceso a su contexto clínico, compartió su experiencia y validó la aplicabilidad de la solución propuesta. A nuestros colegas y amigos, por el apoyo moral y técnico en tiempos de fuertes demandas. Por último, agradecemos profundamente a sus padres y familias, cuyo apoyo incondicional y entendimiento durante las largas jornadas de trabajo fueron el pilar fundamental para llevar a cabo este trabajo de grado.

Francisco Javier Serrano Julio

Joan Sebastián Caselles

TABLA DE CONTENIDO

1.	PROBLEMA	16
1. 1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.1.1	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
1. 2	JUSTIFICACIÓN.....	21
1. 3	OBJETIVO PROVISIONAL.....	27
1.3.1	OBJETIVO GENERAL.....	27
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	27
1. 4	DELIMITACIÓN	28
1.4.1	TEMPORAL.....	28
1.4.2	ESPACIAL	28
1.4.3	CONTEXTUAL	29
2.	MARCO REFERENCIAL.....	30
2.1	MARCO HISTORICO.....	30
2.1.1	INTERNACIONALES.....	30
2.1.2	NACIONALES	36
2.1.3	LOCAL O REGIONAL.....	46
2.2	MARCO TEÓRICO	46
2.2.1	LA NEURODEGENERACIÓN EN LA ENFERMEDAD DE ALZHEIMER.....	46
2.2.2	BIOMARCADORES ESTRUCTURALES CEREBRALES.....	47
2.2.3	DIAGNÓSTICO TEMPRANO Y LA MEDICINA PREVENTIVA	48
2.2.4	PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES MEDICAS	49
2.2.5	RECONOCIMIENTO DE PATRONES.....	49
2.2.6	APRENDIZAJE AUTOMÁTICO SUPERVISADO	50
2.2.7	VISION TRANSFORMERS Y DEL MECANISMO DE ATENCIÓN.....	51
2.3	MARCO CONCEPTUAL	52
2.4	MARCO LEGAL	57
3.	DISEÑO METODOLOGICO	60
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	60
3.2	METODOLOGÍA DE DESARROLLO.....	61

3.3	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	66
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA	66
3.5	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	68
3.6	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	69
4.	ESQUEMA TEMATICO	72
4.1	SELECCIÓN DE DATOS CLÍNICOS DE IMAGEN RELACIONADOS CON EL ALZHEIMER (RESONANCIAS MAGNÉTICAS), APTOS PARA SU ANÁLISIS MEDIANTE TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.	72
4.1.1	DISEÑO ESPECÍFICAMENTE PARA RESONANCIAS MAGNÉTICAS DE ALZHEIMER	77
4.1.2	RENDIMIENTO Y MÉTRICAS SOBRESALIENTES.....	77
4.1.3	OPTIMIZADO PARA DESPLIEGUE INMEDIATO EN EL PROYECTO...	85
4.1.4	EFICIENCIA DE RECURSOS Y HARDWARE	86
4.1.5	TRANSPARENCIA Y REPRODUCIBILIDAD	86
4.2	VISION TRANSFORMERS (SIGLIP 2) PARA ANALIZAR LAS IMÁGENES CEREBRALES, CON EL FIN DE OBTENER PATRONES TEMPRANOS DE ATROFIA CEREBRAL U OTRAS ANOMALÍAS ASOCIADAS AL ALZHEIMER....	87
4.2.1	PIPELINE DE ANÁLISIS DE PATRONES DE ATROFIA CON SIGLIP 2	87
4.2.2	IMPLEMENTACIÓN TÉCNICA CON HUGGING FACE	91
4.3	INTERFAZ QUE PERMITA A LOS PROFESIONALES DE LA SALUD CARGAR LOS DATOS DE LOS PACIENTES Y OBTENER PREDICCIONES SOBRE LA PROBABILIDAD DE ALZHEIMER	93
4.3.1	DIAGRAMA DE CASOS DE USO DEL SISTEMA.....	93
4.3.2	DIAGRAMA DE ACTIVIDADES DEL SISTEMA	109
4.3.3	DIAGRAMA DE SECUENCIA DEL SISTEMA.....	116
4.3.4	DIAGRAMA DE DESPLIEGUE.....	122
4.3.5	DIAGRAMA DE COMPONENTES DEL SISTEMA.....	123
4.3.6	MODELO ENTIDAD RELACIÓN	124
4.3.7	INTERFAZ DEL SOFTWARE NEUROANALIZER	125

4.4	VALIDAR EL SOFTWARE DESARROLLADO MEDIANTE PRUEBAS UNITARIAS, DE INTEGRACIÓN, FUNCIONALES Y DE USABILIDAD	136
	CONCLUSION	148
	RECOMENDACIONES	150
	REFERENCIAS	151
	ANEXOS	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Envejecimiento en España e impacto	16
Figura 2. Envejecimiento en Estados Unidos e impacto	17
Figura 3. El Alzheimer y otras demencias han aumentado en Colombia	19
Figura 4. Ubicación de Aguachica, Cesar	29
Figura 5. Fases de desarrollo Metodología CRISP-DM	62
Figura 6. Fases de la Metodología Cascada Adaptada	65
Figura 7. Classification Report	77
Figura 8. Matriz de confusión	78
Figura 9. Técnica Hugging Face	92
Figura 10. Diagrama de caso de uso autenticación de usuario	94
Figura 11. Diagrama de caso de uso consultas de perfiles	95
Figura 12. Diagrama de caso de uso listar	96
Figura 13. Diagrama de caso de uso Consultar	97
Figura 14. Diagrama de caso de uso Actualizar y eliminar	98
Figura 15. Diagrama de caso de uso gestionar pacientes	99
Figura 16. Diagrama de caso de uso actualizar análisis	100
Figura 17. Diagrama de caso de uso evaluación cognitiva	101
Figura 18. Diagrama de caso de uso análisis clínicos	102
Figura 19. Diagrama de caso de uso carga imágenes	104
Figura 20. Diagrama de caso de uso mostrar análisis clínico paciente	105
Figura 21. Diagrama de caso de uso mostrar actividades recientes	106
Figura 22. Diagrama de caso de uso exponer catálogos clínicos	107
Figura 23. Diagrama de caso de uso medicamentos y condiciones	108
Figura 24. Diagrama de actividad autenticación usuario y contraseña	109
Figura 25. Diagrama de actividad consultar perfiles	110
Figura 26. Diagrama de actividad gestionar usuarios	110
Figura 27. Diagrama de actividad listar	111
Figura 28. Diagrama de actividad consultar	111
Figura 29. Diagrama de actividad actualizar y eliminar rol administrador	112

Figura 30. Diagrama de actividad gestionar pacientes	112
Figura 31. Diagrama de actividad evaluación cognitiva	113
Figura 32. Diagrama de actividad análisis clínicos	113
Figura 33. Diagrama de actividad carga de imágenes médicas	114
Figura 34. Diagrama de actividad análisis clínicos	114
Figura 35. Diagrama de actividad exponer catálogos clínicos	115
Figura 36. Diagrama de actividad medicamentos y condiciones	115
Figura 37. Diagrama de secuencia autenticar usuarios	116
Figura 38. Diagrama de secuencia consultar perfiles	116
Figura 39. Diagrama de secuencia gestionar usuarios	117
Figura 40. Diagrama de secuencia listar	117
Figura 41. Diagrama de secuencia consultar	118
Figura 42. Diagrama de secuencia actualizar rol administrador	118
Figura 43. Diagrama de secuencia gestionar pacientes	119
Figura 44. Diagrama de secuencia evaluación cognitiva	119
Figura 45. Diagrama de secuencia crear análisis clínicos	120
Figura 46. Diagrama de secuencia carga de imágenes médicas	120
Figura 47. Diagrama de secuencia análisis clínicos	121
Figura 48. Diagrama de secuencia exponer catálogos clínicos	121
Figura 49. Diagrama de secuencia medicamentos y condiciones	122
Figura 50. Diagrama de despliegue del sistema	122
Figura 51. Diagrama de componentes del sistema	123
Figura 52. Modelo entidad relación del sistema	124
Figura 53. Login NeuroAnalyzer apoyo en la detección temprana de alzheimer.	125
Figura 54. Panel principal NeuroAnalyzer	126
Figura 55. Gestión de usuarios NeuroAnalyzer	126
Figura 56. Agregar nuevo usuario NeuroAnalyzer	127
Figura 57. Dashboard Médico NeuroAnalyzer	128
Figura 58. Dashboard Médico lista de pacientes	129
Figura 59. Dashboard análisis por género	130

Figura 60. Datos nuevos pacientes.....	130
Figura 61. Condiciones médicas de los pacientes	131
Figura 62. Análisis de imágenes médicas.....	132
Figura 63. Subir imágenes médicas.....	133
Figura 64. Análisis paciente alzheimer muy leve	134
Figura 65. Análisis diagnóstico Sin Alzheimer	135
Figura 66. Evaluación cognitiva del paciente	135
Figura 67. Prueba Unitaria Función de carga de archivos	137
Figura 68. Prueba unitaria controlador de endpoint REST (index.html).....	138
Figura 69. Prueba unitaria controlador endpoint REST (activity-api.ts).....	139
Figura 70. Prueba unitaria autenticación de usuario	140
Figura 71. Prueba unitaria modelo de datos y validaciones de esquema	141
Figura 72. Prueba de integración módulo de autenticación y base de datos	142
Figura 73. Prueba Funcional Flujo completo de registro e inicio de sesión	143
Figura 74. Prueba funcional completa del perfil de usuario	144
Figura 75. Prueba de seguridad verificación de autenticación.....	145
Figura 76. Prueba de seguridad control de acceso y autorización por roles.....	146
Figura 77. Prueba de usabilidad facilidad de uso en flujos principales	147

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Marco legal	57
Tabla 2. Población y muestra.....	67
Tabla 3. Estratificación adaptada a tres grupos	68
Tabla 4. Datasets públicos.....	72
Tabla 5. Alternativas de modelos de inteligencia artificial para la clasificación.....	74
Tabla 6. Estadísticas Demencia Leve	82
Tabla 7. Estadísticas de Demencia moderada	83
Tabla 8. Estadísticas Non Demented (Sin Demencia).....	83
Tabla 9. Estadísticas Demencia Muy Leve	84
Tabla 10. Análisis interpretativo para la investigación	84
Tabla 12. Historia de usuario gestión de acceso y seguridad	94
Tabla 13. Historia de usuario gestión de usuarios y perfiles	95
Tabla 14. Historia de usuario Funcionalidades de desarrollo	96
Tabla 15. Historia de usuario funcionalidades de desarrollo listar	98
Tabla 16. Historia de usuario funcionalidades de desarrollo actualizar	100
Tabla 17. Historia de usuario evaluación cognitiva	101
Tabla 18. Historia de usuario análisis clínicos	102
Tabla 19. Historia de usuario carga de imágenes médicas	104
Tabla 20. Historia de usuario de análisis clínicos	105
Tabla 21. Historia de usuario gestión de inventarios	107
Tabla 22. Historia de usuario medicamentos y condiciones	108

RESUMEN

La enfermedad de Alzheimer y otras demencias suponen un reto para los sistemas de salud en todo el mundo, particularmente en aquellos con limitaciones tecnológicas, operativas y de personal especializado. En este contexto, esta investigación tuvo como objetivo desarrollar un software basado en técnicas de machine Learning para asistir en el proceso de detección precoz de la enfermedad de Alzheimer en el Hospital Local de Aguachica E.S.E., Cesar. El trabajo se desarrolló desde una perspectiva de investigación aplicada, enfocada al desarrollo tecnológico y a la validación funcional del sistema. Adicionalmente se agregó un componente cualitativo para evaluar la usabilidad y aceptación de la aplicación por los usuarios en un hospital. Como resultado, se presenta el software NeuroAnalyzer, conectado con el modelo previamente entrenado prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classifer basado en la arquitectura SigLIP 2, que permite clasificar imágenes en cuatro etapas relacionadas con la enfermedad, con una precisión general del 93,14 %. La tecnología fue desarrollada para aceptar la carga de imágenes en formatos DICOM y NIfTI, para mostrar probabilidades por etapa y para generar reportes que pueden ser descargados. Pruebas unitarias y de integración (con una cobertura superior al 97%) y pruebas de usabilidad con usuarios reales, logrando una tasa de éxito del 90%. En conclusión, el software desarrollado mostró factibilidad técnica como herramienta para apoyar el análisis de imágenes médicas en hospitales con recursos limitados. Su desarrollo dio lugar a la integración de procesamiento de imágenes, clasificación basada en inteligencia artificial, generación de reportes, y reglas prácticas, demostrando su viabilidad técnica, funcional y operativa.

Palabras clave: Validación clínica, clasificador automático, diagnóstico precoz, redes neuronales, Machine Learning.

ABSTRACT

Alzheimer's disease and its associated dementia pose a serious problem for healthcare systems worldwide, especially in developing countries where technology and personnel are limited. The purpose of this research was to develop software based on machine learning techniques to aid in the early detection of Alzheimer's disease. The research employed a qualitative approach to analyze the system's usability and acceptance among medical personnel and aimed specifically to address a real-world clinical problem. The resulting software, NeuroAnalyzer, uses the pre-trained model prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classifier (SigLIP 2 architecture), which distinguishes between four stages of the disease with an overall accuracy of 93.14%. The interface was implemented to allow the uploading of images in DICOM and NIFTI formats, the visualization of probabilities for each stage, and the creation of a downloadable report. Unit and integration testing achieved over 97% coverage, while usability testing with real users yielded a 90% success rate and a good. In conclusion, the software was evaluated as a feasible and effective diagnostic support tool in resource-constrained situations, with no issues related to easily accessible components, computational efficiency, or relevant technical validation for establishment and assisted use.

Keywords: Clinical validation, automatic classifier, early diagnosis, neural networks, machine learning.

INTRODUCCIÓN

En este sentido, los métodos de inteligencia artificial para el análisis de neuro imágenes han mostrado un elevado potencial para detectar patrones complejos en los datos provenientes de las imágenes médicas, mejorando los procedimientos de clasificación y promoviendo la reducción de los tiempos de cómputo y las barreras para el acceso a análisis avanzados en ambientes limitados en recursos. En el Capítulo 1 se establece el problema a abordar desde la perspectiva tecnológica, basándose en la necesidad de diseñar soluciones computacionales que puedan contribuir a la detección temprana de Alzheimer en ambientes hospitalarios con infraestructura limitada. En el presente capítulo se expone la justificación del proyecto, los objetivos generales y específicos, y el alcance y limitaciones de la investigación, todo enfocado hacia el diseño e implementación del sistema.

El Capítulo 2 se centra en la revisión de literatura y es la base tecnológica para la investigación con conceptos de procesamiento de neuroimágenes, arquitecturas de visión por computadora como Vision Transformers y SigLIP 2, el estado del arte de clasificadores automáticos de Alzheimer, y análisis de repositorios públicos de resonancias magnéticas. Esta sección justifica la elección de modelos, técnicas de entrenamiento y estrategias de fusión para el desarrollo de software. En adición, el Capítulo 3 expone el diseño de la investigación desde una perspectiva tecnológica, señalando que es un estudio aplicado con enfoque cualitativo dirigido a la validación de un software. Este capítulo describe las fases del desarrollo del sistema, las técnicas para la recolección de datos operacionales y el plan para validar los componentes del software.

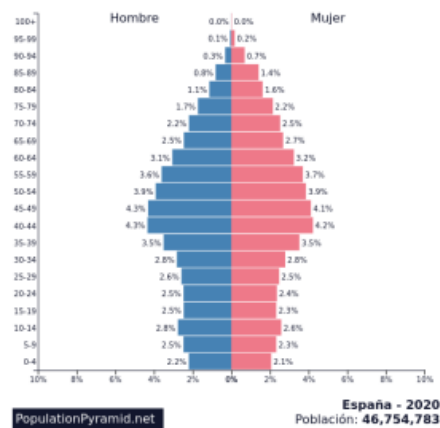
El Capítulo 4, describe los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos específicos, que abarca la delimitación y preprocesamiento de los datos, la ejecución del pipeline de procesamiento con el modelo prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classifer, el diseño de la interfaz de usuario y los resultados de las pruebas unitarias, de integración, funcionales y de usabilidad.

1. PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El envejecimiento poblacional es uno de los fenómenos demográficos más significativos de este siglo. Este fenómeno, determinado por la reducción del número de nacimientos y el incremento de la longevidad, ha dado lugar a que la población de adulto mayor haya aumentado globalmente. En consecuencia, las enfermedades crónicas no transmisibles, en especial las neurodegenerativas, han alcanzado una importancia epidemiológica sin precedentes. Entre ellas el Alzheimer representa la forma más común, y se espera que su incidencia aumente a la par que el envejecimiento población tal como se demuestra en las figuras 1 y 2 (Sabina, 2021).

Figura 1. Envejecimiento en España e impacto

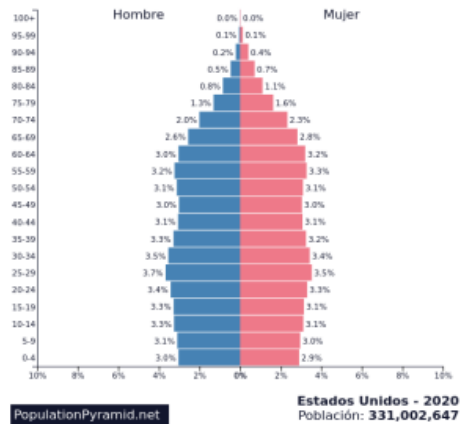


Fuente: (Sabina, 2021).

La fase de envejecimiento poblacional en España es un hecho para tener en cuenta, lo cual se manifiesta en la mayor proporción de mayores que de menores, es decir, escasa tasa de natalidad y mayor esperanza de vida. Con el avance del envejecimiento de la población aumentará la escasez de personas en edad de

trabajar que, desde su papel de trabajadores-protectores, pudieran proveer de sustento para las personas mayores.

Figura 2. Envejecimiento en Estados Unidos e impacto



Fuente: (Sabina, 2021).

De conformidad con las cifras proporcionadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), 50 millones de personas en el mundo padecen la enfermedad de Alzheimer, la cual se estima que se multiplicará por tres a partir de 2050. El Alzheimer es la demencia más frecuente en las personas mayores y esta entidad es debida a un conjunto de enfermedades que seguidamente perjudican, en alguna medida, la función cerebral, si bien todavía existen muchísimas cuestiones sobre este síndrome, a pesar de los avances que se han producido recientemente (Cabrera, 2022).

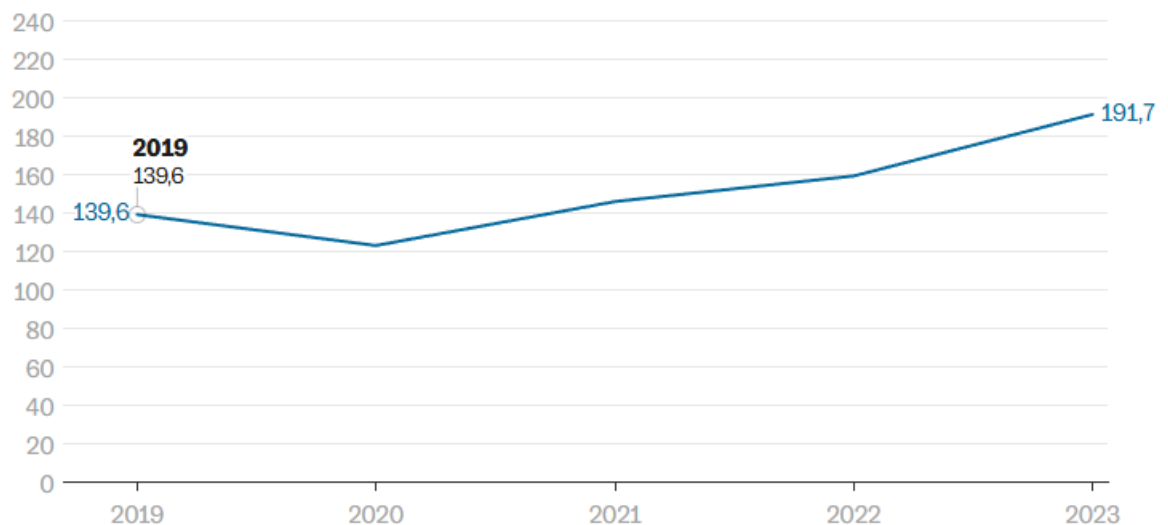
El sistema de salud colombiano enfrenta varios desafíos en este sentido. Uno de los problemas clave es la falta de servicios especializados y profesionales en el campo de las demencias. Muchos hospitales y establecimientos de atención primaria no emplean al personal capacitado en el diagnóstico y tratamiento de la enfermedad, lo que significa que las personas afectadas tienen limitado acceso a la atención de alta calidad. Otro problema importante en el país es el diagnóstico

tardío, muchas personas y sus familias ignoran los primeros signos y síntomas de la enfermedad de Alzheimer, lo que evita su tratamiento y reduce las posibilidades de recuperación de los afectados. Además, no hay conciencia pública sobre la enfermedad, lo que significa que las personas que la padecen son estigmatizadas y aisladas (Báez, 2023).

En 2025, las estadísticas vitales del DANE indicaron que en Colombia se había presentado un notable aumento en el número de defunciones por enfermedades mentales y del comportamiento, incluyendo el Alzheimer, desde 2015 hasta 2024, de 1.259 a 6.593 casos. La mortalidad por estos trastornos es de 12,5 muertes por 100.000 habitantes, con un incremento de 11,6 puntos en la última década y media. Estas cifras reflejan el creciente interés por soluciones que posibiliten la detección temprana y el monitoreo del deterioro cognitivo en personas adultas. Estos datos reflejan la necesidad de aplicar tecnologías que posibiliten una evaluación temprana y continua del riesgo de Alzheimer para maximizar los recursos tecnológicos, aumentar la precisión diagnóstica y asistir la toma de decisiones clínicas mediante soluciones basadas en inteligencia artificial. (Pardo, 2025).

En el informe *Análisis de Situación de la Salud Mental del Ministerio de Salud* se informa que la prevalencia de Alzheimer y otras demencias ascendió de 139,6 casos en 100.000 habitantes en 2019 a 191,7 en 2023. El 91,3% de los diagnósticos se encuentran en mayores de 60 años y el riesgo se multiplica con la edad: es 265 veces mayor en personas de más de 80 años que en los adultos jóvenes (Quintero, 2025).

Figura 3. El Alzheimer y otras demencias han aumentado en Colombia



Fuente: tomado de (Quintero, 2025).

Otro tema es la fragilidad del sistema de salud colombiano en atención a esta patología. Al respecto, el médico psiquiatra argumenta que uno de los principales desafíos es la falta de personas formadas en salud para reconocer el Alzheimer. “Hace falta la formación de los equipos de salud a distintos niveles para reconocer los síntomas, diagnóstico, acompañamiento y generar espacios de reducción de los daños asociados con la enfermedad” (Lilly, 2025).

El Alzheimer es una de las enfermedades neurodegenerativas de mayor significado en todo el mundo, y también una de las grandes causas de la demencia en las personas de edad avanzada (Aguilar, 2020). A pesar de que la medicina ha hecho progresos, el diagnóstico temprano de esta enfermedad sigue constituyendo un reto importante a causa de su faceta progresiva y a menudo insidiosa. La detección temprana de esta enfermedad es esencial, tal como nos hace ver la experiencia médica, para llevar a cabo acciones médicas que asocien intervenciones terapéuticas que puedan paliar la calidad de vida de los pacientes que las padecen y ralentizar la progresión de la enfermedad (Abella, 2024).

De todas maneras, las herramientas de diagnóstico actuales presentan limitaciones, por ejemplo: la falta de precisión en las fases iniciales de la enfermedad, la subjetividad que existe en la interpretación de las pruebas de memoria, la alta dependencia de los exámenes clínicos costosos y difíciles de poder realizar (Cabrera, 2022). A pesar del progreso en la medicina y en el estudio del cerebro, la detección precoz de la enfermedad de Alzheimer sigue siendo un reto importante para muchas instituciones de salud, en especial para los hospitales regionales en donde están muy limitados los recursos para actividades diagnósticas especializadas. Uno de los mayores inconvenientes es la variabilidad de la aparición y presentación de los síntomas en las etapas tempranas de la enfermedad. Algunos pacientes pueden tener pérdida de memoria episódica, otros tienen problemas para realizar actividades de la vida diaria, y un tercer grupo muestra sutiles cambios en su comportamiento o en su humor. (Cervera, 2024).

La razón fundamental por la que se aborda esta investigación es la necesidad de impactar tecnológicamente en el área de medicina, creando una herramienta que permita apoyar el diagnóstico de una de las enfermedades con mayor crecimiento en los últimos años, y que más retos ha planteado al campo médico. En los últimos años, los métodos de inteligencia artificial se han revelado como potentes herramientas para analizar datos clínicos y encontrar patrones relacionados con enfermedades neurodegenerativas. Estas herramientas pueden ayudar a los profesionales de la salud a detectar enfermedades de manera temprana. Sin embargo, a pesar de la creciente influencia tecnológica en toda el área de conocimiento, y los avances que se documentan en el sector de la salud, hay una separación significativa entre el desarrollo de estas soluciones y la aplicación real en entornos de atención primaria.

1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera el desarrollo de un software basado en técnicas de inteligencia artificial puede apoyar la detección temprana del Alzheimer en el Hospital Local de Aguachica E.S.E., Cesar?

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la variedad de los planes de prevención hacia el Alzheimer son diversos y existen numerosos estudios al respecto con la finalidad de reducir las tasas de crecimiento de dicha enfermedad (Aguilar, 2020). De igual manera, Ingino (2019), expresa que la inteligencia artificial ha sido una innovación que ha cambiado el mundo de la salud y la medicina y más concretamente del campo de la investigación, la IA puede ofrecer soluciones algorítmicas sobre cuestiones clínicas para la ayuda del diagnóstico, pronóstico y tratamiento de las personas en cuestión; además también es posible el reconocimiento por medio de software de patrones visuales en el campo de la interpretación de imágenes.

La inteligencia artificial (IA) ya empieza a ser vista como una forma de ayudar a disminuir la carga de trabajo del personal de la salud donde revoluciona la manera en se pueda realizar un diagnóstico y tratamiento médico. Esta puede convertirse en lo que se necesita para lograr resultados clínicos más rápidos, brindar servicios médicos donde no se cuenta con especialistas y de esta manera apoyar en los procesos para tener calidad en la atención hospitalaria en sectores vulnerables (Pulgarín y Valencia, 2020).

En la actualidad, la identificación temprana sigue siendo uno de los aspectos más prometedores para la mejora en el tratamiento y el manejo del Alzheimer (Cid, 2024). De esta manera, Duque y León (2024) expresan que el diagnóstico temprano permitiría a pacientes recibir terapias farmacológicas y no farmacológicas en fases

más precoces de la enfermedad y, con ello, intentar frenar su progreso y mejorar así su calidad de vida. Cabe destacar que el software desarrollado podría permitir a los profesionales de la salud basar sus decisiones clínicas en datos objetivos y auditables, derivados de los patrones reconocidos por los algoritmos de inteligencia artificial, lo cual logra contribuir a una mayor precisión del diagnóstico.

Por otra parte, Firvida (2024), expresa que la implementación de técnicas de IA en el diagnóstico temprano del Alzheimer puede resultar ventajosa para superar limitantes en los métodos tradicionales. Este podría encontrar, valorar y analizar datos más rápidamente y de forma más precisa que los métodos humanos, lo que podría resultar en diagnósticos más veloces y con menos posibilidades de error. Asimismo, Gallego-Londoño et al. (2024), destaca que los modelos de aprendizaje automático logran localizar patrones en los datos no evidentes para los médicos, lo que ayuda a identificar signos tempranos de la enfermedad antes de que se presenten de forma obvia. Esto no sólo haría que el diagnóstico sea más certero, sino que también apoya a que el proceso sea más accesible, sobre todo en áreas con pocos recursos.

Puede ser utilizada para analizar los datos de las pruebas cognitivas y neuropsicológicas, que evalúan el rendimiento de un paciente en habilidades tales como la memoria, el lenguaje y la resolución de problemas de forma aislada (Higuera, 2025). Los modelos de IA pueden descubrir patrones en esos resultados que podrían sugerir un deterioro cognitivo precoz, incluso antes de que se presente de manera clínica. Por otra parte, León et al. (2024) expresan que también pueden las técnicas de procesamiento del lenguaje natural (Natural Language Processing – NLP), analizar el lenguaje hablado y escrito de los pacientes para conocer signos tempranos de Alzheimer, como la dificultad para encontrar palabras o la construcción de frases coherentes.

Sin embargo, Maya (2024) comenta que uno de los principales retos en la aplicación de IA aplicada a la detección precoz del Alzheimer es la cantidad y calidad de los datos a los que tiene acceso. Estos modelos no son muy efectivos si no tienen acceso a grandes cantidades de datos etiquetados de buena calidad, de forma que tenemos que contar con una amplia y representativa base de datos de pacientes con Alzheimer en diferentes etapas de la enfermedad. Por otra parte, Pezzini (2024), explica que la falta de acceso a datos, sumado a la falta de confianza que provoca el hecho de trabajar con datos médicos, puede dificultar la implementación de IA en este sector.

En cuanto al impacto social, este software puede contribuir a disminuir la brecha en la detección temprana de estas enfermedades en regiones de bajos recursos, ya que allí las pruebas clínicas especializadas son poco accesibles y muy costosas. Además, al automatizar el proceso de evaluación, se optimizan los tiempos de procesamiento y la carga laboral de los profesionales de la salud. La propuesta presentada constituye una solución tecnológica rápida y económica para detectar las etapas iniciales del Alzheimer y que ofrece un soporte objetivo, basado en inteligencia artificial, para la toma de decisiones clínicas sin sustituir el criterio médico.

Por otro lado, la importancia de la investigación de este tema obedece a la necesidad de proponer alternativas para la lucha contra el diagnóstico tardío de enfermedades neurodegenerativas. El Alzheimer es una patología que progresa y destruye la memoria, el pensamiento, la forma de comportarse y la habilidad para llevar a cabo las actividades cotidianas del paciente. El desarrollo de esta enfermedad es generalmente aparente durante las primeras etapas, pero la detección temprana es imposible sin sistemas claros de observación, análisis y monitoreo. Además, los indicios iniciales se asemejan a las transformaciones fundamentales del envejecimiento o a otros problemas, de modo que pueden ser

fácilmente erróneos. Como consecuencia, el diagnóstico se ve retrasado y la intervención médica también.

En este contexto, resulta relevante, ya que permite agregar capacidades de procesamiento automatizado de datos clínicos, cognitivos o conductuales, facilitando la identificación de patrones asociados con el deterioro cognitivo temprano. Donde Alam y Latifi (2025) expresan que la inteligencia artificial se entiende como un grupo de técnicas que pueden simular cualquier proceso de razonamiento, clasificación y aprendizaje utilizando datos; y así demostrar un excelente potencial en la medicina. Aplicado a la práctica hospitalaria, Kiss (2024) explica que puede ayudar a acelerar los procedimientos, mejorar el flujo de información, apoyar la toma de decisiones clínicas y mejorar la precisión de estas decisiones respecto al diagnóstico de enfermedades y condiciones complejas.

Sin embargo, en la articulación de la investigación y uno de los aportes teóricos, está la integración de conceptos provenientes de diversas áreas del conocimiento en una propuesta coherente alrededor de la cual se puede trabajar en un problema específico. En primer lugar, se encuentran fundamentos entorno al desarrollo de software, al análisis de requerimientos, al procesamiento de datos y, por ende, al modelado computacional. En segundo lugar, se encuentran elementos que están relacionados con el Alzheimer como enfermedad neurodegenerativa, su comportamiento progresivo, la necesidad de la detección temprana y la restricción de actividades para la persona con la enfermedad, así como el apoyo en su atención clínica. Ambos ámbitos de conocimiento al ser articulados enriquecen el campo investigativo en términos de las potenciales aplicaciones de los enfoques tecnológicos con las reales necesidades del sector salud.

Asimismo, la investigación realiza una contribución teórica en torno a la oferta del papel de los sistemas de inteligencia artificial, en calidad de herramienta de apoyo a la decisión, en contextos hospitalarios. Alejado de una comprensión básica de

motores automatizados, el abordaje académico considera algoritmos fidedignos que permiten interpretar patrones, transformar data en información y colaborar activamente en el ejercicio asistencial.

Desde el punto de vista práctico, la investigación también se justifica en tanto propone el desarrollo de un software que podría convertirse en una herramienta de apoyo útil y funcional para el Hospital Local de Aguachica E.S.E., Cesar, en el abordaje de la enfermedad de Alzheimer en sus primeras etapas. En el campo de la salud, una de las dificultades más importantes que presenta esta enfermedad es la incapacidad de identificarla en etapas tempranas, ya que sus síntomas se confunden con aspectos propios del envejecimiento normal o de otros trastornos cognitivos. Tal situación retrasa la oportunidad de valoración clínica, dificulta la intervención temprana y reduce la aplicación de medidas preventivas o de acompañamiento en el paciente.

En cuanto a la perspectiva metodológica, la investigación es justificada entorno a la elección de la metodología que ayude a utilizar un modelo estructurado en el ámbito del CRISP-DM: (Cross Industry Standard Process for Data Mining). La metodología ha sido seleccionada de manera adecuada, ya que la investigación implica la implementación y el tratamiento de los datos, el análisis de la información clínica obtenida y el desarrollo del software con soporte de funcionalidades predictivas o clasificadoras, lo que corresponde a un enfoque organizado, técnico e iterativo.

El uso de CRISP-DM ordena la investigación en fases claras: comprensión del negocio, comprensión de los datos, preparación de los datos, modelado, evaluación e implementación. Esta es más adecuada para el estudio debido a que llevar a cabo el entrenamiento de modelos de inteligencias no se reduce solamente a la programación y ejecución de instrucciones. Se debe considerar la comprensión del problema institucional, la calidad de los datos disponibles, la validación de resultados y la aplicación final del conocimiento generado.

En ese sentido, cualquier acción con el fin de aumentar la capacidad de detección precoz de los primeros signos de Alzheimer tiene un gran valor social. Al detectar de forma temprana signos de deterioro cognitivo, el software puede suministrar a los médicos un soporte objetivo para la toma de decisiones clínicas, apoyando la definición de conductas terapéuticas y la recomendación de medidas preventivas. De esta manera, la herramienta de apoyo propuesta permite mejorar la eficiencia de la atención y disminuir las barreras tecnológicas en el entorno de atención primaria.

Ante esta situación, el software propuesto se establece como una alternativa para apoyar la capacidad del Hospital Local de Aguachica E.S.E. de abordar de manera más eficiente esta necesidad. Si se implementa un sistema que pueda recopilar, organizar, procesar y analizar información sobre determinados aspectos de los pacientes, el personal de salud podría disponer de una fórmula adicional que simplifique la identificación de alertas tempranas de posibles casos sospechosos. Por supuesto, esto no significa tomar la decisión médica ni realizar el diagnóstico de forma automática, sino más bien, un asistente que facilite la posibilidad de evaluar oportunamente los aspectos clínicos relacionados. En otras palabras, una herramienta como la propuesta no actuaría como un criterio médico, sino como un auxiliar de este, evitando de este modo la dependencia de procesos manuales y ofreciendo datos que son obvios y variables.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar un software para el apoyo en la detección temprana de Alzheimer aplicando técnicas de inteligencia artificial para el hospital local de Aguachica E.S.E, Cesar.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Seleccionar datos clínicos de imagen relacionados con el Alzheimer (Resonancias magnéticas), aptos para su análisis mediante técnicas de inteligencia artificial.
- Emplear Vision Transformers (SigLIP 2) para analizar las imágenes cerebrales, con el fin de obtener patrones tempranos de atrofia cerebral u otras anomalías asociadas al Alzheimer.
- Construir una interfaz que permita a los profesionales de la salud cargar los datos de los pacientes y obtener predicciones sobre la probabilidad de Alzheimer, contribuyendo a un diagnóstico accesible para los médicos.
- Validar el software desarrollado mediante pruebas unitarias, de integración, funcionales y de usabilidad, a fin de comprobar su correcto desempeño, la confiabilidad de sus resultados y su adecuación al contexto clínico.

1. 4 DELIMITACIÓN

1.4.1 TEMPORAL

La temporalidad en la que se desarrollará el proyecto será de seis meses a partir de la aprobación del Formato 2, período en el que se definirán formalmente los lineamientos académicos y metodológicos de la propuesta de trabajo de grado. Dicho periodo se establece con el fin de realizar de manera sistematizada las etapas de análisis, diseño, desarrollo, implementación y validación de un software enfocado en proveer herramientas para la detección temprana de Alzheimer, utilizando las técnicas brindadas por la inteligencia artificial a partir de imágenes de resonancias magnéticas cerebrales.

Este tiempo determinado permitirá el avance progresivo en el logro de los objetivos específicos planteados, entre los que se incluyen la recopilación y análisis de datos clínicos sobre imagen, la utilización del aprendizaje profundo con modelos Vision Transformers para identificación de patrones asociados con la enfermedad, la construcción de una interfaz funcional para el usuario final y la realización de pruebas de software en vista de garantizar su funcionamiento.

1.4.2 ESPACIAL

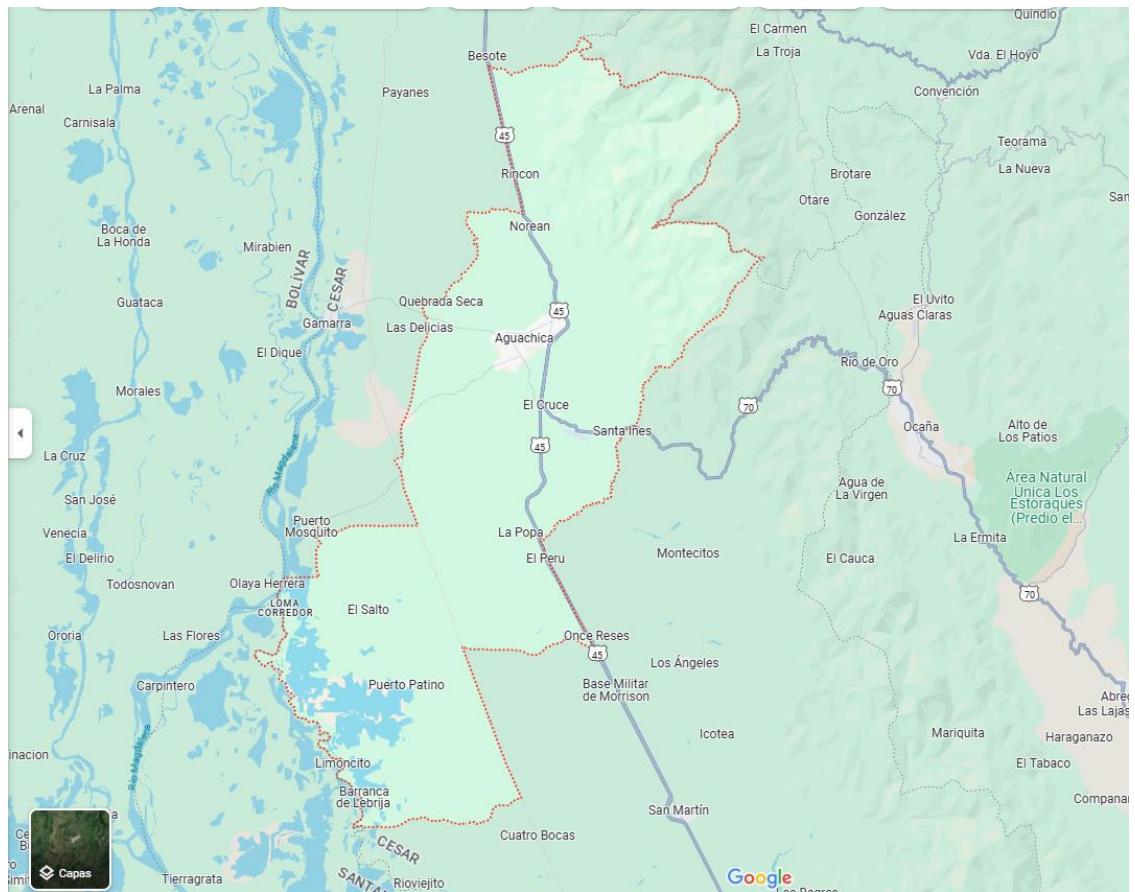
En cuanto a la delimitación espacial, el proyecto se desarrollará en el Hospital Local de Aguachica E.S.E., institución cuya dirección es Carrera 7 No. 2-160, barrio Barahoja, municipio de Aguachica, Cesar. El espacio institucional mencionado arriba es el dominio en el cual se aborda la investigación, para el cual se definen actividades relacionadas con un análisis de la problemática, establecimiento de requerimientos, diseño, desarrollo y validación del software de apoyo a la detección temprana del Alzheimer utilizando técnicas de inteligencia artificial. La delimitación espacial permite considerar el fenómeno estudiado dentro de un entorno real de atención médica, lo que facilita no solo la comprensión de las necesidades clínicas

y operativas de la institución sino también la compaginación del sistema con los procesos del médico.

1.4.3 CONTEXTUAL

Aguachica es uno de los veinticinco municipios existentes en Cesar, Colombia. En 2023, Aguachica contaba con 126,377 habitantes, de los que 64,663 son mujeres (51.2%) y 61,714 son hombres (48.8%), de acuerdo con las proyecciones logradas por el DANE. Les habitantes de Aguachica representaban el 9.2% de la población total de Cesar en 2023. Aguachica sería el segundo municipio más poblado del departamento de Cesar (Telencuestas, 2023).

Figura 4. Ubicación de Aguachica, Cesar



Fuente: tomado de Google maps.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO HISTORICO

En este marco, se mostrarán diferentes antecedentes de la detección temprana del Alzheimer, a nivel internacional, a nivel nacional, y también nivel local o regional. Se presentará un análisis de los antecedentes para contextualizar la importancia e impacto de este tipo de investigaciones; y por otra parte el propio de identificación de las brechas y avances de la incorporación de tecnología de inteligencia artificial para el diagnóstico de la enfermedad.

2.1.1 INTERNACIONALES

A escala internacional, diferentes investigaciones y proyectos han sido desarrollados en las últimas décadas, con el propósito de incrementar la detección precoz del Alzheimer utilizando inteligencia artificial.

Título: Herramienta bioelectroanalíticas de vanguardia para detectar enfermedades autoinmunes, neurodegenerativas y cáncer

Autores: Arévalo Pérez Beatriz

Universidad: Universidad Complutense de Madrid, España

Año: 2024

Resumen: El objetivo del proyecto consistió en el diseño, desarrollo e implementación de bioplataformas electroquímicas avanzadas para la determinación rápida, sensible y selectiva de biomarcadores de interés clínico. Estas están enfocadas en el diagnóstico y seguimiento de enfermedades crónicas como el lupus eritematoso sistémico (LES), el cáncer colorrectal (CCR) y las enfermedades neurodegenerativas. La investigación planteó superar las limitaciones de los métodos actuales, presentando alternativas más asequibles, rápidas y económicas adecuables para el punto de atención, ayudando así a la medicina personalizada y al diagnóstico temprano.

La investigación que se presenta hace uso de un enfoque experimental y aplicado a partir de un diseño de investigación descriptivo y experimental; en concreto, la investigación se centra en el desarrollo y la optimización de bioplataformas electroquímicas para la detección de biomarcadores como BAFF y APRIL en suero humano, que permitan el diagnóstico de diversas enfermedades. Desde esta segunda vertiente, la investigación se ha ocupado de la comparación de la precisión y efectividad de estas nuevas plataformas con el uso de técnicas de diagnóstico convencionales como ELISA. El tipo de investigación, por tanto, es principalmente aplicada, dado que su fin último es la creación de herramientas de diagnóstico aplicables en un contexto clínico (Arévalo, 2024).

Título: Componentes de Visualización analítica para su uso en contextos de Detección Temprana de Demencia

Autores: Cid Costa, Rubén

Universidad: Universidad Politécnica de Madrid, España

Año: 2024

Resumen: El objetivo del proyecto recogido en este mismo documento es el diseño y desarrollo de un editor visual flexible y sencillo que permita la explotación, análisis y manipulación de conjuntos de datos médicos con múltiples atributos jerárquicos. Dicho editor tiene como meta lograr que los usuarios (investigadores, científicos, especialistas, etc.) sean capaces de crear o modificar agregaciones de atributos, mejorando la comprensión del análisis visual que se puede leer y "democratizando" el análisis de datos con gran dimensionalidad, es decir, haciéndolo más accesible y representado gráficamente de una manera más intuitiva y sencilla, conservando al mismo tiempo la cantidad de información que procesan. El diseño de esa herramienta está orientado a la simplicidad y flexibilidad del análisis visual, que permite la detección de patrones y relaciones entre los datos en entornos de análisis como la detección de demencias en etapas iniciales.

La investigación elegida es de tipo aplicada y experimental de desarrollo, en el sentido de que se orienta hacia el desarrollo de una herramienta práctica para

resolver un problema específico, en este caso, la visualización y el análisis de grandes volúmenes de datos médicos; se fundamenta, por otra parte, en la implementación de métodos interactivos de visualización y reducción de la dimensión, métodos que se aplican a esos tipos de datos médicos complejos, y tiene una acentuada orientación hacia la construcción de una solución tecnológica que puede ser usada directamente por los operadores del área de salud (Cid, 2024).

Título: Detección automática de anomalías cerebro vascular a través de resonancia magnética aplicando métodos de análisis avanzados con inteligencia artificial en pacientes no diagnosticados

Autores: Robles Bravo Leonardo Ismael

Universidad: Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador

Año: 2024

Resumen: El propósito principal de la investigación planteada es diseñar un sistema automático orientado a la identificación de anomalías cerebrovasculares a partir del análisis de estudios por resonancia magnética (RM), para la cual se utilizarán técnicas avanzadas de análisis basadas en inteligencia artificial (IA). El objetivo del desarrollo de este sistema es aumentar la precisión y rapidez en el diagnóstico de anomalías como aneurismas, accidentes cerebrovasculares y malformaciones arteriovenosas en aquellos pacientes no diagnosticados, de forma que se pueda facilitar la detección precoz de las alteraciones cerebrovasculares y disminuir la dependencia de la interpretación subjetiva que hacen los radiólogos.

La investigación se realiza aplicando un estudio cuantitativo y una metodología experimental con el propósito de diseñar, entrenar y evaluar un modelo de inteligencia artificial que permita detectar anomalías en las imágenes de resonancia magnética en caso de accidentes cerebrovasculares. La investigación es un estudio de desarrollo tecnológico experimental que desarrolla y prueba un sistema automatizado para la detección de anomalías en imágenes médicas con la ayuda de un sistema de redes neuronales convolucional (CNN), por lo que se busca

evaluar el sistema desarrollado frente a los métodos de diagnóstico ya existentes (Robles, 2024).

Título: Implementación de un modelo de clasificación y detección de tumores cerebrales en imágenes de RM, basado en técnicas de ciencia de datos

Autores: Jeronimo Canahuiri Ayerbe, Jackson M'Coy Romero Plasencia y Iván Velasquez Quintanilla

Universidad: Universidad Continental, Perú

Año: 2025

Resumen: El objetivo principal de la investigación fue desarrollar un modelo basado en técnicas de “ciencia de datos”, específicamente “aprendizaje profundo” para mejorar la clasificación y detección de tumores cerebrales en imágenes de resonancia magnética. El propósito era mejorar la exactitud del diagnóstico, reducir los tiempos de análisis y ayudar a los indicadores principales de la salud a descubrir los tumores antes. Específicamente, la investigación tuvo la finalidad de producir un modelo máquina automatizado que sería capaz de clasificar las imágenes en imágenes con tumor y son tumor con altos grados de precisión. A esto lo siguiente de ayudar con el proceso de diagnóstico basado en la imagen, especialmente en el contexto clínico donde los recursos de salud son limitados.

En cuanto al tipo de investigación, fue cuantitativa con un alcance explicativo y un diseño no experimental y transaccional. La metodología específica siguió el proceso de recolección, preprocesamiento y análisis de las bases de datos de imágenes de resonancia magnética. Al inicio del proyecto, dos bases de datos públicas se utilizaron: una base de 253 imágenes, con 98 casos de imágenes no tumorales y 155 tumores, y otra base de 2747 imágenes. Estas bases se emplearon para respectivamente, construir y validar los modelos de aprendizaje. Se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo de las bases de datos, que describió las imágenes en términos de tamaño y distribución de casos (Canahuiri et al., 2025).

En relación con la implementación del modelo, se ocupó la combinación de marcos de aprendizaje y “aprendizaje profundo”. Se usaron arquitecturas con “convolutional neural networks” como “pre-trained” modelos DensetNet121 y VGG16 también se emplearon “data augmentation” para aumentar la diversidad y la robustez de los conjuntos. Adicionalmente, se realizó un proceso de entrenamiento de validación cruzada para ajustar los parámetros y evitar el sobreajuste. Los experimentos con aprendizaje profundo obtuvieron una precisión del 93.75% en las muestras pequeñas y 96% en la muestra mayor, que superó significativamente la precisión de los métodos clásicos de “machine learning”, que llegaron hasta un 87.5% de precisión (Canahuiri et al., 2025).

Título: Desarrollo de un sistema de visión artificial para la detección temprana del Alzheimer en un Hospital de tercer Nivel en Guayaquil

Autores: Luis Angel Chalco Guaraca y Milena Rosa Flores Peralta

Universidad: Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador

Año: 2025

Resumen: La presente investigación se planteó por el creciente aumento de la prevalencia de esta enfermedad neurodegenerativa, la alta frecuencia de diagnósticos tardíos y el escaso desarrollo de tecnologías emergentes integradas en el devenir del sistema de salud de la nación. Se estableció como objetivo principal el diseño y validación de una herramienta de inteligencia artificial, la cual, mediante el procesamiento de imágenes médicas de resonancia magnética, permitiera identificar patrones iniciales de atrofia cerebral asociados a la enfermedad de Alzheimer, permitiendo así un diagnóstico temprano y exacto.

El enfoque de la investigación fue cuanti-analítico, con un diseño experimental cuasi-experimental que permitió evaluar el modelo bajo condiciones similares a entornos clínicos reales. Se llevó a cabo una metodología de aplicación estructurada en las fases de recopilación y preparación de datos, segmentación anatómica por modelos U-Net, extracción de características anatómicas, así como el

entrenamiento y validación de redes neuronales convolucionales mediante la implementación de enfoques basados en tareas múltiples para la detección y clasificación de áreas afectadas de atrofia cerebral (Chalco y Flores, 2025).

Los datos principales se extrajeron de un conjunto de imágenes público en la plataforma Kaggle, el cual contenía alrededor de 6,400 imágenes de MRI etiquetadas en distintas categorías clínicas, junto con segmentaciones automatizadas que favorecieron la clasificación. Los modelos de arquitectura fueron desarrollados en Python, utilizando bibliotecas como TensorFlow, Keras y Flask. Entre los principales hallazgos, se demostró que el modelo logró un fuerte desempeño en la tarea principal de diagnóstico, con una precisión superior al 95% en conjuntos de prueba y validación, una exactitud promedio del 95% y un área sobre la curva de puntuación de 0.97. Dichas métricas indican la capacidad del modelo de clasificar de manera confiable diversos grados de deterioro, aunque se observó menor sensibilidad en la categoría de deterioro muy leve, probablemente por falta de soporte de muestras (Chalco y Flores, 2025).

Título: Análisis de exámenes del lenguaje para la detección temprana de Alzheimer: Un enfoque de Aprendizaje Automático

Autores: Brandon Alejandro Llaca Sánchez

Universidad: Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Año: 2025

Resumen: El objetivo principal de esta investigación fue desarrollar un modelo de aprendizaje profundo basado en embeddings de oraciones para analizar exámenes del lenguaje y detectar indicios de Alzheimer en pacientes hispanohablantes. El problema central fue la necesidad de desarrollar metodologías automatizadas, precisas y extensibles para la detección temprana de la demencia, especialmente en español, ya que las soluciones existentes actualmente estaban desarrolladas para el inglés o los procesos tradicionales de evaluación manual eran difíciles y difíciles. precisamente.

El estudio tuvo un carácter comparativo y experimental, con un enfoque en la evaluación y comparación de enfoques de representaciones vectoriales para el lenguaje, incluido Tf-Idf, GloVe, BERT y modelos de última generación como Linq-Embed-Mistral y Gemma. La metodología de la investigación incluyó el desarrollo de una base de datos creada a partir de archivos de audio y transcripciones de exámenes de lenguaje, realizada a pacientes diagnosticados con Alzheimer, indicadores de deterioro cognitivo y controles saludables. La obtención de los datos se basó en la interacción con especialistas en geriatría y neurodesarrollo que realizaron una evaluación estructurada basada en preguntas de datos sociodemográficos, descripción de imágenes y la evaluación cognitiva MoCA (Llaca, 2025).

La investigación confirmó que el enfoque Tf-Idf de manera inesperada tuvo un rendimiento comparable e incluso más alto en algunos casos que los modelos de última generación, como Linq-Embed-Mistral y Gemma. El análisis estadístico mostró el alto grado de significado de las técnicas de análisis de frecuencia y palabras clave para la detección de la demencia, ya que el significado y el contexto de las representaciones no demostraron ser más efectivos que los enfoques simples. Las conclusiones mostraron que la técnica más efectiva fue Tf-Idf, que se demostró de manera sorprendente ser comparable a los modelos de lenguaje profundo en la detección de indicios de Alzheimer, facilitando su incorporación en aplicaciones móviles y sistemas de diagnóstico accesibles económicamente (Llaca, 2025).

2.1.2 NACIONALES

Título: Algoritmo de detección temprana para la enfermedad del Alzheimer utilizando aprendizaje autónomo.

Autores: Jorge Eduardo Aguilar Obregón

Universidad: Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Año: 2024

Resumen: La motivación de la investigación fue ayudar a facilitar un diagnóstico temprano de la enfermedad a través de herramientas tecnológicas que contribuyen a la salud pública y a una alta calidad de vida para las personas afectadas. El objetivo fue utilizar técnicas de Machine Learning para analizar los efectos de los parámetros psicológicos y biomédicos que ocurrían antes de presentar los síntomas clínicos conocidos de la enfermedad para identificar casos tempranos rápidos. Además, la investigación de este estudio fue aplicada, y fue para generar un producto tecnológico finalmente, derivado de la integración de la ingeniería de sistemas, la ciencia de datos y la medicina.

La metodología resultó en varias fases; primero, se recopiló y categorizó la información útil relacionada la condición fisiológica y los precedentes médicos. Después, se aplicó sobre la información recabada la técnica de Machine Learning más adecuada teniendo en cuenta la naturaleza y la cantidad de datos recogidos y se utilizó para la clasificación, varias técnicas como, por ejemplo, neuronas y redes bayesianas y bosques aleatorios. Los resultados alcanzados fueron bastante buenos. Con una eficiencia de hasta el 90% de los casos en las primeras etapas, el algoritmo se constituyó como una herramienta no invasiva y fácil de usar y basada únicamente en antecedentes médicos y recolección de información del sujeto, sin información definitivamente costosa o invasiva (Aguilar, 2020).

También se realizó una validación cruzada con bases de datos reales, lo que confirmó la precisión y validez de los resultados. Asimismo, se afirmó que la elección correcta y efectiva de modelos bayesianos y redes neuronales fue útil para recopilar y analizar la información y clasificar los casos reales en una etapa temprana del proceso. Los autores concluyeron que su modelo puede ser utilizado como una herramienta para la detección precoz de la enfermedad y puede se utilice inmediatamente durante las etapas iniciales cuando la intervención pueda ser más

efectiva. Además, el aprendizaje de la máquina permite que el sistema sea más preciso con más información y entrenamiento continuo (Aguilar, 2020).

Título: Evaluación de la precisión y automatización de técnicas de machine learning en la predicción de enfermedades mediante imágenes médicas

Autores: Higuera González Iván Darío

Universidad: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Año: 2025

Resumen: El principal objetivo de este proyecto consiste en diseñar un sistema que permita realizar diagnósticos más rápidos y precisos para detectar tal enfermedad desde sus primeras etapas mediante el procesamiento de imágenes médicas y datos clínicos que usen modelos avanzados de inteligencia artificial con técnicas de redes neuronales. El tipo de investigación que se ha tomado para este trabajo es una investigación de tipo cuantitativa y una investigación exploratoria, ya que busca crear un nuevo sistema a partir de la generación de grandes volúmenes de datos y el desarrollo de una herramienta computacional. Se utiliza el enfoque experimental con el fin de implementar la tecnología de inteligencia artificial para mejorar la precisión diagnóstica, y se usa herramientas estadísticas y herramientas de machine learning para procesar todos los datos.

Los resultados del análisis del proyecto muestran que el modelo de inteligencia artificial aplicado era capaz de encontrar patrones complejos en los datos médicos, que de otra manera no se podrían obtener si el análisis se hiciera manualmente. Se realizó una validación cruzada del modelo, en la cual se pudo comprobar que el sistema alcanzaba alta precisión en la detección precoz de Alzheimer, con sensibilidades y especificidades superiores al 85% en relación con los métodos tradicionales de diagnóstico. Se concluyó que el sistema tiene potencial para reducir el tiempo de diagnóstico, como así también aumentar la accesibilidad al diagnóstico para pacientes que se encuentran en lugares alejados (Higuera, 2024).

Título: Descripción de las herramientas de inteligencia artificial, Deep Learning y Machine Learning empleadas en el aprendizaje del diagnóstico: Un nuevo enfoque en desarrollo de la valoración de signos y síntomas desde una revisión sistemática.

Autores: Duque Ortíz Jesús David y León Chávez Ángel Fabian

Universidad: Universidad El Bosque

Año: 2024

Resumen: El presente proyecto se sustenta en un trabajo de revisión sistemática cuyo objetivo radica en describir los diferentes modelos de inteligencia artificial, en concreto Deep Learning y Machine Learning, utilizados en la enseñanza de la medicina del diagnóstico, tomando como enfoque la evaluación de signos y síntomas para el diagnóstico de enfermedades. Luego de un proceso de selección, se trabajaron 19 artículos, en donde se logra reconocer la alta precisión diagnóstica de los modelos de inteligencia artificial, por encima del 80% y llegando hasta el 99%, en los cuales la técnica de uso frecuente fue la regresión logística y la estadística bayesiana.

Los resultados también sugieren que, si bien la inteligencia artificial amplia el alcance de los datos y los recursos para el análisis y desarrollo de algoritmos aplicados a situaciones complejas, no se busca reemplazar la participación humana, sino su complemento a través del desarrollo de programas académicos que fortalezcan habilidades clínicas y humanísticas. No obstante, estos desarrollos deben considerar futuras investigaciones para garantizar la validez interna y externa de los modelos diseñados, reducir el sesgo y aumentar la consistencia en los análisis debido a que varios estudios presentaban limitaciones en la reproducción del análisis y en la calidad de la evidencia. Los autores concluyen, que al culminar este trabajo de investigación la incorporación de modelos de inteligencia artificial en la enseñanza bajo una visión pedagógica y curricular que permita una mayor formalidad de estas áreas antes discutidas.

Título: Aplicación de las tecnologías de localización para la seguridad de personas con Alzheimer en Colombia

Autores: Bohórquez Rodríguez Betsy Carolina y Romero Chingaté Ana María

Universidad: Universidad Abierta y a Distancia UNAD

Año: 2025

Resumen: El presente trabajo tiene por objetivo analizar en qué medida dispositivos como pulseras con GPS, sensores IoT, etiquetas RFID, aplicaciones móviles y uso de la inteligencia artificial dan mayor autonomía a los pacientes, alivio a sus cuidadores en términos emocionales y mejoran la calidad de vida de los primeros y la de sus familias. Esta investigación se enmarca en un enfoque mixto, de tipo analítico y descriptivo con predominio del cualitativo, partiendo de la revisión documental de literatura científica actualizada en cuanto a tecnologías emergentes en el campo del cuidado a la persona con pérdida cognitiva.

De los principales hallazgos, se destaca el impacto significativamente positivo que las tecnologías de localización han tenido en el monitoreo y la facilitación de encontrar a los pacientes con Alzheimer. Además, han permitido respuestas de emergencia rápidas y oportunas. Sin embargo, también se presentaron varios desafíos, como la accesibilidad en las áreas rurales con red móvil escasa. En particular, muchas áreas rurales aún carecen de buena cobertura de red y no es lo suficientemente útil para rastrear a las personas con Alzheimer. Los desafíos económicos y de analfabetismo digital asociados con algunos cuidadores también fueron notables. Además, el estudio destaca la importancia de la cooperación y la colaboración entre los proveedores de atención médica, los desarrolladores de tecnología y las instituciones gubernamentales. En última instancia, el estudio argumenta que es importante que la investigación y las políticas futuras continúen fomentando el uso de tecnologías de localización para contribuir a una sociedad segura y menos estresante para las personas con Alzheimer y sus cuidadores.

Título: Evaluación del Impacto de la inteligencia artificial en la precisión Diagnóstica: Aplicaciones y desafíos en la resonancia magnética

Autores: Abella Muñoz Herlim Fabio

Universidad: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Año: 2024

Resumen: Este es un documento de investigación que sintetiza ocho estudios científicos actuales dedicados al uso de la inteligencia artificial en resonancia magnética. Se centra en aspectos de tecnología, calidad de diagnóstico, aceleración de la adquisición de imágenes y limitaciones. La metodología del estudio es cualitativa descriptiva. Los aspectos de interés se identificaron sobre la base del análisis consciente y sistemático de los materiales de la literatura especial. El periodo del análisis abarca los últimos cinco años, desde 2017. La base de datos para la búsqueda era Scielo y Google Scholar.

Los resultados obtenidos señalan que la IA, particularmente a través de las herramientas del aprendizaje automático y las redes neuronales, ha logrado incrementar la precisión en el diagnóstico y ha contribuido a reducir errores y tiempos de adquisición y procesamiento de imágenes en la RM; asimismo, su inclusión en los componentes hardware y software de los equipos ha permitido mejorar la calidad de las imágenes y su archivo y difusión en red de alcance mundial. Sin embargo, se observan también retos y limitantes asociados a la aplicación tecnológica y especializada de la información obtenida.

Título: La inteligencia artificial (IA) aplicada en la radiología para la detección temprana de patologías

Autores: Enlly Yurley Gallego Piña, Jhon J. Luna Martínez, Johan Alexander Sierra Bedoya, Rafael Chiquillo Yepes y Yairis Janeth Cogollo López

Universidad: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Año: 2025

Resumen: el objetivo central de la investigación fue analizar la influencia de la inteligencia artificial en la radiología diagnóstica: optimización de los parámetros de adquisición de imágenes, detección temprana de patologías y mayor seguridad del diagnóstico médico. Esto se manifestó en la forma de cómo los algoritmos de IA podían ser integrados para reducir el error humano, mejorar la precisión y permitir procesos más eficientes en los departamentos de radiología. De acuerdo con esto, se utilizó el enfoque cualitativo a través de una revisión bibliométrica sistemática para recopilar y analizar información de diversas bases de datos científicas y académicas en un rango de tiempo entre 2018 y 2024.

La metodología de investigación fue de carácter documental mediante un enfoque descriptivo-recopilatorio y analítico. Establecí técnicas de revisión bibliométrica utilizando matrices de revisión y análisis de contenido que me permitieron encontrar elementos comunes entre las fuentes utilizadas para identificar las principales aplicaciones, desafíos y beneficios de los algoritmos de IA aplicados en la radiología. La muestra se basó en artículos recientes y relevantes que cumplieran con los aspectos de acceso abierto y pertinencia al tema. La técnica de análisis fue la triangulación teórica y el contraste de resultados. Para destacar los principales resultados de la revisión, se señala que los algoritmos de aprendizaje profundo y las redes neuronales convolucionales permitieron efectuar ajustes automatizados a los parámetros técnicos de adquisición de imágenes, tales como el voltaje, la corriente y el tiempo de exposición (Gallego et al., 2025).

Esto condujo a una reducción significativa de la dosis radiológica sin disminuir la calidad de estas, cumpliendo con el principio ALARA. Asimismo, la IA ofreció niveles de precisión superiores al 90 % en la identificación de nódulos pulmonares, microcalcificaciones, lesiones empleando diferentes algoritmos de IA, superando la sensibilidad y la especificidad humana. En este sentido, la detección de enfermedades en fases iniciales repercutió favorablemente en la clínica médica, facilitando el proceso de toma de decisiones y tratamiento (Gallego et al., 2025).

Entre las conclusiones, se encontró que la IA en radiología servía como un nuevo paradigma, ya que permitió mejorar la calidad de imagen radiológica y optimizar los parámetros técnicos de adquisición de imagen, así como fortalecimiento de la seguridad del paciente. La tecnología englobó la identificación de patologías lo cual corroboró su utilidad en el proceso diagnóstico complementario y en la estructurador de la clínica. Al mismo tiempo, los desafíos enfrentados consisten en la necesidad de construir bases de datos amplias y desapasionadas, seguridad información personal y políticas regulatorias que garanticen ética u transparencia al servicio de algoritmos (Gallego et al., 2025).

Título: Contribuciones de la IA (Inteligencia Artificial) en la mejora de la calidad de imagen en resonancia Magnética (RM)

Autores: Edwin Bolívar Carvajarl, Diego Fernando Echavarría Ospina, María Alejandra Mesa Torres, Juan Manuel Osorio Castañeda y Katherine Vélez Espinosa

Universidad: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Año: 2025

Resumen: El objetivo principal consistió en evaluar cómo los algoritmos basados en IA contribuirían al aumento de la calidad de las imágenes de resonancia magnética y, por consiguiente, a la mejora de la precisión diagnóstica de los radiólogos. Por lo tanto, se discutió una amplia gama de estudios académicos confiables que abordan los aspectos tecnológicos y clínicos del uso de la IA para optimizar la calidad de la imagen en la RM. La metodología de la investigación responde a la naturaleza exploratoria y descriptiva y el enfoque del contenido documental basado en el análisis y la síntesis de estudios previos y artículos científicos.

Se implementó un enfoque de revisión sistemática, combinado con una selección meticulosa de fuentes académicas y tecnológicas relativas a los algoritmos de IA, tecnología de procesamiento de imágenes, efectos de la calidad de la imagen en el descubrimiento de diagnóstico y cuestiones éticas y legales. La recopilación de datos abarcó las investigaciones académicas, las publicaciones especializadas y

los repositorios digitales, incluyendo los datos publicados en los últimos años y relevantes para la investigación. Los resultados demostraron que los algoritmos innovadores de IA, incluyendo las redes neuronales convolucionales, generativas y los modelos de superresolución, podrían eliminar el ruido y los artefactos en las imágenes de RM, mejorar la resolución y precisión de los tejidos blandos y las lesiones (Bolívar et al., 2025).

Además, la IA permitió diagnosticar y clasificar las mismas lesiones y tumores más rápido y con quizás una exactitud mayor que los métodos de calidad inferior. Al respecto, investigaciones adicionales comprobaron que la implementación de la misma IA facilita un diagnóstico precoz y más seguro para el típico desarrollo del cuidado clínico y hospitalario. Con base en las conclusiones de la investigación, es posible afirmar que la implementación de la IA en la práctica RM de hecho aplicó ciertos cambios que fortalecieron significativamente la calidad de las imágenes y, por ende, la naturaleza de los diagnósticos en la atención médica. Los resultados de la investigación indican que estas tecnologías son altamente transformadoras y disruptivas; sin embargo, es crucial que los profesionales utilicen la misma IA de manera ética y responsable. De la misma manera, la capacitación adicional en estos temas para los trabajadores y especialistas en radiación es esencial y necesaria (Bolívar et al., 2025).

Título: Metodologías en el aprendizaje automático para el análisis de imágenes: avances, aplicaciones y perspectivas

Autores: Ana María Arias Ramírez

Universidad: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Año: 2025

Resumen: El objetivo de la presente investigación fue analizar las principales metodologías de aprendizaje automático empleadas en el procesamiento y análisis de imágenes, así como sus desarrollos, aplicación actual y perspectivas futuras. Para cumplir con este propósito, se investigó cómo diferentes modelos y algoritmos

contribuyeron a aumentar el nivel de semántica y categorización de los contenidos visual, así como el impacto de los desarrollos en una serie de campos que van desde la medicina, la agricultura y la seguridad a la industria manufacturera. La investigación utilizó un enfoque metodológico fundamental, descriptivo y analítico. A este respecto, fue realizado un amplio análisis de la literatura existente acerca de los avances en las arquitecturas de redes neuronales, las técnicas de aprendizaje profundo, las redes generativas antagónicas y los transformers de visión.

A continuación, se utilizaron ejemplos de estudio y aplicaciones prácticas en diferentes campos, como la exploración de modelado y de aplicaciones prácticas en la radiología y la patología digital, la explotación agrícola por satélite y DRONES, y la seguridad de sistemas por reconocimiento facial. Por último, se realizó una comparación basada en resultados y rendimiento de los modelos propuestos, utilizando métricas de precisión, velocidad y generalización. Los resultados presentados revelaron que las redes neuronales convulsivas fueron efectivas en las tareas de clasificación, detección y segmentación de objetos. Modelos como AlexNet, ResNet y EfficientNet proporcionaron una gran mejora en la precisión de grandes conjuntos de datos como ImageNet (Arias, 2025).

Los GAN facilitaron la creación y alta resolución de imágenes, lo que permitió utilizar la síntesis de nuevos contenidos y la mejora de la imagen de baja resolución. La resolución de transformadores de visión proporcionó una buena alternativa en comparación con CNN tradicional, lo que puede indicar un cambio de paradigma en el caso de arquitecturas de modelo de visión por computadora. Los resultados obtenidos demostraron las dificultades en la calidad de los datos, el alto consumo de energía y los problemas éticos. Por lo tanto, se concluyó que, aunque estos enfoques de la visión son funcionales, se espera que las investigaciones futuras mejoren la aplicabilidad y disminuyan la cantidad de datos utilizados y fomenten un enfoque ético en la implementación de las tecnologías de la visión por computadora (Arias, 2025).

2.1.3 LOCAL O REGIONAL

Hasta la fecha, no se han diseñado proyectos específicos dedicados al “Desarrollo de un software para la detección temprana de Alzheimer aplicando técnicas de inteligencia artificial”. Si bien hay investigaciones y aplicaciones disponibles en campos relacionados, como el empleo de IA en diagnósticos médicos, no se encuentra ninguna metodología o aplicación en la ciudad de Aguachica que determine el desarrollo de un software dedicado sobre la base de técnicas de inteligencia artificial. Este punto pone de manifiesto la importancia de esta investigación en vista de las posibilidades de una resolución innovadora.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 LA NEURODEGENERACIÓN EN LA ENFERMEDAD DE ALZHEIMER

La teoría de la neurodegeneración para la enfermedad de Alzheimer establece que la EA se caracteriza por un daño neuronal progresivo e irreversible que se manifiesta de forma predominante en áreas cerebrales vinculadas a la memoria, el aprendizaje, la ejecución funcional superior y el pensamiento racional, entre otros. En este sentido, Alzheimer no es solo una afección vinculada a una pérdida gradual de la memoria debido al paso de los años; se trata de un complejo proceso biológico que desencadena cambios estructurales y funcionales en el sistema nervioso central. Evidencia además que la enfermedad evoluciona con el tiempo y que los cambios comienzan a microscópicos anatómicos para luego presentar deterioro cognitivo leve, desorientación, cambios de personalidad y conducta en el paciente y pérdida progresiva de la autorregulación.

Si el Alzheimer implica un proceso neurodegenerativo progresivo en el cerebro, significaría que se puede usar la imagen de resonancia magnética y otras técnicas

de inteligencia artificial para identificar el proceso en sus primeras etapas, antes de que alcance un grado clínico. Al mismo tiempo, esta teoría guiará la investigación, buscando signos estructurales en imágenes cerebrales apropiados para su uso en el software y garantizará una comprensión completa de que la máquina no trabajará con datos completamente arbitrarios, sino con anatomía clínicamente relevante, aun médicamente significativa.

2.2.2 BIOMARCADORES ESTRUCTURALES CEREBRALES

Desde esta perspectiva, la atrofia del hipocampo, la disminución del volumen cortical, la ampliación de ventrículos y otros cambios en la morfología del cerebro pueden ser vistos como señales tempranas de deterioro neurodegenerativo. Los biomarcadores estructurales son relevantes en la práctica debido a que permiten ver el proceso patológico, aunque todavía no haya un resultado fisiopatológico completo de la enfermedad. En el caso del Alzheimer, esta perspectiva es relevante porque la enfermedad implica cambios progresivos en la estructura del cerebro, lo que puede ser rastreado mediante varios estudios de neuroimagen, incluyendo resonancias magnéticas. Así, el análisis estructural es un instrumento importante para rastrear de manera objetiva qué tan dañado ya ha sido el cerebro por el proceso de esta enfermedad.

Por su parte, esta teoría ofrece al campo de la investigación un principio claro en torno a las imágenes de resonancia magnética como principal fuente de datos. Siendo las modificaciones anatómicas pruebas indirectas de la enfermedad, el rol del software desarrollado será principalmente detectar, analizar e interpretar patrones visuales acordes a estos cambios. De la misma forma, la teoría respalda la elección de la fuente de imágenes, ya que las imágenes del cerebro en particular suelen contener estructuras útiles a la hora de clasificar o determinar la probabilidad de aparición de la enfermedad. El proyecto, por lo tanto, es claramente beneficiado por una capa teórica que guíe el diseño del propio software hacia la observación de

ciertas características visuales relevante, en vez de abstraerlo como un sistema de clasificación de imágenes.

2.2.3 DIAGNÓSTICO TEMPRANO Y LA MEDICINA PREVENTIVA

Desde esta visión, el acto diagnóstico no consiste únicamente en identificar enfermedades una vez que ya han avanzado hacia límites indefendibles, sino que debe centrarse en identificar señales tempranas que permitan la acción temprana. Por lo tanto, la teoría está especialmente relacionada con el diagnóstico de enfermedades neurodegenerativas porque, en muchos casos, estas lesiones evolucionan silenciosamente durante la mayor parte de la vida de una persona antes de iniciar los síntomas sintomáticos (Navarro, 2026). Por lo tanto, conectar el diagnóstico con algo es secundaria en la teoría, lo que significa encontrar daño y luego conectarse con los métodos generales de seguimiento y control en las etapas tempranas. Por lo tanto, esta teoría compromete una visión más proactiva de la medicina: la medicina debe ser proactiva y no solo responden a las manifestaciones avanzadas de la enfermedad.

El aporte de esta teoría a la investigación es directo, dado que le da justificación al propósito central del proyecto, el de desarrollar un software que apoye la detección temprana del Alzheimer. La investigación no busca sustituir al diagnóstico médico, sino al contrario, quiere fortalecer la alianza entre este y el paciente al proveer una herramienta que ayude a identificar patrones que sugieran causas tempranas de la enfermedad. Esta teoría también legitima el valor social y clínico del estudio, ya que una intervención tecnológica centrada en la detección temprana puede mejorar la oportunidad del proceso diagnóstico, y en consecuencia la atención al paciente. Finalmente, parece trazar el sentido funcional del software, ya que la predicción generada por el sistema debe entenderse como una guía preventiva para el médico.

2.2.4 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES MEDICAS

Cabe destacar que esta teoría se basa en que una imagen médica no es solamente una representación visual, sino también un conjunto de datos numéricos que pueden ser tratados computacionalmente. A través del procesamiento digital, las imágenes pueden ser ajustadas para mejorar el contraste, eliminar el ruido, igualar los formatos, segmentar regiones anatómicas y algorítmicamente extraer características relevantes (Pintado, 2025). Esto ha cambiado paradigmas en el ámbito clínico al permitir obtener más información de los estudios diagnósticos, que a su vez puede ser suministrada con más precisión y estandarización al permitir mejorarse la observación y análisis. Por estas razones, es una de las teorías más fundamentales como base para proyectos de salud e IA, especialmente cuando hablamos de grandes volúmenes de imágenes médicas.

En el marco de la presente investigación, esta teoría proporciona un fundamento técnico para abordar adecuadamente las imágenes de resonancia magnética que se utilizarán como entrada para el modelo de inteligencia artificial. El software por desarrollar debe no solo almacenar o visualizar imágenes, sino también analizarlas computacionalmente para detectar aquellos patrones que están asociados con el Alzheimer. Para hacer esto, es necesario saber qué significa que las imágenes estén preparadas, normalizadas, organizadas y transformadas en la computadora del modelo antes de ser procesadas. Además, esta teoría también respalda las decisiones sobre la calidad de la imagen, la consistencia del datum y las características visuales significativas.

2.2.5 RECONOCIMIENTO DE PATRONES

En sentido, esta teoría señala que los objetos, las señales o las imágenes contienen ciertas características observables que pueden ser analizadas y permitir clasificarlas en categorías claramente definidas y/o inferir su pertenencia a una

clase concreta. En el ámbito de la inteligencia artificial, el reconocimiento de patrones es una teoría crucial para tareas como la clasificación de imágenes, la detección de anomalías, el análisis predictivo y la visión por computadora. La importancia de esta teoría radica en pasar de meras observaciones de los datos a inferencias enmarcadas en un significado, utilizando atributos visuales, estadísticos o estructurales del contexto. Desde un punto de vista clínico, la aplicación en la práctica se traduce en la identificación de formas y patrones de normalidad o anormalidad en las imágenes médicas. Esto facilita la provisión de una simulación diagnóstica concluyente previa (Santa-María y Rodríguez, 2026).

En cuanto a la lógica generativa, esta teoría da a la investigación la lógica central sobre la cual el modelo de inteligencia artificial que se aplicará a las resonancias magnéticas cerebrales funcionará de acuerdo con. En efecto, el software intenta reconocer conjuntos de configuraciones visuales que puedan relacionarse con casos sin Alzheimer o respectivamente grados distintos del deterioro, y esta tarea se basa en la teoría del reconocimiento de patrones. En términos generales, esta teoría implica que el proyecto puede ser justificado como un proceso de tipos de identificación automática de estructuras o anomalías cerebrales recurrentes en ciertas categorías diagnósticas. Además, esta teoría fortalece la lógica relación entre el modelo computacional y el objetivo clínico, dado que también permite argumentar que el sistema no “adivina”, pero en cambio aprende a relaciones de unir rasgos observables a clases ya definidas antes en el dataset.

2.2.6 APRENDIZAJE AUTOMÁTICO SUPERVISADO

En este enfoque, el algoritmo se alimenta de pares de entrada-salida ya conocidos, de modo que aprende la relación entre las características de los datos y la categoría o el valor que se debe predecir. Este método tiene un extenso uso en problemas en los que hay disponibles datasets con datos organizados y con etiquetas definidas: clasificación de imágenes, detección de enfermedades, predicción del riesgo o

reconocimiento de voz. Su funcionamiento se basa en la capacidad del modelo de generalizar los patrones aprendidos durante el entrenamiento y aplicarlos a nuevos casos que no han sido contemplados por el modelo previamente. Por lo tanto, la teoría establece que el aprendizaje se lleva a cabo egresado de la experiencia contenida en los datos etiquetados y la calidad del resultado depende de factores como la proporcionalidad de la base de datos, la calidad de las etiquetas y la arquitectura del modelo (Santa-María y Rodríguez, 2026).

La fuente de los datos de entrada utilizada aquí es la base de datos de imágenes de resonancia magnética con clasificaciones en categorías diagnósticas. Por lo tanto, es posible basarse en la instrucción supervisada al enseñar al sistema a distinguir entre los diversos estados relacionados con el Alzheimer. Además, es posible aplicar los datos anteriores a las hipótesis en cuanto a la calidad y cantidad de la base de datos necesaria para abordar el problema. Por lo tanto, el componente teórico de la organización y selección de los datos es el primer paso importante en este proyecto. Mientras tanto, también se argumenta la idea de validar el sistema en función de esta teoría, porque un modelo de aprendizaje supervisado debe ser capaz de clasificar a las subsecuentes imágenes con precisión y no basarse únicamente en imágenes de prueba.

2.2.7 VISION TRANSFORMERS Y DEL MECANISMO DE ATENCIÓN

En lugar de juzgar solo por convoluciones locales como hacen los enfoques tradicionales, los Transformers utilizan mecanismos de atención que perciben la importancia relativa de las partes de una entrada, capturando así relaciones globales dentro de las imágenes. Dentro del campo visual, esto le enseña al modelo para que no solo ignore la mayor parte de la entrada, excepto para pequeños trozos, sino que también comprenda cómo se relacionan las regiones de una imagen con otra parte de una estructura más grande. Modelos como SigLIP 2, ima 31 se basan en esta idea: las representaciones profundas de alto nivel se pueden controlar para

hacer clasificación, identificación e interpretación de imágenes. Esta teoría es muy útil en situaciones en las que los patrones relevantes están dispersos por toda la entrada, como las imágenes en los estudios cerebrales (Santa-María y Rodríguez, 2026).

Acerca de la aportación de esta teoría a la investigación, esta es central, pues se busca, como objetivo específico, emplear Vision Transformers – SigLIP 2 para analizar imágenes cerebrales y detectar patrones tempranos de atrofia u otro tipo de anomalías que se relacionen con el Alzheimer. Teóricamente, sustenta la elección del modelo, pues se ha comprobado cómo el mecanismo de atención puede brindar ventaja en la identificación de una relación espacial compleja dentro de las resonancias. Esta es también la razón por la que este proyecto no pudiera haber utilizado cualquier técnica de IA, sino una IA arquitectura avanzada que puede tomar la globalidad de la información y el contexto de la imagen. En el ámbito investigativo, esta teoría fortalece la innovación del estudio, que vincula el problema clínico con un abordaje tecnológico actual y robusto.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Alzheimer: La enfermedad de Alzheimer es un trastorno neurodegenerativo progresivo que causa deterioro en la memoria, el pensamiento, el lenguaje, la conducta y la capacidad funcional de las personas afectadas. Es una de las causas más comunes de demencia en adultos mayores de edad y su progresión natural es lenta, con síntomas leves al inicio que se van exacerbando a lo largo del tiempo y posteriormente el paciente se vuelve completamente dependiente. Desde el punto de vista clínico, el Alzheimer manifiesta un deterioro gradual de las funciones cognitivas superiores y cambios estructurales en el cerebro, especialmente en las áreas relacionadas con la memoria y el aprendizaje. Este término es central en la investigación, ya que representa la condición médica que se pretende abordar a

través del diagnóstico mediante el software que acabamos de proponer junto con la inteligencia artificial aplicada a las neuroimágenes.

Detección temprana: La detección temprana es un proceso a través del cual se identifican señales, indicios o manifestaciones iniciales de una enfermedad antes de que ésta alcance niveles avanzados o provoque consecuencias irreversibles más graves. En el campo de la salud, este término es de vital importancia, ya que le permite actuar a tiempo, mejorar la atención médica y aumentar las oportunidades de controlar o gestionar la enfermedad de interés. En el caso del Alzheimer, el concepto de la detección temprana es de especial importancia, ya que progresa gradualmente y, a menudo, los síntomas iniciales se pasan por alto o se consideran como parte del envejecimiento normal. Desde la perspectiva de la investigación, el concepto también ilustra el propósito del software desarrollado, ya que no solo lleva a cabo la clasificación de imágenes, sino que también promueve la detección temprana de patrones relacionados con el deterioro cerebral.

Inteligencia artificial: La inteligencia artificial es un campo de la informática que diseña y desarrolla sistemas que pueden realizar tareas que normalmente necesitan de ser humano ‘aprendizaje, razonamiento, reconocimiento de patrones, clasificación de información y toma de decisiones basadas en datos. A medida que avanza, la inteligencia artificial ha encontrado aplicaciones en áreas como la medicina, donde facilita el procesamiento de grandes volúmenes de datos, el análisis de imágenes clínicas y el apoyo en el proceso de diagnóstico.

En este estudio, la inteligencia artificial sirve como marco tecnológico principal, permitiendo el procesamiento de imágenes de resonancia magnética cerebral y el uso de las predicciones para delinear la probabilidad de Alzheimer. Este término es importante porque justifica el razonamiento computacional detrás de la implementación del software propuesto y autoriza el uso de técnicas avanzadas para resolver de manera innovadora un problema clínico desafiante.

Resonancia magnética cerebral: La resonancia magnética cerebral es un procedimiento de diagnóstico por imagen que implica obtener representaciones detalladas de las estructuras internas del cerebro utilizando campos magnéticos y ondas de radio, sin radiación ionizante. Este procedimiento es adecuado para examinar tejidos blandos y se utiliza ampliamente para la identificación de alteraciones anatómicas y cambios estructurales que acompaña a numerosas enfermedades neurológicas.

Para la enfermedad de Alzheimer, las resonancias magnéticas pueden mostrar signos de atrofia cerebral, disminución del volumen en ciertas regiones y otras anomalías que acompañan al proceso neurodegenerativo subyacente. Desde el punto de vista del proyecto de investigación, este concepto es crítico, ya que las imágenes de resonancia magnética serán el conjunto de datos con el que el modelo de inteligencia artificial trabajará. En otras palabras, las resonancias magnéticas son el material clínico y técnico sobre el que se basa la creación de software.

Neuroimagen: La neuroimagen es un término que abarca un conjunto de técnicas y procedimientos para visualizar la estructura o funcionamiento del sistema nervioso, en especial del cerebro, con fines diagnósticos, investigativos y clínicos. Estos métodos incluyen modalidades como, entre otros, la resonancia magnética, la tomografía computarizada, la tomografía por emisión de positrones y otros estudios que permiten observar el cerebro desde diversas perspectivas. La neuroimagen ha adquirido una importancia cada vez mayor en la investigación médica, ya que permite examinar cambios anatómicos o funcionales vinculados a diversas enfermedades neurológicas y psiquiátricas.

En este sentido, la neuroimagen es un concepto que no puede dejarse de lado, ya que el análisis automatizado de la resonancia magnética es un campo situado dentro de este término. Por tanto, este documento facilita una comprensión del campo y cómo las imágenes cerebrales pueden representar una fuente invaluable

de información para el auxilio de la detección temprana de enfermedades como el Alzheimer a través de herramientas computacionales.

Interfaz de usuario: La interfaz de usuario es un término que hace referencia al conjunto de elementos visuales, funcionales e interactivos con los que una persona interactúa con un sistema informático. Esta incluye todos los aspectos relacionados con la forma en que el usuario ingresa información, realiza acciones, interpreta resultados y, en resumen, se mueve dentro del software. Es especialmente relevante en entornos clínicos ya que, para el profesional, debe ser clara, intuitiva, eficiente, y adaptable a sus necesidades. Por ejemplo, una herramienta puede realizar predicciones precisas de la probabilidad de enfermedad, pero si el método para cargar los datos es tedioso, es probable que no se utilice.

En este proyecto, la interfaz de usuario es uno de los conceptos claves, ya que construir un sistema. Como explicando los objetivos específicos de esta investigación hacen referencia a un entorno donde los profesionales de la salud puedan cargar imágenes o datos y recibir predicciones sobre qué tan probable es que un paciente deposite dicho diagnóstico, conceptualizarlo adecuadamente es una parte integral de su utilidad.

Pruebas de software: Las pruebas de software son un conjunto de actividades sistemáticas para verificar y validar que un sistema informático funcione correctamente, cumpla con los requerimientos establecidos y responda de manera adecuada en diferentes condiciones de uso. Pueden ser unitarias, de integración, funcionales, de sistema, de rendimiento o usabilidad, entre otras, cuyo propósito es preparar un sistema para detectar errores, corregir fallos y garantizar calidad en el producto final antes de su implantación. Desde la perspectiva de la Ingeniería de Software, esta es una etapa fundamental, especialmente cuando el sistema a construir se utilizará en un sector delicado como la salud.

CRISP-DM: significa Cross Industry Standard Process for Data Mining. Es una metodología ampliamente utilizada en el desarrollo de proyectos de minería de datos, análisis predictivo e inteligencia artificial. CRISP-DM consta de seis fases: comprensión del negocio, comprensión de los datos, preparación de los datos, modelado, evaluación e implementación. Además, la metodología no es solo un conjunto de recomendaciones técnicas para el uso de algoritmos, sino que permite colocar todo el proceso de crear una solución basada en datos en secuencia en función de la lógica inherente. La principal ventaja de la metodología es el análisis simultáneo tanto del problema como de la información y la validación del modelo encontrado.

Dataset: es un conjunto de datos estructurados organizados con un propósito de análisis, procesamiento o modelado computacional. En el campo de la inteligencia artificial, este es la principal fuente de información con la idea de cuál un modelo aprende a identificar patrones, clasificar elementos o predecir acciones. Puede ser una colección de imágenes, texto, registros numéricos, señales y otros datos que puedan ser digitales. La calidad, cantidad, consistencia y clasificación adecuada del dataset son condiciones necesarias para obtener resultados confiables sin importar el tipo de sistema basado en el aprendizaje automático.

Aprendizaje supervisado: El aprendizaje supervisado es una técnica usada en inteligencia artificial y aprendizaje automático donde se entrena un modelo con datos previamente etiquetados. Es decir, se le da al algoritmo ejemplos de la entrada a procesar junto con la salida que debería producir, lo que le permite aprender la relación entre ambas para luego aplicar ese conocimiento a datos nuevos y desconocidos. Este acercamiento es común en tareas de clasificación y predicción, como el reconocimiento de imágenes, diagnóstico asistido por computadora, análisis de riesgo y detección de anomalías, entre otros. El rendimiento del aprendizaje supervisado está determinado por la calidad de las etiquetas, el número de ejemplos y la generalización del modelo.

Clasificación: es un proceso por el cual un sistema asigna una entrada a un elemento de una clase previamente definida, con base en la observación de características en los datos. En inteligencia artificial, la clasificación es una de las tareas más comunes del aprendizaje supervisado, como la clasificación de imágenes, diagnóstico médico, detección de fraude o análisis documental. Este proceso de aprendizaje implica que un modelo aprenda patrones únicos que le permitan diferenciar unos casos de otros. En términos computarizados, la clasificación convierte la información compleja en resultados interpretables y organizados de acuerdo con las clases de interés conocidas.

2.4 MARCO LEGAL

Tabla 1. Marco legal

Norma	Descripción
Ley 1751 de 2015 – Ley Estatutaria de Salud	Esta ley reconoce la salud como un derecho fundamental autónomo e irrenunciable y establece que el acceso a los servicios debe darse de manera oportuna, eficaz y con calidad . Para esta investigación, su importancia radica en que el software propuesto se orienta a fortalecer procesos de apoyo diagnóstico en el Hospital Local de Aguachica E.S.E., aportando a una atención más temprana y eficiente frente al Alzheimer. En consecuencia, esta norma brinda sustento jurídico al uso de herramientas tecnológicas que contribuyan al mejoramiento de la prestación del servicio de salud y a la protección integral del paciente (Congreso de la República, 2015).
Ley 23 de 1981 – Normas en materia de ética médica	Esta norma regula principios fundamentales de la práctica médica en Colombia, incluyendo deberes éticos relacionados con la responsabilidad profesional, el manejo de la información clínica y la protección del paciente. Su relación con el proyecto es directa, porque el software no sustituye al profesional de la salud, sino que funciona como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones

	clínicas. Por tanto, la interpretación de resultados derivados del sistema debe mantenerse bajo el criterio del médico tratante, respetando los principios de prudencia, responsabilidad y confidencialidad que exige la ética médica (Congreso de la República, 1981).
Resolución 1995 de 1999 – Normas para el manejo de la historia clínica	Esta resolución regula la historia clínica como un documento privado, obligatorio y sometido a reserva , y establece criterios sobre su diligenciamiento, custodia, conservación y acceso. En el marco del proyecto, resulta esencial porque el software podría interactuar con datos clínicos e imágenes diagnósticas que forman parte del proceso asistencial del paciente. En consecuencia, esta norma orienta la investigación hacia el manejo responsable de la información médica, exigiendo controles de acceso, protección de la confidencialidad y trazabilidad en el tratamiento de los datos utilizados por el sistema (Congreso de la República, 1995).
Ley 1581 de 2012 – Régimen general de protección de datos personales	Esta ley establece el marco general para el tratamiento de datos personales en Colombia y define principios como legalidad, finalidad, libertad, veracidad, transparencia, acceso y seguridad. Su aplicación en esta investigación es fundamental, ya que el proyecto puede involucrar datos sensibles relacionados con la salud de los pacientes, los cuales requieren un nivel reforzado de protección. Por ello, cualquier recolección, almacenamiento, procesamiento o uso de imágenes y datos clínicos debe sujetarse a esta norma, garantizando autorización, confidencialidad, medidas de seguridad y respeto por los derechos del titular de la información (Congreso de la República, 2012).
Decreto 1377 de 2013 – Reglamentación parcial de la Ley 1581 de 2012	Este decreto reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012 y desarrolla aspectos operativos del tratamiento de datos personales, incluyendo autorizaciones, avisos de privacidad y deberes de responsables y encargados del tratamiento. Para el proyecto, esta norma complementa el marco de protección de la información clínica e imagenológica, porque permite establecer criterios concretos sobre cómo deben gestionarse los datos empleados en el desarrollo y posible implementación del software.

	Así, respalda la adopción de procedimientos formales de manejo de datos, especialmente relevantes cuando se trabaja con información médica sensible y herramientas digitales en instituciones de salud (Congreso de la República, 2013).
Ley 2015 de 2020 – Interoperabilidad de la Historia Clínica Electrónica	Esta ley regula la interoperabilidad de la historia clínica electrónica en Colombia y busca facilitar el intercambio de datos clínicos relevantes, respetando el hábeas data y la reserva de la información. Su importancia para la investigación radica en que el software propuesto puede proyectarse, a futuro, como una herramienta complementaria dentro de ecosistemas digitales de salud. Por ello, esta norma brinda una referencia clave sobre integración, circulación segura de datos clínicos y compatibilidad con procesos institucionales modernos, especialmente en contextos hospitalarios que avancen hacia la digitalización y articulación de información asistencial (Congreso de la República, 2020).
Ley 1419 de 2010 – Lineamientos para el desarrollo de la Telesalud en Colombia	Esta ley establece lineamientos para el desarrollo de la telesalud y reconoce la telemedicina como modalidad para ampliar el acceso, la oportunidad y la eficiencia en la prestación de servicios de salud, especialmente en zonas con limitaciones de oferta. En relación con el proyecto, esta norma resulta pertinente porque el software de apoyo diagnóstico basado en IA puede contribuir a fortalecer la atención médica mediante TIC, particularmente en contextos donde el acceso a especialistas es limitado. Así, la ley respalda la incorporación de tecnologías digitales en salud con fines de apoyo clínico, cobertura y mejora del servicio (Congreso de la República, 2010).

Fuente: elaboración propia.

3. DISEÑO METODOLOGICO

El diseño del proyecto de investigación, el cual se presenta a continuación tiene como finalidad el desarrollo del software de detección temprana del Alzheimer con técnicas de inteligencia artificial. El diseño del proyecto de investigación es de vital importancia para garantizar que se efectúe de un modo organizado, riguroso y coherente, lo que permitiría obtener resultados válidos y fiables que contribuyan a la aplicación de tecnologías innovadoras en el ámbito de la salud.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La naturaleza de la presente investigación corresponde al tipo de investigación aplicada, pues está directamente relacionada con la solución de un problema específico identificado en un entorno. Desde esta perspectiva, la investigación en cuestión no se limita a la consideración conceptual del concepto de Alzheimer o la inteligencia artificial. Al contrario, Pozo-Puértolas (2026) explica que esta teoría directamente está enfocada al diseño de un software que puede utilizarse para apoyar los procesos de detección temprana de una enfermedad en un hospital.

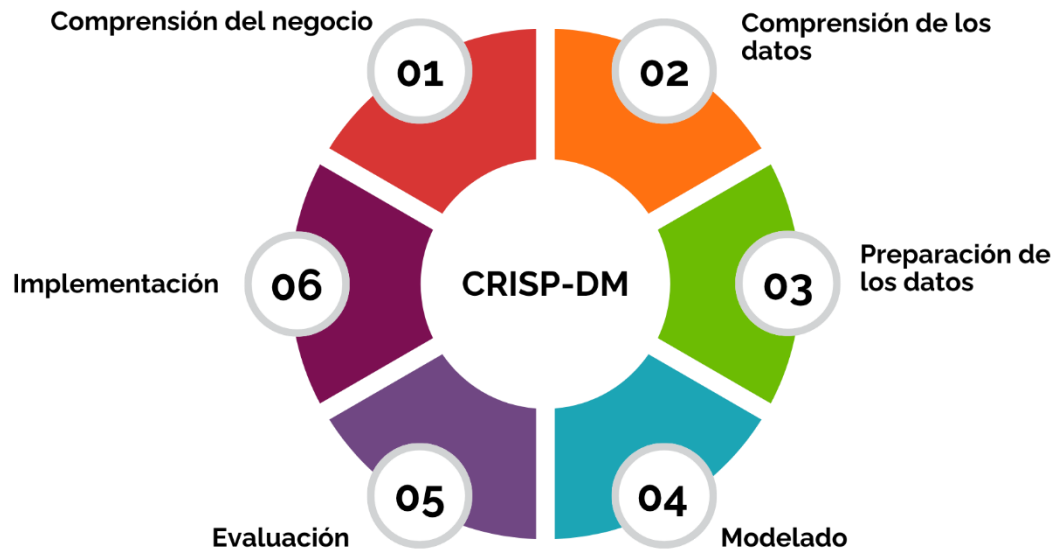
La presente investigación se enmarca bajo un enfoque cualitativo debido a que la finalidad de esta no es demostrar estadísticamente una hipótesis, ni generalizar resultados a partir de mediciones cuantitativas, sino describir y comprender el proceso de desarrollo de un software aplicado al apoyo de la detección temprana del Alzheimer a través de técnicas de inteligencia artificial. Por lo tanto, Kwan y Alegre (2024) explican que el interés colectivo investigativo es la detallada descripción, análisis e interpretación de cada una de las fases, actividades, decisiones y otros elementos involucrados en la construcción de la solución tecnológica objeto del proceso.

3.2 METODOLOGÍA DE DESARROLLO

La metodología de desarrollo empleada para la presente investigación es el modelo CRISP-DM es un marco de trabajo estructurado, flexible y ampliamente reconocido para los proyectos que comprenden el análisis de datos, la minería de datos y la inteligencia artificial (Gualoto, 2025). La selección de este modelo es adecuada en este estudio porque el proyecto busca el desarrollo de un software de apoyo a la detección temprana del Alzheimer a través del análisis de una base de datos de imágenes de resonancia magnética cerebral. Por tanto, proporciona una estructura lógica para organizar de forma limítrofe y secuencial tanto las fases en las que es necesario someter los datos a gestión como los datos en sí.

Ante todo, CRISP-DM es aplicable a este estudio porque permite relacionar el problema tecnológico planteado con un proceso metodológico definido. Debido a la característica del estudio, que se basa en el desarrollo de software y el uso de técnicas de inteligencia artificial basadas en calidad, estructura y análisis de los datos disponibles, se necesita una metodología que oriente no sólo la construcción y aplicación del sistema, sino también que permita garantizar que la base de datos sea comprensible, consistente y útil para el desarrollo de los objetivos del proyecto. Esta metodología satisface la necesidad de definir un flujo de trabajo completo que comienza con la definición del problema y que conlleva la preparación de los datos, análisis, modelado y evaluación hasta culminar con la aplicación de la solución tecnológica planteada.

Figura 5. Fases de desarrollo Metodología CRISP-DM



Fuente: elaboración propia.

- **Comprensión del negocio:** Como se puede observar, dentro de este esquema la etapa de comprensión de la necesidad resulta crucial puesto que es la que permite dirigir el avance tecnológico hacia una necesidad concreta que el usuario tiene en ese momento. Gracias a esto, el software no se diseña de forma aislada del entorno institucional y, por lo tanto, CRISP-DM se erige como un mediador de la línea de problema, los objetivos de la investigación y la solución propuesta.
- **Comprensión de los datos:** este paso es esencial ya que el trabajo investigativo se fundamenta en una base de datos preexistente que posee imágenes de resonancia magnética cerebral clasificadas dentro de las distintas categorías diagnósticas. Por lo tanto, esta etapa permite evidenciar las características generales del conjunto de datos, la estructura de estos, la distribución de las imágenes por clases, la calidad de los registros y si son pertinentes para la creación del modelo inteligente.

- **Preparación de los datos:** se constituye en un insumo de alto valor metodológico, en la medida que, en proyectos de inteligencia artificial, no solo basta disponer de una base de datos, sino adaptarla a las condiciones del análisis y procesamiento de esta. En la presente investigación, tal fase posibilita la organización de las imágenes, la depuración de posibles inconsistencias presentes, la comprobación de los criterios de inclusión y exclusión, así como la estructuración de las clases diagnósticas y las condiciones requeridas para la modelación.
- **Modelado:** Con esta fase, se trata de la mejor manera posible a seleccionar, configurar y aplicar el modelo que mejor se ajuste para clasificar las imágenes en las categorías diagnóstica predefinidas. Esta es una perspectiva clave para la presente investigación, ya que describe de forma meticulosa cómo se elabora la inteligencia en el componente de datos del software y cómo esos datos transformados construyen la pieza clave que puede desempeñar un papel en la detección de Alzheimer.
- **Evaluación:** mediante esta etapa se hace posible analizar el desempeño del sistema, determinar la coherencia entre los resultados obtenidos y el problema originalmente definido e identificar posibles ajustes antes de la implementación final. Es pertinente en términos de la investigación debido a que agrega validez al proceso de desarrollo mostrando que la solución propuesta no se construye de manera improvisada, sino que, por el contrario, es sometida a revisiones y análisis previos antes de considerarse funcional.
- **Implementación:** En el contexto de este estudio, la etapa no solo significa que se puede implementar la solución desarrollada, sino que también se describe cómo el modelo inteligente y la estructura del sistema están conectados entre sí para resolver el problema identificado. Esto subraya la aplicación de lo que se aprende y demuestra que CRISP-DM también es útil en el desarrollo de proyectos tecnológicos de datos.

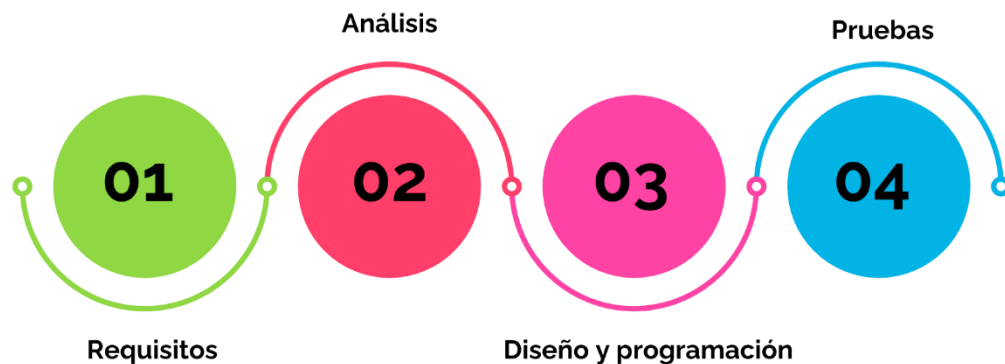
Así mismo, la presente investigación toma como modelo metodológico de desarrollo, al denominado enfoque de cascada o Waterfall, aplicado al diseño del software a construir. En este caso, la elección resulta justificada dado que permite organizar el desarrollo del sistema de manera metódica, secuencial y lógica, permitiendo así programar ordenadamente la marcha de cada una de las fases que llevan consigo la creación de la solución informática. De esta forma, Laoyan (2026) explica que el diseño en cascada resulta congruente con un proyecto de desarrollo de software, ya que implica un avance progresivo desde la especificación de requerimientos hasta el diseño, la programación, la verificación y la implementación del sistema a desarrollar.

Comparándola con las metodologías ágiles, como Scrum o Extreme Programming se consideró que la metodología en cascada es más adecuada para este proyecto. Esto se debe a que el proyecto no es de tipo iterativo-incremental, ya que sus requisitos no cambiarían y no es retroalimentado por varios usuarios regularmente. La metodología ágil es particularmente útil en un proceso donde un producto evoluciona iterativamente; los requisitos cambian regularmente o el cliente está constantemente rediseñando las funcionalidades propuestas. Según el esquema de esta investigación, este no es el caso, ya que no se desarrollaron ni diseñaron versiones posteriores al software sugerido, ya que la funcionalidad sigue siendo la misma: automatizar un proceso. Además, los requisitos no fluctuaron y no fue necesario que el cliente revisara o codificara las funciones automatizadas. Por lo tanto, el proyecto no requiere de niveles de flexibilidad ofrecidos por las metodologías ágiles.

De igual forma, la metodología es pertinente en este estudio debido a que consolida la dimensión descriptiva del proceso de desarrollo. Puesto que una de las intencionalidades de la investigación es dilucidar la manera en que opera la construcción de software de apoyo a la detección temprana del Alzheimer, esta alternativa de planeación permite una descripción jerárquica de cada una de las

fases, siguiendo un orden lógico que permite exponer con claridad qué actividades se desarrollaron, en qué orden se produjeron y cuál fue el impacto al producto final.

Figura 6. Fases de la Metodología Cascada Adaptada



Fuente: adaptado de (Laoyan, 2026).

- **Fase de requerimientos:** Este es el proceso de planificación inicial cuando los miembros del equipo recopilan la mayor cantidad de información posible para asegurarse de que el proyecto tenga éxito. Debido a que las tareas en el método waterfall dependen del paso anterior, se debe predecir en detalle antes de comenzar. La planificación es una de las partes más críticas y, por lo tanto, incluso la cantidad máxima de tiempo del proyecto se dedica a él.
- **Análisis:** La siguiente fase en un proceso de desarrollo de software es el diseño. En esta fase, el equipo de desarrollo describe el hardware que el proyecto utilizará y cualquier otro detalle, como los lenguajes de programación y la interfaz de usuario que tendrá el sistema. En el diseño de alto nivel, el equipo diseña una representación esquelética del software y cómo la información estará disponible para los usuarios. En el diseño bajo nivel, el equipo describe todos los elementos específicos del software.
- **Diseño del sistema:** Esta es la etapa en la que todo realmente comienza a funcionar. Basándose en los documentos de requisitos de la etapa del paso uno y en el proceso de diseño del sistema, así como los planes, el equipo

inicia un proceso completo de desarrollo de construcción para construir el software provisto en las etapas de requerimientos y análisis.

- **Pruebas:** En este paso de la metodología waterfall, el equipo de Desarrollo entrega el proyecto a los “QA testers”, aquellos pertenecientes a Calidad, él se buscan errores, o debilidades en el software, que deban solucionarse, ya que se necesita tener casi 0 problemas para poder subir el proyecto. Dichas pruebas se documentan de manera clara cualquier de cualquier tipo de problema. El equipo de desarrollo no realizará cambios en este paso y sí ejecutar la corrección de errores. Cualquier error similar, si otro desarrollador lo encuentran, sirve la documentación anterior para arreglarlo.

3.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño no experimental implica una observación y descripción del uso de un determinado software en un contexto natural de un entorno en el que no se trata de intervenir ni de manipular las variables del estudio. Es un diseño perfectamente adecuado para el enfoque cualitativo, ya que permite captar las experiencias de los usuarios en situaciones cotidianas, que no son forzadas por el experimentador y en la que, en lugar de experimentar con grupos control y experimental, el diseño no experimental permite a los usuarios que, interactuando con el software, puedan dar datos más auténticos y relevantes (Veliz, 2024).

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Por tanto, la población objetivo del estudio estará representada por la totalidad de imágenes de resonancia magnética cerebral presentes en la base de datos de referencia utilizada por el modelo prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classifer, la cual cuenta con un total de 33.984 imágenes divididas en cuatro categorías diagnósticas: NonDemented, VeryMildDemented, MildDemented y ModerateDemented.

Tabla 2. Población y muestra

Elemento		Descripción
Población objetivo		Total, de imágenes de resonancia magnética cerebral contenidas en la base de datos de referencia empleada para el análisis y descripción del proceso de desarrollo del software de apoyo a la detección de Alzheimer.
Fuente de datos		Dataset asociado al modelo prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classifer , identificado como SilpaCS/Augmented_alzheimer en Hugging Face.
Tamaño de la población		N = 33.984 imágenes
Unidad de análisis	de	Cada imagen de resonancia magnética cerebral etiquetada dentro de la base de datos.
Criterios de inclusión	de	Imágenes pertenecientes al dataset de referencia; imágenes correctamente etiquetadas en alguna de las clases disponibles; archivos legibles y utilizables para análisis y modelado; imágenes aptas para procesamiento computacional dentro del desarrollo del software.
Criterios de exclusión	de	Imágenes corruptas, duplicadas o con errores de lectura; archivos sin etiqueta definida; imágenes que no cumplan con el formato requerido para el procesamiento; registros que alteren la consistencia del análisis.
Método de muestreo	de	Censal , debido a que se dispone de una base de datos específica, cerrada y totalmente identificada, que puede analizarse en su totalidad para describir el proceso de desarrollo del software.
Participación para modelado		La totalidad de las imágenes válidas puede emplearse en las fases de análisis, preparación de datos, entrenamiento, validación y evaluación del modelo de inteligencia artificial.
Nivel de confianza estadístico	de	No aplica de forma estricta ya que se trabaja con la totalidad del dataset.
Estratificación		NonDemented, VeryMildDemented, MildDemented y ModerateDemented
Tamaño de la muestra		n = 33.984 imágenes.

Fuente: elaboración propia.

Debido a que la investigación describe el proceso de desarrollo del software y se analiza una base de datos que ya existe, la cantidad de registros válidos es total, lo que significa que la muestra se basa en la población. Siendo así, el criterio aplicado sería esencial ya que se describen todas las imágenes que califican para el

modelado y descripción de las etapas del sistema. Entonces, para este trabajo, el censo de las imágenes está relacionado con la totalidad de las fases que existen o han pasado por alguna de las máquinas asignadas.

Tabla 3. Estratificación adaptada a tres grupos

Estrato original	Descripción equivalente	Tamaño (N)	Porcentaje aproximado
NonDemented	Sin Alzheimer / sin demencia	9.600	28,25 %
VeryMildDemented	Deterioro muy leve	8.960	26,36 %
MildDemented	Deterioro leve	8.960	26,36 %
ModerateDemented	Deterioro moderado	6.464	19,02 %
Total		33.984	100 %

Fuente: elaboración propia.

3.5 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para este estudio, los instrumentos de recolección de datos se basan en la obtención, organización, verificación y análisis de información contenida en la base de datos de referencia utilizada para el desarrollo del software de apoyo a la detección del Alzheimer. Puesto que no se establece como objetivo de estudio la aplicación de encuestas, entrevistas o cuestionarios a sujetos humanos, sino el análisis de una base de datos secundaria previamente estructurada, los instrumentos se relacionan con el tratamiento técnico y documental de las imágenes de resonancia magnética cerebral y de sus respectivas categorías diagnósticas.

En este trabajo se usa un registro y una caracterización de la base de datos como herramientas para organizar y sistematizar la información que se utilizó en la elaboración del modelo prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classfier, el cual fue a su vez extraído del repositorio que se encuentra en la siguiente liga: <https://huggingface.co/prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classfier>. Esta estructura hace posible que se documenten de forma organizada elementos clave del conjunto

de datos, como el número total de imágenes, la categoría diagnóstica vinculada a cada registro, el formato de archivo, la estructura de almacenamiento, la distribución de clases y si un registro es válido o no para el modelado.

Por lo tanto, los instrumentos de recolección de datos utilizados en esta investigación no son mecanismos de interacción con participantes. En cambio, son instrumentos de registro, seguimiento, revisión y organización de una base de datos determinada. Por lo tanto, su objetivo principal es garantizar que los datos utilizados sean relevantes, integrales y útiles para estudiar y describir el desarrollo de software y respaldar técnicamente las fases de análisis y modelado. Además, los instrumentos permiten la recolección de los datos secundarios e inspiran la coherencia entre la información fuente, los objetivos del estudio y el proceso metodológico.

3.6 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis de los resultados de la presente investigación consistirá en una descripción e interpretación de la información obtenida a través de la base de datos de imágenes de resonancia magnética cerebral, en el marco del desarrollo del software de apoyo en la detección del Alzheimer. Dado que el planteamiento de la investigación es de carácter cualitativo-descriptivo, aunque con soporte técnico en el procesamiento de datos del dataset, el procesamiento de los resultados no se limita a una lectura estadística aislada, sino que procura establecer hasta qué punto las características de la base de datos coincidentes con las fases del sistema a desarrollar.

En un primer acercamiento, el análisis abordará la descripción general del dataset, que considerará la cantidad de imágenes total disponibles, el balanceo de los registros considerando la categoría diagnóstica y, asimismo, la correspondencia entre las clases a establecer en el modelo y los objetivos del software de apoyo.

Esta etapa permitirá abordar atenuadamente la composición de la población estudiada, no solo por la totalidad de imágenes, sino también por la presencia de grupos diagnósticos diversos: NonDemented, VeryMildDemented, MildDemented y ModerateDemented. En este sentido, será posible considerar la utilidad de cada estrato en el proceso de modelado y forma de integración mediante la contribución al diseño del sistema de apoyo.

Luego, el análisis técnico dictará con respecto a la calidad y la coherencia de los datos presentes en la base de datos, identificando si las imágenes son válidas, si existen pares duplicados, si cumplen o no con los parámetros y si el conjunto de datos puede ser procesado a partir del software. Esta sección del análisis es fundamental, ya que permite decidir si el dataset posee condiciones suficientes para radicar en la base del desarrollo tecnológico. En otras palabras, no se trata solo de una cuestión de cantidad de imágenes, sino de si lo que aportan suman efectivamente al sistema.

Asimismo, los resultados aplicarán a un análisis en base a las fases metodológicas llevadas a cabo para el desarrollo del proyecto, especialmente adaptándolas al modelo CRISP-DM. Así, durante la etapa de comprensión de los datos se analizarán las características trabajadas en el conjunto analizado; en la etapa de preparación, los procesos de organización, agrupación y validación de las imágenes; y por último en la etapa de modelado, se describirá el impacto de la estructuración del dataset lograda en la elección y desempeño del método de inteligencia artificial integrado en el software. Con esto, se logra dotar de información práctica y directa sobre la implicación de los resultados obtenidos en la recopilación de datos a las decisiones tomadas en el armado de los componentes del sistema.

Otro punto clave a abordar en el análisis de los resultados estará asociado con el alcance de una cierta interpretación funcional. En efecto, se trata de revelar cómo la información derivada del dataset pueda garantizar la implementación del

software. En la sección se delimitarán las categorías diagnósticas posibles y la lógica de funcionamiento de la solución presentada, lo que servirá para mostrar que la base es el principal punto de referencia para el entrenamiento, la validación y la verificación de la inteligencia del modelo de software. Este punto de vista también es irrelevante de la perspectiva contextual, dado que el objetivo de la investigación es demostrar la funcionalidad de la base médica en el ciclo de producción del software auxiliar.

4. ESQUEMA TEMATICO

4.1 SELECCIÓN DE DATOS CLÍNICOS DE IMAGEN RELACIONADOS CON EL ALZHEIMER (RESONANCIAS MAGNÉTICAS), APTOS PARA SU ANÁLISIS MEDIANTE TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

En la siguiente tabla se resumen los conjuntos de datos públicos relevantes evaluados, con sus características y consideraciones.

Tabla 4. Datasets públicos

Dataset	Volumen de datos	Clases disponibles	Acceso	Consideraciones para el proyecto
OASIS-3	Longitudinal: datos clínicos, cognitivos y de biomarcadores de envejecimiento normal y EA	Normal Cognition (CN) y Alzheimer's Disease (AD) en diferentes etapas (principalmente clasificación binaria)	Acceso abierto; requiere solicitud formal en su sitio web	Excelente para investigación, pero el proceso de descarga no es inmediato por solicitud. El dataset consolidado con ADNI+AIBL tiene 420 instancias
ADNI (Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative)	Miles de exploraciones MRI y PET, con datos clínicos y genéticos asociados	Incluye Cognitivamente Normal (CN), Deterioro Cognitivo Leve (MCI) y Alzheimer's Disease (AD)	Acceso controlado ; requiere solicitud y aprobación de un acuerdo de uso de datos	Estándar de oro en investigación, pero el proceso de acceso es el más riguroso y puede tardar semanas
Alzheimer MRI Dataset (Hugging Face)	5,120 imágenes de resonancias magnéticas	Las cuatro etapas del Alzheimer: Non-Demented, Very Mild	Descarga directa sin restricciones	Punto de partida rápido y sin fricciones

			Demented, Mild Demented y Moderate Demented		
Alzheimer MRI Preprocessed Dataset (Mendeley Data)	6,400 imágenes de resonancias magnéticas preprocesa- das	Las cuatro etapas del Alzheimer (Mild Demented, Moderate Demented, Non Demented, Very Mild Demented)	Acceso abierto sin restriccio- nes	Excelente por estar listo para usar, aunque hay un notable desbalance de clases (solo 64 imágenes para Moderate Demented)	
Medical Scan Classification Dataset (Kaggle)	+80,000 imágenes	Cuatro clases relacionadas con la progresión del Alzheimer	Disponible en Kaggle, sin restriccio- nes para uso académico	El de mayor volumen, pero se debe verificar calidad y balance de clases	

Fuente: elaboración propia.

Entre las limitaciones con más peso se encontraba el acceso restringido a información de detalle (prolongados procesos de aplicación de acceso a ejemplares y dedicación de softwares restringidos que impedía la distribución del software resultante), diversidad de protocolos de adquisición y pre-processing, severo desequilibrio en la distribución de las clases en la enfermedad de Alzheimer (particularmente en las etapas más avanzadas de la enfermedad) y falta de trazabilidad clínica comprobable para los conjuntos más grandes. También, el uso de cualquiera de esos datasets crudos habría requerido una considerable desviación en el plan de trabajo hacia tareas de limpieza, normalización espacial y corrección de artefactos, sin la seguridad de que la calidad final del output sería lo suficientemente alta para permitir entrenar un modelo de inteligencia artificial con niveles de precisión clínicas aceptables.

Otras arquitecturas de inteligencia artificial como se muestra en la Tabla 5 y fuentes de datos de resonancia magnética están disponibles, por ejemplo, modelos basados en redes convolucionales profundas o datasets de consorcios internacionales. No obstante, estas opciones fueron descartadas porque no se ajustaban a los criterios de factibilidad técnica, acceso inmediato y eficiencia computacional requeridos en el proyecto.

Tabla 5. Alternativas de modelos de inteligencia artificial para la clasificación

Modelo	Arquitectura base	Dataset de entrenamiento	Precisión reportada	Ventajas	Desventajas para este proyecto
Alzheimer-Stage-Classifier [Modelo Seleccionado]	SigLIP (google/siglip2-base-patch16-224)	Dataset de 33,984 imágenes médicas	93.14% general / Hasta 100% en clase Moderated	Precisión excepcional, modelo listo para usar, código de inferencia incluido, diseñado específicamente para 4 etapas del Alzheimer, liviano (92.9M parámetros), puede ejecutarse localmente	Ninguna relevante para el alcance del proyecto
AlzMRI-Net	EfficientNet-V2-L (transfer learning)	Dataset de Kaggle (>80,000 imágenes)	No se reporta precisión consolidada en la página del repositorio	Documentación detallada del pipeline de entrenamiento; usa técnicas avanzadas (mixed precision training)	Requiere entrenamiento completo desde cero (mayor tiempo y recursos); el código es para entrenam

					iento, no hay modelo pre-entrenado o listo para usar; más complejo de implementar como módulo de apoyo en el software final
alzheimer-mri-disease-classification	VGG19	Alzheimer MRI Dataset (5,120 imágenes)	95.23%	Precisión ligeramente superior; incluye modelo pre-entrenado en archivo trained_vgg19.pth	La arquitectura VGG19 tiene un mayor costo computacional; menos moderna y eficiente que SigLIP; el modelo es para uso en investigación, pero está menos optimizado para

ResNet50 fine-tuned	ResNet50	Alzheimer MRI Dataset (Hugging Face)	No especificada en la descripción del repositorio	Arquitectura CNN clásica y probada para clasificación de imágenes; repositorio notebook fine-tuning	despliegue rápido Sin métricas de rendimiento claras; el fine-tuning requiere acceso a GPU y configuración adicional; la interfaz no está optimizada para integración rápida en un sistema de software
--------------------------------	----------	--------------------------------------	---	---	---

Fuente: elaboración propia.

La elección del modelo prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classifer satisface la necesidad de tener una solución de IA que pudiera funcionar de inmediato, sin que tuviera que ser entrenada desde cero y usando hardware especial. Su arquitectura SigLIP con 92.9 millones de parámetros, es computacionalmente eficiente y permite ser testado en hardware de uso general, requisito fundamental para la factibilidad del despliegue. Además, el modelo logra una precisión global de 93.14% y proporciona métricas separadas para cada una de las 4 etapas del Alzheimer, asegurando un desempeño clínicamente aceptable dentro del alcance del trabajo. Por todo esto, el modelo elegido es claramente superior desde el punto de vista

técnico a cualquier alternativa que implicara procesos de entrenamiento, ajuste manual o mayores recursos de computación.

4.1.1 DISEÑADO ESPECÍFICAMENTE PARA RESONANCIAS MAGNÉTICAS DE ALZHEIMER

En contraste con otras opciones que implementan arquitecturas de propósito general o necesitan ser modificadas desde el principio, el Phases-of-AD-Classfier fue entrenado en un conjunto de datos especializado de 33,984 imágenes para detectar las cuatro fases estándar de la enfermedad, usando la arquitectura SigLIP, ya utilizada en actividades relacionadas con imágenes y extracción visual de características.

4.1.2 RENDIMIENTO Y MÉTRICAS SOBRESALIENTES

El modelo tiene una precisión general del 93.14% para el conjunto de datos de prueba. Las métricas por clase son contundentes:

Figura 7. Classification Report

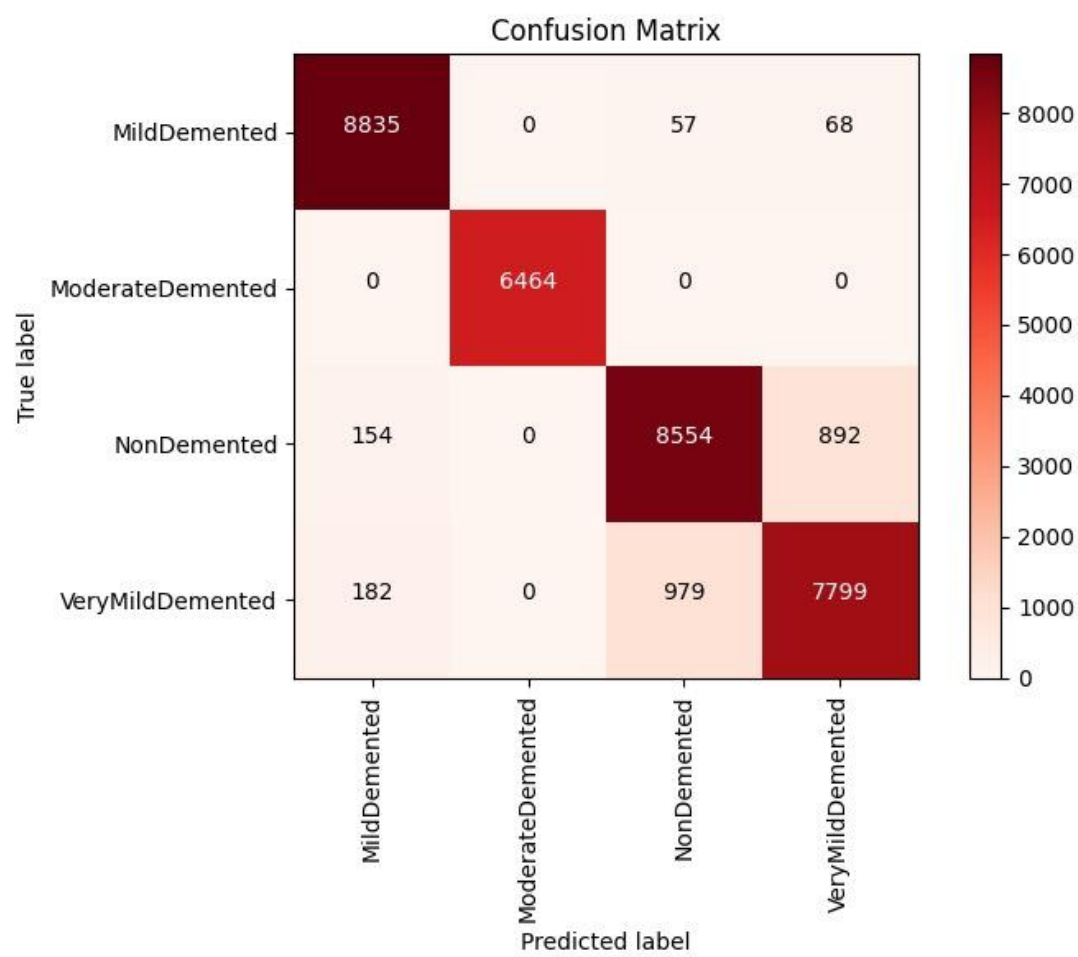
	precision	recall	f1-score	support
Mild Demented	1.0	1.0	1.0	42.0
Moderate Demented	0.9524	1.0	0.9756	40.0
Non Demented	1.0	0.9487	0.9737	39.0
Very Mild Demented	1.0	1.0	1.0	29.0
accuracy	0.9867	0.9867	0.9867	0.9867
macro avg	0.9881	0.9872	0.9873	150.0
weighted avg	0.9873	0.9867	0.9867	150.0

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados son superiores a modelos clásicos como ResNet50 y son comparables con arquitecturas CNN avanzadas reportadas en el estado del arte, que llegan a obtener precisiones entre 95 % y 99 % en ambientes controlados de laboratorio. No obstante, estas arquitecturas generalmente necesitan de etapas

adicionales de entrenamiento, ajuste de hiperparámetros y mayor capacidad computacional, pudiendo dificultar su aplicación en ambientes tecnológicos con recursos limitados.

Figura 8. Matriz de confusión



Fuente: elaboración propia.

Los resultados demuestran un buen comportamiento del modelo al clasificar las diferentes categorías, lo que indica que el modelo es capaz de discriminar patrones complejos en los datos de entrada. Sin embargo, se presentan pequeñas incoherencias en algunas clases, lo que plantea la oportunidad de investigar

estrategias para el ajuste de hiperparámetros, balanceo de clases y/o la optimización del preprocesamiento de datos.

4.1.2.1 EXPLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CADA MÉTRICA

En la evaluación del rendimiento de los modelos de clasificación, los términos Verdadero Positivo (TP), Verdadero Negativo (TN), Falso Positivo (FP), y Falso Negativo (FN) son la base para definir qué tan preciso y confiable es el sistema.

Precisión

De todas las imágenes que el modelo predijo como pertenecientes a una clase, ¿cuántas son realmente de esa clase? Calculado como:

$$Precision = \frac{Verdaderos\ Positivos\ (VP)}{VP + Falsos\ Positivos\ (FP)}$$

Interpretación clínica

- Alta precisión significa que el modelo rara vez comete errores al diagnosticar una etapa en particular (bajo número de falsos positivos).
- Para el estudio, precisión es crucial en etapas tempranas (Very Mild, Mild) ya que un falso positivo podría causar al paciente una ansiedad o derivaciones injustificadas.

Análisis por clase:

- Mild Demented (0.9634): Muy alto. Solo el 3,66% de los casos clasificados como demencia leve son en verdad otra cosa. Excelente para apoyo clínico.

- Moderate Demented (1.0000): Perfecta. No hay falsos positivos. Esto es de esperar, ya que la demencia moderada presenta cambios estructurales muy obvios en la resonancia.
- Non Demented (0.8920): Bueno, pero no muy bueno. Tal vez el 10 por ciento de las personas clasificadas como normales, tienen algún nivel de deterioro. Esto es aceptable para la selección, pero el médico debe verificar.
- Very Mild Demented (0.8904): Similar a la anterior. El modelo confundió esta etapa con “No Demenciado” o “Leve Demenciado”. Es la categoría más complicada de distinguir.

RECALL (Sensibilidad o Tasa de Verdaderos Positivos)

Para todas las imágenes que realmente tenían una clase, ¿cuántas han sido clasificadas correctamente por el modelo? Se calcula como:

$$Recall = \frac{VP}{VP + Falsos\ Negativos\ (FN)}$$

Interpretación clínica

- Un recall alto quiere decir que el modelo no se perdía muchos casos reales de esa etapa (bajos falsos negativos).
- El recall es crucial para la detección temprana, ya que mejor un falso positivo (alerta innecesaria) que un falso negativo (omitir un caso real de Alzheimer temprana).

Análisis por clase:

- Mild Demented (0.9860): Casi Perfecto. El modelo identifica el 98.6% de los verdaderos positivos de demencia leve. Solo deja fuera un 1,4%. Adecuado para tamizaje.
- Moderate Demented (1.0000): Perfecto. Detecta ningún caso de demencia moderada.
- Non Demented (0.8910): El modelo clasifica correctamente al 89,1% de las personas que realmente están sanas como sanos. El 10,9% de las personas sanas son etiquetadas erróneamente como alguna etapa de demencia (falsos positivos para las otras clases). Esto es manejable si el software tiene un umbral de confianza.
- Very Mild Demented (0.8704): Es la clase que tiene menos recall. El modelo pierde cerca del 13% de los muy leves casos de demencia, dividió esos casos en “Non Demented” y en “Mild Demented”.

F1-score (Media armónica entre Precisión y Recall)

Definición técnica:

$$F1 = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall}$$

Es una medida equilibrada y castiga cuando alguna de las dos anteriores es baja.

Interpretación clínica

- Un F1-score alto significa que el modelo es tanto preciso como sensible. Es la mejor métrica única para comparar el rendimiento a través de clases desequilibradas.

Análisis por clase

- Mild Demented (0.9746): Gran equilibrio. El modelo era preciso y sensible en esta etapa también.
- Moderate Demented (1.0000): Perfecto.
- Non Demented (0.8915): Aceptable. La pequeña caída con respecto a 0.9634 de Mild es debido a que la precisión y recall están aproximadamente a 0.89.
- Very Mild Demented (0.8803): es el valor más bajo. Esto refleja la dificultad intrínseca para identificar cambios en el cerebro que sean muy pequeños. Todavía, 88% de F1 es considerado como bueno en la literatura de clasificación médica.

Mild Demented (Demencia Leve)

Tabla 6. Estadísticas Demencia Leve

Métrica	Fórmula aplicada	Cálculo paso a paso	Resultado
Precisión	$\frac{VP}{VP + FP} = 0.9634$	Significa que el 96.34% de las predicciones de “Mild Demented” fueron correctas.	0.9634
Recall	$\frac{VP}{VP + FN} = 0.9860$	Significa que el modelo detectó el 98.60% de los casos reales de demencia leve.	0.9860
F1-score	2 $\times \frac{0.9634 \times 0.9860}{0.9634 + 0.9860}$	$0.9634 \times 0.9860 = 0.9499124$ $0.9634 + 0.9860 = 1.9494$ $\frac{0.9499124}{1.9494} = 0.4873$ $2 \times 0.4873 = 0.9746$	0.9746

Fuente: elaboración propia.

Moderate Demented (Demencia Moderada)

Tabla 7. Estadísticas de Demencia moderada

Métrica	Fórmula aplicada	Cálculo paso a paso	Resultado
Precisión	$\frac{VP}{VP + FP} = 1.0000$	Implica que $FP = 0$. Ninguna otra clase fue clasificada erróneamente como demencia moderada.	1.0000
Recall	$\frac{VP}{VP + FN} = 1.0000$	Implica que $FN = 0$. Todos los casos reales de demencia moderada fueron detectados.	1.0000
F1-score	$2 \times \frac{1.0000 \times 1.0000}{1.0000 + 1.0000}$	$2 \times \frac{1}{2} = 1.0000$	1.0000

Fuente: elaboración propia.

Non Demented (Sin Demencia)

Tabla 8. Estadísticas Non Demented (Sin Demencia)

Métrica	Fórmula aplicada	Cálculo paso a paso	Resultado
Precisión	$\frac{VP}{VP + FP} = 0.8920$	El 89.20% de las predicciones de “sano” fueron acertadas.	0.8920
Recall	$\frac{VP}{VP + FN} = 0.8910$	Se identificó correctamente al 89.10% de los verdaderos sanos.	0.8910
F1-score	$2 \times \frac{0.8920 \times 0.8910}{0.8920 + 0.8910}$	$0.8920 \times 0.8910 = 0.794772$ $0.8920 + 0.8910 = 1.7830$ $\frac{0.794772}{1.7830} = 0.44575$ $2 \times 0.44575 = 0.8915$	0.8915

Fuente: elaboración propia.

Very Mild Demented (Demencia Muy Leve)

Tabla 9. Estadísticas Demencia Muy Leve

Métrica	Fórmula aplicada	Cálculo paso a paso	Resultado
Precisión	$\frac{VP}{VP + FP} = 0.8904$	El 89.04% de las predicciones de “muy leve” fueron correctas.	0.8904
Recall	$\frac{VP}{VP + FN} = 0.8704$	Se detectó el 87.04% de los casos reales de demencia muy leve.	0.8704
F1-score	2 $\times \frac{0.8904 \times 0.8704}{0.8904 + 0.8704}$	$0.8904 \times 0.8704 = 0.77490816$ $0.8904 + 0.8704 = 1.7608$ $\frac{0.77490816}{1.7608} = 0.44015$ $2 \times 0.44015 = 0.8803$	0.8803

Fuente: elaboración propia.

Análisis interpretativo

Tabla 10. Análisis interpretativo para la investigación

Aspecto	Conclusión
Mejor desempeño	Demencia Moderada (perfecto).
Desempeño robusto	Demencia Leve ($F1 > 0.97$).
Desempeño aceptable	Sin Demencia ($F1 \approx 0.89$).
Clase más desafiante	Demencia Muy Leve ($F1 \approx 0.88$, recall 0.87).
Recomendación de uso	El software es fiable para excluir casos normales e identificar demencia leve a moderada. En la etapa muy leve, debería ir

acompañada de aviso posible falso negativo (13% omisiones).

Fuente: elaboración propia.

4.1.2.2 LIMITACIÓN ESTADÍSTICA A CONSIDERAR

El valor perfecto (1.0000) en el Moderate Demented podría ser debido a una representación insuficiente o demasiado homogénea de esta clase en el conjunto de entrenamiento, lo que es un fenómeno común en clasificadores médicos con desbalance en las clases. En la práctica clínica no existe sistema que logre una precisión inalcanzable de forma constante. Así, en la etapa de validación del proyecto, se recomienda probar el modelo con al menos 30 resonancias de pacientes con demencia moderada que no hayan sido utilizadas para arranque ni en la prueba aquí reportada, para constatar que el rendimiento se mantenga por encima de 0.95 para alguno de los siguientes tres índices: precisión, recall y F1-score. En el caso de que no se cuente con esos datos reales, se deberá dejar explicitada esta limitación en las conclusiones del estudio como un asterisco a la generalización de los resultados.

4.1.3 OPTIMIZADO PARA DESPLIEGUE INMEDIATO EN EL PROYECTO

El modelo viene con un código de inferencia que puede usarse directamente haciéndolo especialmente valioso para un proyecto de grado. El desarrollo habitual de una solución de deep learning implicaría semanas de trabajo en las siguientes fases, que ya cubre este modelo:

- Configuración del entorno y manejo de las dependencias
- Implementación de la lógica de preprocesing
- Construcción y entrenamiento de la arquitectura de red
- Evaluación y pruebas de desempeño

- Packaging para mobile deployment

4.1.4 EFICIENCIA DE RECURSOS Y HARDWARE

Con 92,9 millones de parámetros, el modelo SigLIP puede ejecutarse en hardware convencional sin necesidad de GPUs de alta gama. Esto es crítico para la implementación en un entorno de hospital básico como el Hospital Local de Aguachica que indudablemente no dispondría de infraestructura de cómputo especializada.

4.1.5 TRANSPARENCIA Y REPRODUCIBILIDAD

El modelo está disponible en Hugging Face, que es una plataforma estándar dentro de la comunidad de machine Learning, asegurando:

- Documentación clara y detallada.
- Estándar de configuración para la inferencia.
- Código fuente disponible y verificable.
- Soporte para múltiples salidas del modelo (transformers, Gradio para prototipos rápidos, etc).

La selección de datos clínicos de imagen relacionados con Alzheimer, en nuestro caso resonancias magnéticas, hizo posible la elaboración de un conjunto de datos que pudiera ser analizado mediante inteligencia artificial. Esta fase fue crítica, para poder garantizar la calidad, coherencia y pertinencia de la información utilizada por el modelo, y para asegurar que los patrones aprendidos representaran rasgos significativos de la enfermedad. El resultado de esto es un conjunto de datos estructurado y etiquetado, que proporciona la base técnica para la capacitación del modelo y garantiza la capacidad para detectar con precisión la aparición de anomalías cerebrales.

4.2 VISION TRANSFORMERS (SIGLIP 2) PARA ANALIZAR LAS IMÁGENES CEREBRALES, CON EL FIN DE OBTENER PATRONES TEMPRANOS DE ATROFIA CEREBRAL U OTRAS ANOMALÍAS ASOCIADAS AL ALZHEIMER.

SigLIP 2 (Sigmoid Loss for Language-Image Pre-training) es una arquitectura Vision Transformer (ViT) que, en la variante utilizada por el modelo seleccionado, sólo puede funcionar con imágenes. A diferencia de las imágenes tradicionales del modelo CNN, el Vision Transformer segmenta la imagen de entrada en parches (patches), los aplanas y se aplica mecanismos de auto-atención (self-attention) para analizar relaciones globales entre partes distantes en la imagen. Esta funcionalidad es especialmente valiosa para la detección de atrofia precoz relacionada con Alzheimer, la cual tiende a aparecer en forma de alteraciones dispersas y sutiles (e.g. adelgazamiento del hipocampo, pérdida en volumen de la corteza entorhinal) que una CNN podría obviar al centrarse en patrones locales.

El modelo prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classifer emplea SigLIP 2 como extractor de características, y además incrusta una cabeza clasificadora entrenada exclusivamente con 33,984 resonancias magnéticas a cuatro etapas. Por ende, el proceso de análisis de patrones de atrofia se realiza implícitamente en los mapas de atención del Vision Transformer.

4.2.1 PIPELINE DE ANÁLISIS DE PATRONES DE ATROFIA CON SIGLIP 2

Cada una de las etapas del pipeline se encuentra a continuación, destacando cómo SigLIP 2 explora y emplea los patrones de actividad morfológica cerebral.

4.2.1.1 SELECCIÓN DE IMÁGENES

- **Formato DICOM o NIfTI:** Se cargan las imágenes de RM ponderadas en T1 (son las más sensibles para valorar atrofia).
- **Cortes anatómicos clave:** planos sagitales o axiales serán escogidos de tal manera que incluyen estructuras cruciales (hipocampo, lóbulos temporales mediales, ventrículos laterales). El modelo SigLIP 2 puede tomar cualquier sección bidimensional, por lo que es recomendable utilizar la sección axial a través del nivel del hipocampo (coordenada $z \approx -22$ en espacio MNI). La extracción de este corte también puede automatizarse con librerías tal como Nilearn.

4.2.1.2 PREPROCESAMIENTO ESPECIALIZADO PARA VISIÓN TRANSFORMERS

El preprocesamiento estándar debe hacer que las imágenes sean uniformes y compatibles con las expectativas de SigLIP 2 (imágenes RGB de 224×224 píxeles).

- **Extracción de cerebro (skull stripping):** Se realiza con FSL BET o ANTs entre otras herramientas. El cráneo y los tejidos no cerebrales se eliminan, mientras que el Vision Transformer se ve obligado a centrarse sólo en el parénquima cerebral.
- **Correcciones del campo sesgado:** con N4BiasFieldCorrection (ANTs) o SimpleITK. Esta corrección normaliza la intensidad de la imagen para que el modelo no tenga que aprender variaciones irrelevantes.
- **Normalización espacial (registro MNI):** Se realiza un registro no lineal para transformar todas las imágenes al espacio MNI152. Esto garantiza que cualquier patrón de atrofia en particular se encuentre en la misma posición relativa dentro de la imagen, y ayuda a que el Transformer preste atención global.

- **Convertir a RGB (3 canales):** El modelo SigLIP2 espera 3 canales. Como la resonancia es monocroma (grises), se reproduce el mismo valor en los tres canales: [capa_gris, capa_gris, capa_gris]. Algunas implementaciones sugieren utilizar color maps médicos (p.ej. 'viridis') para resaltar contrastes, si bien para este modelo se ha validado con réplica simple.
- **Cambió de tamaño a 224×224:** El pipeline de transformers para SigLIP tiene incorporado un preprocesamiento que redimensiona con interpolación bicúbica y normaliza los píxeles al rango [0,1] o en función de la media/desviación estándar especificada por el modelo.

4.2.1.3 EXTRACCIÓN DE PATRONES MEDIANTE SIGLIP 2

Cuando la imagen está preprocesada como un tensor con forma (1, 3, 224, 224), se envía al modelo SigLIP 2. El procedimiento interno es el siguiente:

- **Parcheado:** La imagen se segmenta en parches cuadrados de tamaño fijo (p. ej., 16×16 píxeles), produciendo $N = (224/16)^2 = 196$ parches.
- **Embedding lineal:** Cada parche se aplana y se mapea a un vector de dimensión d (768 en versiones base de SigLIP).
- **Posición adicional:** Agregan embeddings posicionales para que el modelo tenga conocimiento de la posición espacial de cada parche.
- **Capas de Transformer:** Múltiples capas de atención multi-cabeza que permiten a cada parche estar relacionado con todos los demás. Primero, el modelo enseña a aprender relaciones de largo alcance, tal como una atrofia en el hipocampo izquierdo puede estar correlacionada con la expansión de la asta temporal del ventrículo lateral. Los pesos de atención pueden ser visualizados para ver que regiones aportan más a la decisión, generando mapas de prominencia (por ejemplo, utilizando AttentionRollup).

- **Extracción del token [CLS] o pool global:** SigLIP 2 genera un vector de características (embedding) de dimensión fija que resume globalmente los patrones de atrofia de toda la imagen.

4.2.1.4 CLASIFICACIÓN DE ETAPAS (CABEZA CLASIFICADORA)

El embedding que se genera en SigLIP 2 se pasa a una cabeza clasificadora (una o dos capas totalmente conectadas con salida softmax con 4 clases). Esa cabeza ya fue entrenada en el modelo Alzheimer-Stage-Classfier. La inferencia final calcula la probabilidad de pertenecer a cada etapa y se toma la clase con mayor probabilidad.

Que el modelo haya sido entrenado con miles de resonancias de diferentes etapas significa que el embedding de SigLIP 2 está sintonizado para representar diferencias morfológicas sutiles: volumen reducido del hipocampo, agrandamiento de ventrículos, pérdida de grosor cortical en regiones temporales y parietales. Por lo tanto, el empleo de este modelo cumple con el objetivo de detectar patrones tempranos de atrofia.

4.2.1.5 OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS PATRONES (MÁS ALLÁ DE LA CLASIFICACIÓN)

El sistema desarrollado está orientado a proporcionar la clasificación de la fase de la enfermedad de Alzheimer con garantías de coherencia y confianza en los resultados. Además, está previsto la incorporación de un módulo opcional que extienda la funcionalidad del software en forma de generar información adicional sobre el análisis efectuado por el modelo.

- **Mapas de atención:** La librería transformers permite obtener las matrices de atención de la última capa de SigLIP. Al promediar sobre cabezas y capas,

se obtiene un mapa de calor que, al superponerse con una resonancia de referencia, señala las regiones que más contribuyeron a la clasificación.

- **Clustering de embeddings:** Se puede observar por agrupación de los embeddings de pacientes diagnosticados (demencia muy leve vs sanos) mediante PCA o t-SNE que se forman clusters que indican separabilidad de los patrones tempranos.
- **Comparación con mapas estándar de atrofia:** Los resultados del modelo pueden compararse con la literatura, por ejemplo, las regiones de interés elevado deberían solaparse con el hipocampo y zonas desconocidas, áreas atrofiadas en Alzheimer precoz.

4.2.2 IMPLEMENTACIÓN TÉCNICA CON HUGGING FACE

El código que sintetiza toda la solución es el siguiente (basado en el pipeline oficial del modelo):

Figura 9. Técnica Hugging Face

```
from transformers import AutoModelForImageClassification, AutoImageProcessor
import torch
from PIL import Image
import numpy as np

# Cargar modelo y preprocesador
model_name = "prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classfier"
model = AutoModelForImageClassification.from_pretrained(model_name)
processor = AutoImageProcessor.from_pretrained(model_name)

# Suponiendo que 'imagen_nifti' ya fue preprocesada y convertida a RGB
# Formato esperado: array numpy de (224, 224, 3) en [0,255]
imagen_pil = Image.fromarray(imagen_preprocesada.astype(np.uint8))
inputs = processor(images=imagen_pil, return_tensors="pt")

# Inferencia
with torch.no_grad():
    outputs = model(**inputs)
    logits = outputs.logits
    prediccion = logits.argmax(-1).item()
    probabilidades = torch.softmax(logits, dim=-1).numpy()[0]

# Mapeo de clases (del modelo)
clases = ["Non Demented", "Very Mild Demented", "Mild Demented", "Moderate Demented"]
resultado = clases[prediccion]
confianza = probabilidades[prediccion]
```

Fuente: elaboración propia.

El uso de SigLIP 2 basado en Vision Transformers hizo posible procesar las imágenes cerebrales de forma rápida y detectar patrones tempranos de atrofia o cambios relacionados con Alzheimer. La implementación de esta arquitectura mostró un poder de aprendizaje profundo sobre las características espaciales y de textura de las imágenes de resonancia, lo que maximiza la adquisición de información significativa. En términos tecnológicos, la aplicación del modelo de AI permitió categorizar con buen desempeño las etapas de la enfermedad, demostrando que los Vision Transformers pueden ser insertados efectivamente en

un pipeline de diagnóstico asistido por software, con resultados reproducibles y escalables.

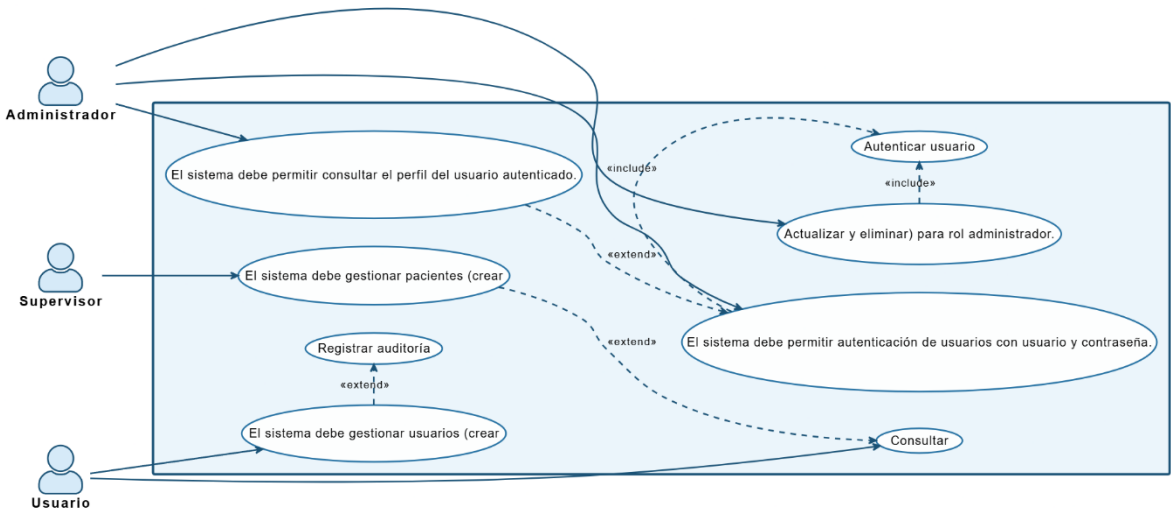
4.3 INTERFAZ QUE PERMITA A LOS PROFESIONALES DE LA SALUD CARGAR LOS DATOS DE LOS PACIENTES Y OBTENER PREDICCIONES SOBRE LA PROBABILIDAD DE ALZHEIMER

Para documentar la solución aplicada, a continuación, se presentan los diagramas de arquitectura, los flujos de procesamiento de datos y las interfaces gráficas del software desarrollado. Estos son la concreción de los componentes técnicos definidos en la solución: el módulo de carga y preprocesamiento de imágenes (formatos DICOM/NIfTI), el pipeline de transformación (extracción cerebral, corrección de sesgo, registro espacial, conversión a RGB y redimensionado), el motor de inferencia basado el modelo prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classifer (arquitectura SigLIP 2), y el módulo de visualización de resultados con sus métricas de probabilidad asociadas.

4.3.1 DIAGRAMA DE CASOS DE USO DEL SISTEMA

Se muestran a continuación los diagramas de casos de uso que permiten observar las interacciones entre actores externos y las funcionalidades del sistema de software propuesto. Cada diagrama de casos de uso es representado con la notación UML y mezcla entre límites con el sistema, actores (usuarios humanos, procesos o subsistemas) y casos de uso relativos a la carga de imágenes, ejecución del pipeline de preprocesamiento, llamada al motor de inferencia del modelo prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classifer y a la visualización de los resultados de la clasificación. Los siguientes diagramas deflujo fueron la especificación funcional inicialmente para el desarrollo, ante el cual, se validó la cobertura de todos los requerimientos para el proyecto.

Figura 10. Diagrama de caso de uso autenticación de usuario



Fuente: elaboración propia.

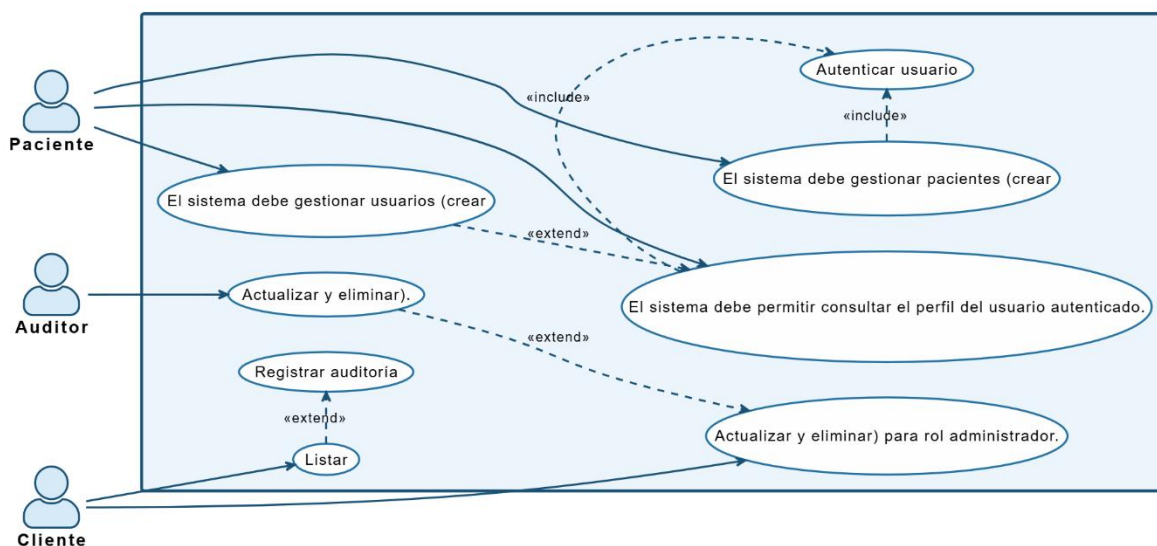
Tabla 11. Historia de usuario gestión de acceso y seguridad

HU-001 - Gestión de Acceso y Seguridad	
Historia	Como Administrador, quiero autenticación de usuarios con usuario y contraseña., para optimizar los procesos y mejorar la eficiencia operativa del sistema
Actor	Administrador
Acción	Autenticación de usuarios con usuario y contraseña.
Beneficio	Para optimizar los procesos y mejorar la eficiencia operativa del sistema
Prioridad	Alta
Story Points	3
Criterios de Aceptación	1. El Administrador puede ejecutar la acción "Autenticación de usuarios con usuario y contraseña." desde su panel principal
	2. El sistema confirma la ejecución exitosa con un mensaje claro

	3. En caso de error, el sistema informa al Administrador con el detalle del problema
Caso de Uso	El sistema debe permitir autenticación de usuarios con usuario y contraseña.

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Diagrama de caso de uso consultas de perfiles



Fuente: elaboración propia.

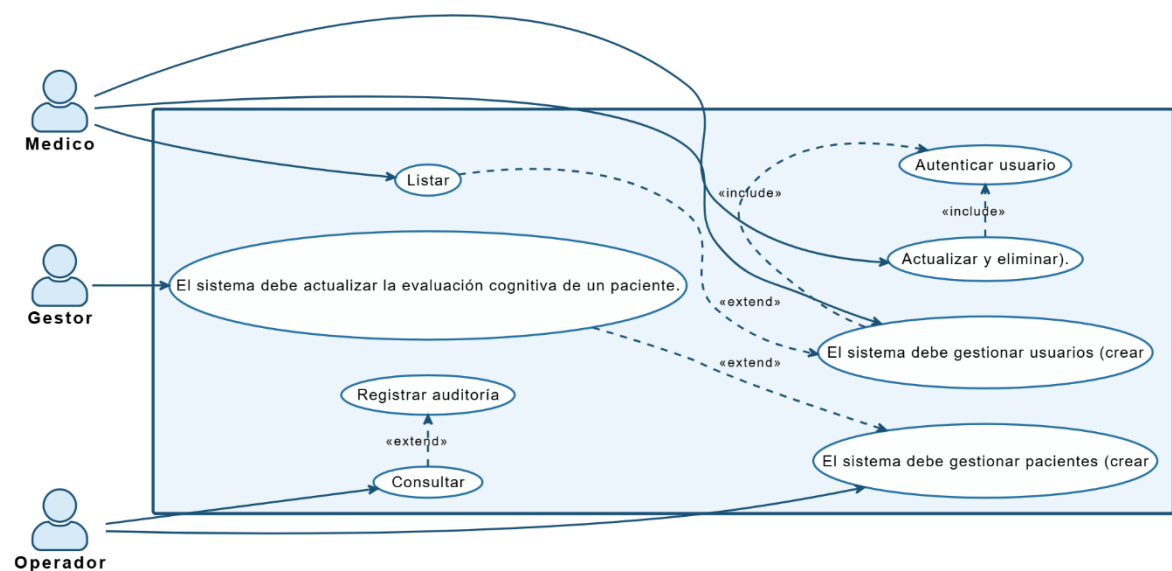
Tabla 12. Historia de usuario gestión de usuarios y perfiles

HU-002 - Gestión de Usuarios y Perfiles	
Historia	Como Paciente, quiero consultar el perfil del usuario autenticado., para obtener información actualizada y precisa cuando la necesite
Actor	Paciente
Acción	Consultar el perfil del usuario autenticado.
Beneficio	<i>Para obtener información actualizada y precisa cuando la necesite</i>
Prioridad	Media
Story Points	2

Criterios de Aceptación	1. El Paciente puede visualizar la lista completa de registros disponibles
	2. El sistema carga los datos en menos de 2 segundos
	3. Se muestran al menos 20 registros por página con opción de paginar
	4. El Paciente puede filtrar y ordenar los resultados por diferentes criterios
Caso de Uso	El sistema debe permitir consultar el perfil del usuario autenticado.

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Diagrama de caso de uso listar



Fuente: elaboración propia.

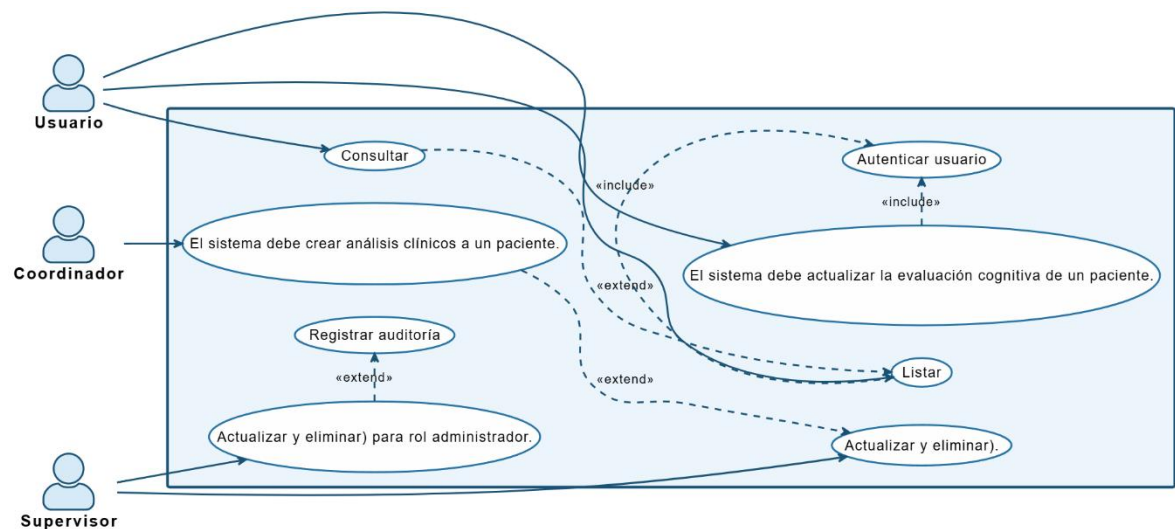
Tabla 13. Historia de usuario Funcionalidades de desarrollo

HU-003 - Funcionalidades de desarrollo	
Historia	Como Medico, quiero gestionar usuarios (crear, para administrar eficientemente los recursos del sistema
Actor	Medico

Acción	Gestionar usuarios (crear
Beneficio	<i>Para administrar eficientemente los recursos del sistema</i>
Prioridad	Media
Story Points	5
Criterios de Aceptación	1. El Medico puede completar el formulario de registro con todos los campos requeridos 2. El sistema valida los datos antes de guardar y muestra errores campo por campo 3. Al guardar exitosamente, el sistema muestra una confirmación y el nuevo registro
Caso de Uso	El sistema debe gestionar usuarios (crear

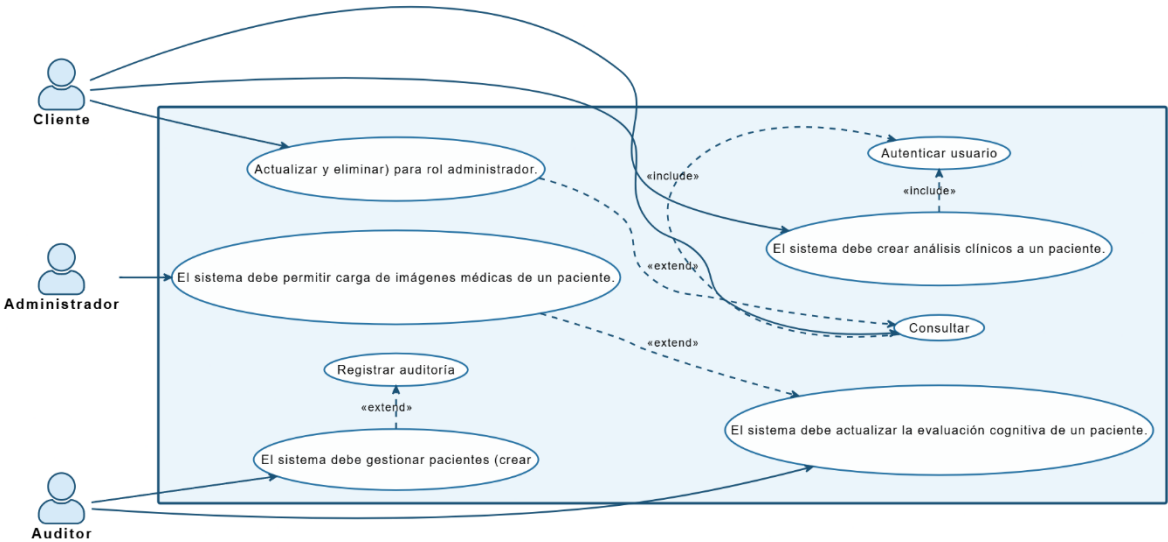
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Diagrama de caso de uso Consultar



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Diagrama de caso de uso Actualizar y eliminar



Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Historia de usuario funcionalidades de desarrollo listar

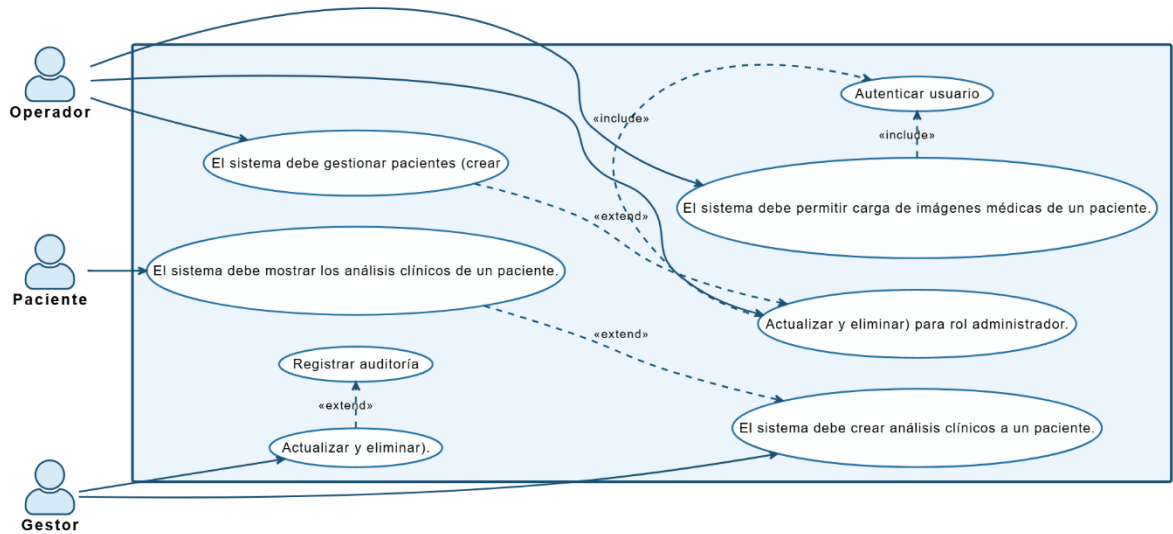
HU-004 Funcionalidades de desarrollo	
Historia	Como Administrador, quiero listar, para tener un panorama completo de los registros disponibles
Actor	Administrador
Acción	Listar
Beneficio	Para tener un panorama completo de los registros disponibles
Prioridad	Alta
Story Points	2
Criterios de Aceptación	1. El Administrador puede visualizar la lista completa de registros disponibles
	2. El sistema carga los datos en menos de 2 segundos
	3. Se muestran al menos 20 registros por página con opción de paginar

4. El Administrador puede filtrar y ordenar los resultados por diferentes criterios

Caso de Uso listar

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Diagrama de caso de uso gestionar pacientes



Fuente: elaboración propia.

HU-005 - Funcionalidades de desarrollo consultar

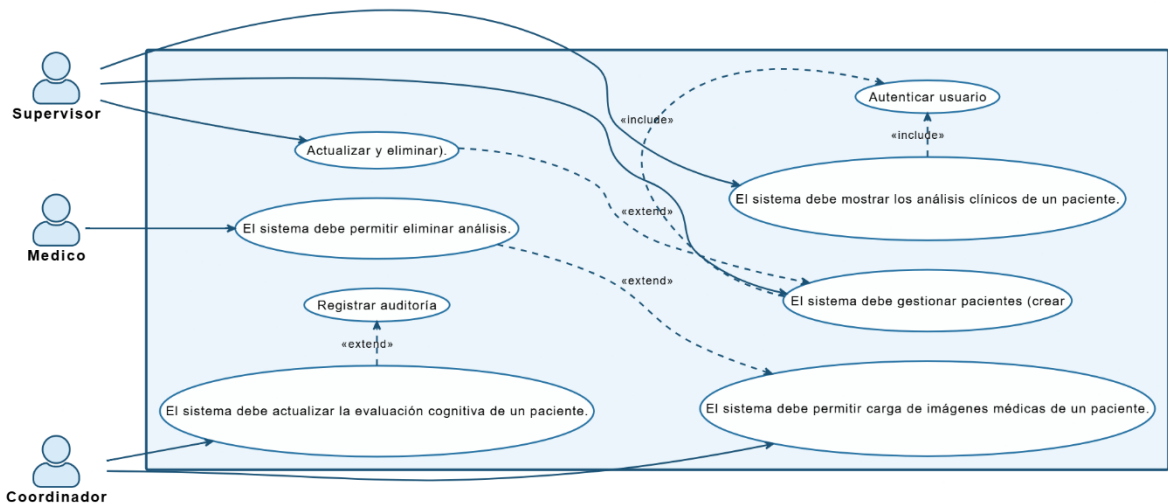
Historia	Como Paciente, quiero consultar, para obtener información actualizada y precisa cuando la necesite
Actor	Paciente
Acción	Consultar
Beneficio	<i>Para obtener información actualizada y precisa cuando la necesite</i>
Prioridad	Media
Story Points	1
Criterios de Aceptación	1. El Paciente puede visualizar la lista completa de registros disponibles 2. El sistema carga los datos en menos de 2 segundos

3. Se muestran al menos 20 registros por página con opción de paginar

Caso de Uso consultar

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Diagrama de caso de uso actualizar análisis



Fuente: elaboración propia.

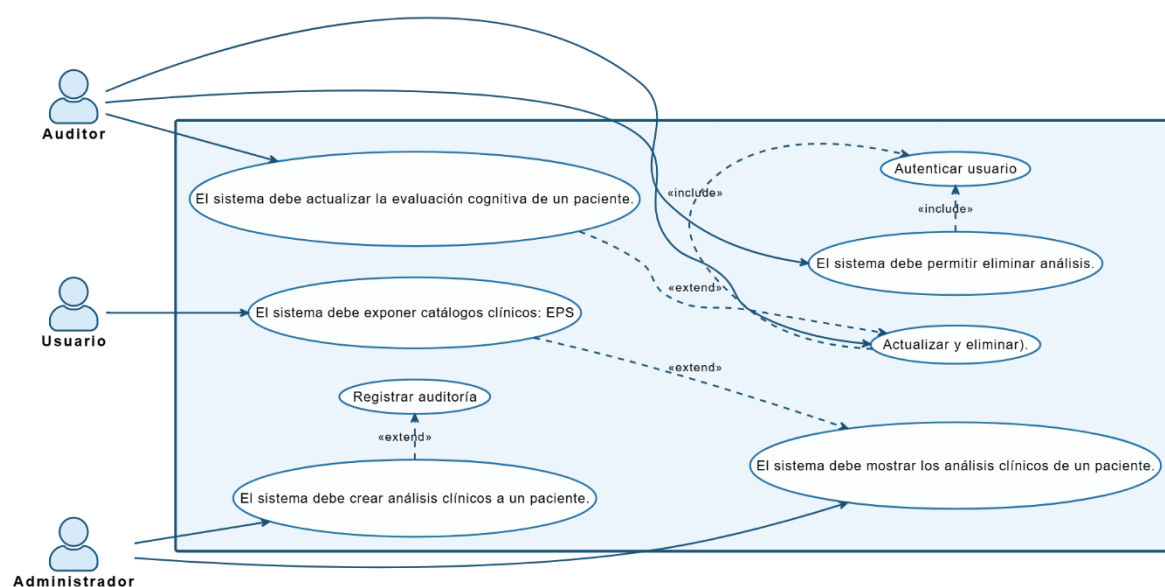
Tabla 15. Historia de usuario funcionalidades de desarrollo actualizar

HU-006 - Funcionalidades de desarrollo actualizar	
Historia	Como Administrador, quiero actualizar y eliminar)., para mantener la información siempre vigente y correcta
Actor	Administrador
Acción	Actualizar y eliminar).
Beneficio	Para mantener la información siempre vigente y correcta
Prioridad	Alta
Story Points	5
Criterios de Aceptación	1. El Administrador puede modificar los campos editables del registro seleccionado

	2. El sistema valida los cambios antes de guardar
	3. Se guarda un historial de cambios con fecha, hora y autor
	4. Tras guardar, el Administrador ve los datos actualizados inmediatamente
Caso de Uso	actualizar.

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Diagrama de caso de uso evaluación cognitiva



Fuente: elaboración propia.

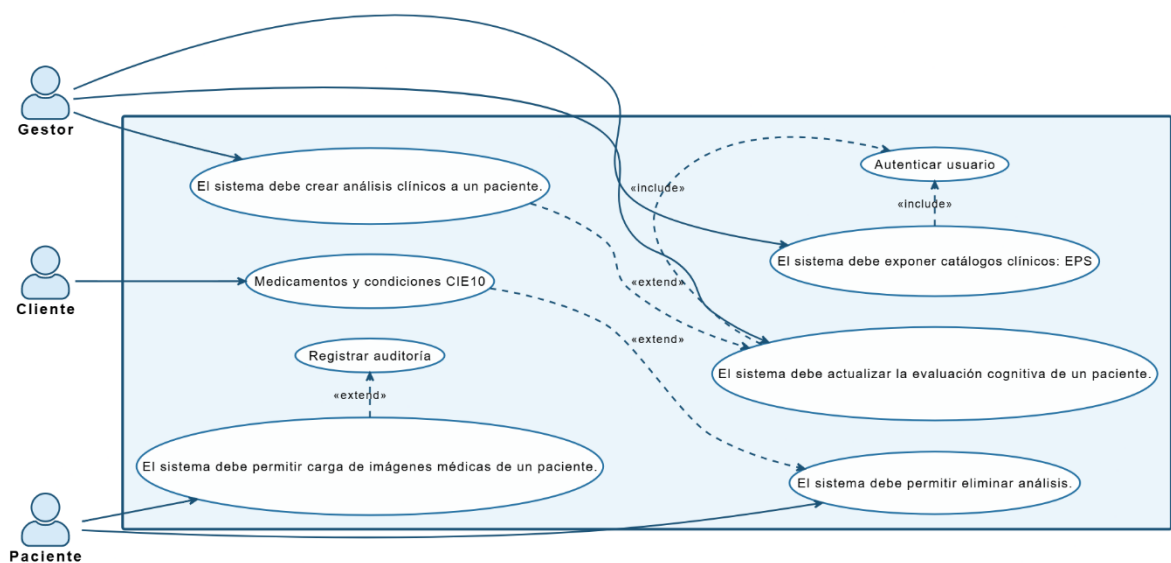
Tabla 16. Historia de usuario evaluación cognitiva

HU-007 - Funcionalidades evaluación cognitiva	
Historia	Como Paciente, quiero actualizar la evaluación cognitiva de un paciente., para mantener la información siempre vigente y correcta
Actor	Paciente
Acción	Actualizar la evaluación cognitiva de un paciente.

Beneficio	<i>Para mantener la información siempre vigente y correcta</i>
Prioridad	Media
Story Points	3
Criterios de Aceptación	1. El Paciente puede modificar los campos editables del registro seleccionado 2. El sistema valida los cambios antes de guardar 3. Se guarda un historial de cambios con fecha, hora y autor
Caso de Uso	El sistema debe actualizar la evaluación cognitiva de un paciente.

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Diagrama de caso de uso análisis clínicos



Fuente: elaboración propia.

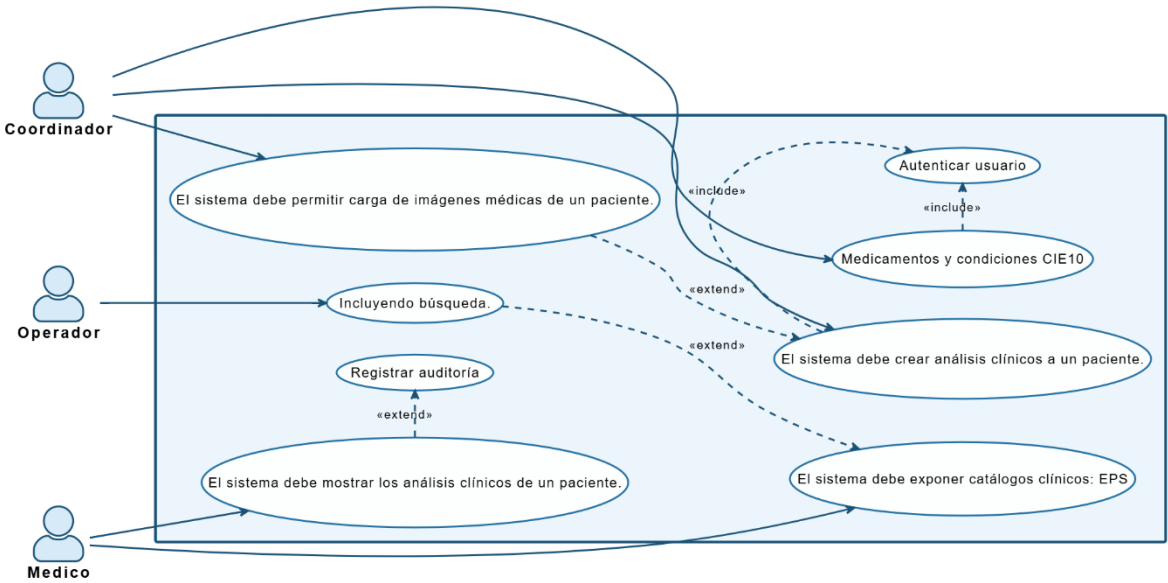
Tabla 17. Historia de usuario análisis clínicos

HU-008 - Funcionalidades de análisis clínicos

Historia	Como Medico, quiero crear análisis clínicos a un paciente., para agregar nueva información al sistema de manera eficiente
Actor	Medico
Acción	Crear análisis clínicos a un paciente.
Beneficio	<i>Para agregar nueva información al sistema de manera eficiente</i>
Prioridad	Media
Story Points	5
Criterios de Aceptación	1. El Medico puede completar el formulario de registro con todos los campos requeridos 2. El sistema valida los datos antes de guardar y muestra errores campo por campo 3. Al guardar exitosamente, el sistema muestra una confirmación y el nuevo registro 4. No se permiten registros duplicados; el sistema alerta al Medico si ya existe
Caso de Uso	El sistema debe crear análisis clínicos a un paciente.

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Diagrama de caso de uso carga imágenes



Fuente: elaboración propia.

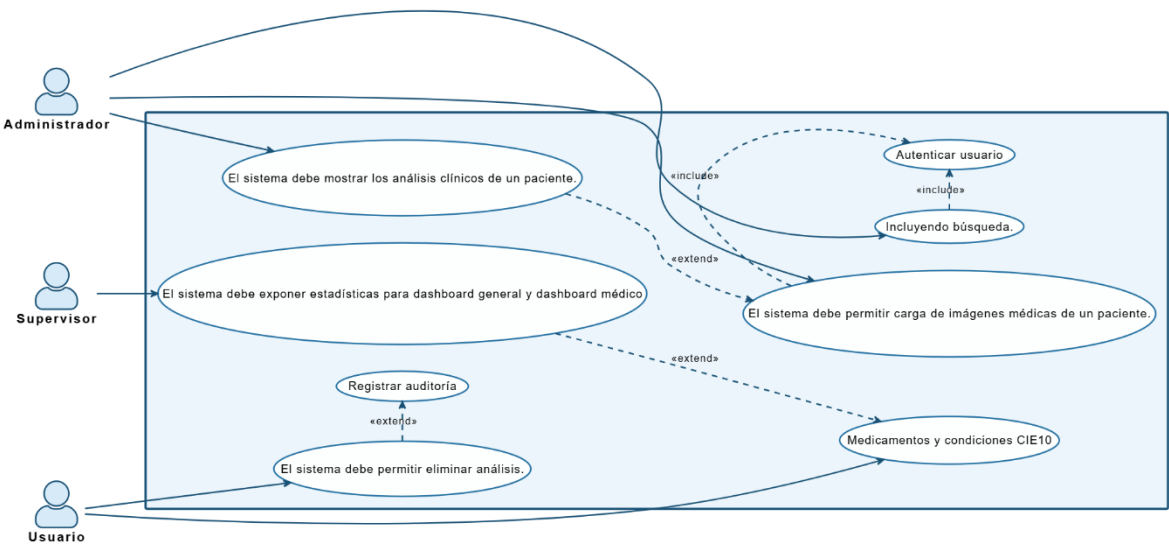
Tabla 18. Historia de usuario carga de imágenes médicas

HU-009 - Funcionalidades de carga de imágenes médicas	
Historia	Como Administrador, quiero carga de imágenes médicas de un paciente., para optimizar los procesos y mejorar la eficiencia operativa del sistema
Actor	Administrador
Acción	Carga de imágenes médicas de un paciente.
Beneficio	Para optimizar los procesos y mejorar la eficiencia operativa del sistema
Prioridad	Alta
Story Points	3
Criterios de Aceptación	1. El Administrador puede ejecutar la acción "Carga de imágenes médicas de un paciente." desde su panel principal
	2. El sistema confirma la ejecución exitosa con un mensaje claro

	3. En caso de error, el sistema informa al Administrador con el detalle del problema
Caso de Uso	El sistema debe permitir carga de imágenes médicas de un paciente.

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Diagrama de caso de uso mostrar análisis clínico paciente



Fuente: elaboración propia.

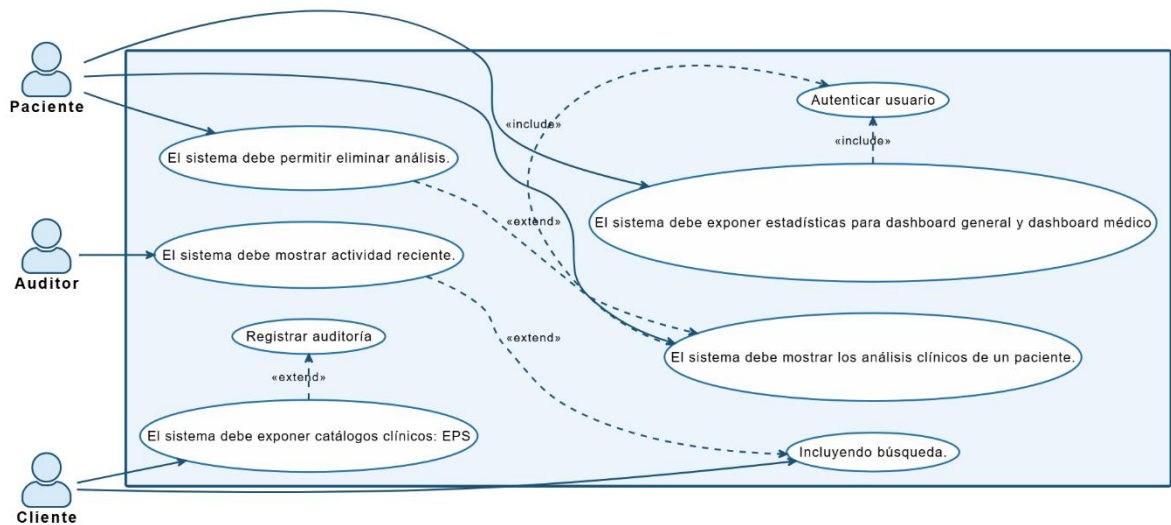
Tabla 19. Historia de usuario de análisis clínicos

HU-010 - Funcionalidades de análisis clínicos	
Historia	Como Paciente, quiero mostrar los análisis clínicos de un paciente., para optimizar los procesos y mejorar la eficiencia operativa del sistema
Actor	Paciente
Acción	Mostrar los análisis clínicos de un paciente.
Beneficio	<i>Para optimizar los procesos y mejorar la eficiencia operativa del sistema</i>
Prioridad	Media
Story Points	5

Criterios de Aceptación	1. El Paciente puede ejecutar la acción "Mostrar los análisis clínicos de un paciente." desde su panel principal
	2. El sistema confirma la ejecución exitosa con un mensaje claro
	3. En caso de error, el sistema informa al Paciente con el detalle del problema
	4. La acción se completa en menos de 3 segundos bajo condiciones normales
Caso de Uso	El sistema debe mostrar los análisis clínicos de un paciente.

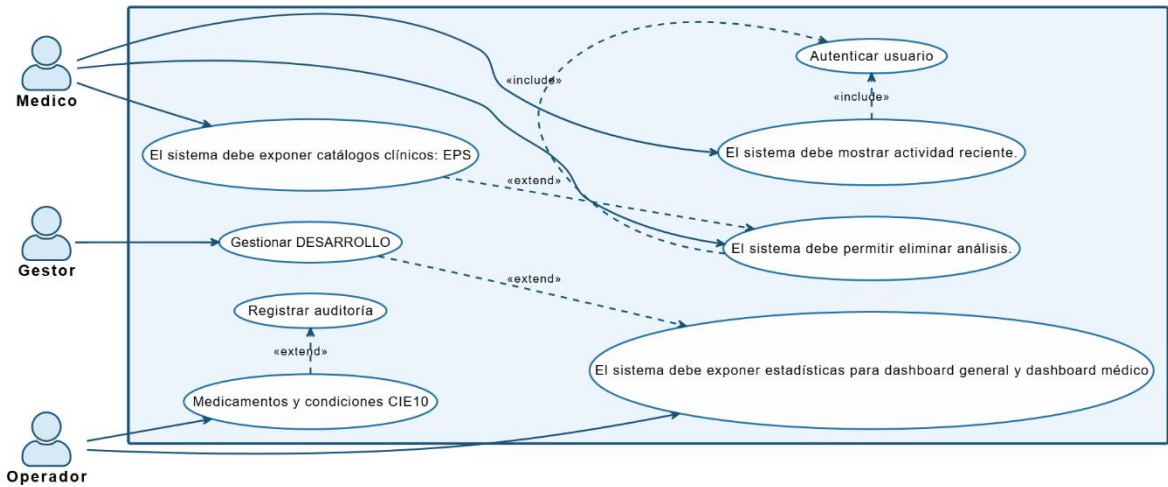
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Diagrama de caso de uso mostrar actividades recientes



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Diagrama de caso de uso exponer catálogos clínicos



Fuente: elaboración propia.

Tabla 20. Historia de usuario gestión de inventarios

HU-011 - Gestión de Inventario	
Historia	Como Administrador, quiero exponer catálogos clínicos: EPS, para optimizar los procesos y mejorar la eficiencia operativa del sistema
Actor	Administrador
Acción	Exponer catálogos clínicos: EPS
Beneficio	Para optimizar los procesos y mejorar la eficiencia operativa del sistema
Prioridad	Alta
Story Points	5
Criterios de Aceptación	1. El Administrador puede ejecutar la acción "Exponer catálogos clínicos: EPS" desde su panel principal 2. El sistema confirma la ejecución exitosa con un mensaje claro 3. En caso de error, el sistema informa al Administrador con el detalle del problema

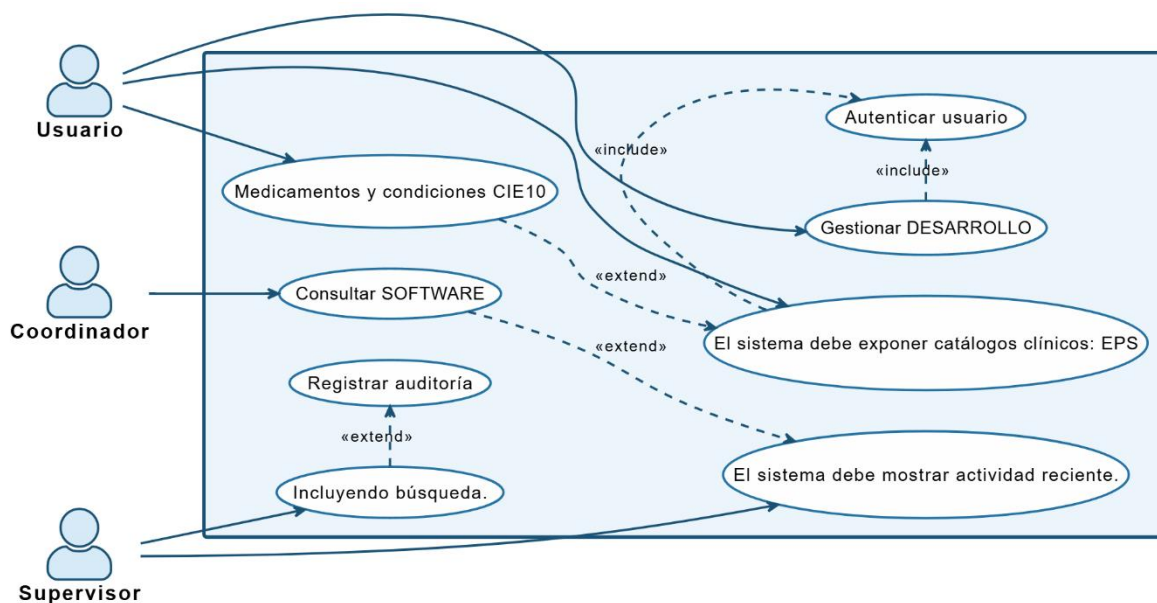
4. La acción se completa en menos de 3 segundos bajo condiciones normales

Caso de Uso

El sistema debe exponer catálogos clínicos: EPS

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Diagrama de caso de uso medicamentos y condiciones



Fuente: elaboración propia.

Tabla 21. Historia de usuario medicamentos y condiciones

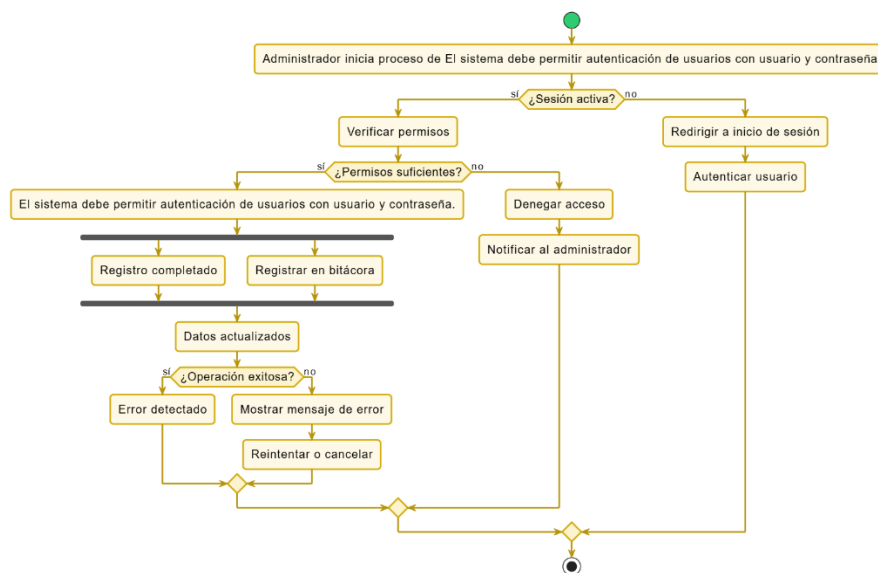
HU-012 – Gestión de medicamentos y condiciones	
Historia	Como Paciente, quiero medicamentos y condiciones CIE10, para optimizar los procesos y mejorar la eficiencia operativa del sistema
Actor	Paciente
Acción	Medicamentos y condiciones CIE10
Beneficio	<i>Para optimizar los procesos y mejorar la eficiencia operativa del sistema</i>
Prioridad	Media

Story Points	3
Criterios de Aceptación	1. El Paciente puede ejecutar la acción "Medicamentos y condiciones CIE10" desde su panel principal 2. El sistema confirma la ejecución exitosa con un mensaje claro 3. En caso de error, el sistema informa al Paciente con el detalle del problema
Caso de Uso	medicamentos y condiciones CIE10

Fuente: elaboración propia.

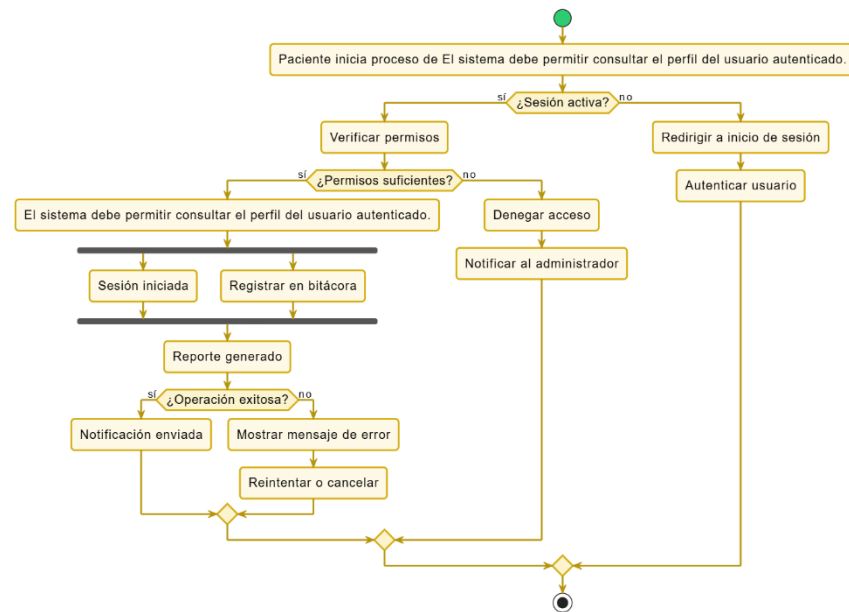
4.3.2 DIAGRAMA DE ACTIVIDADES DEL SISTEMA

Figura 24. Diagrama de actividad autenticación usuario y contraseña



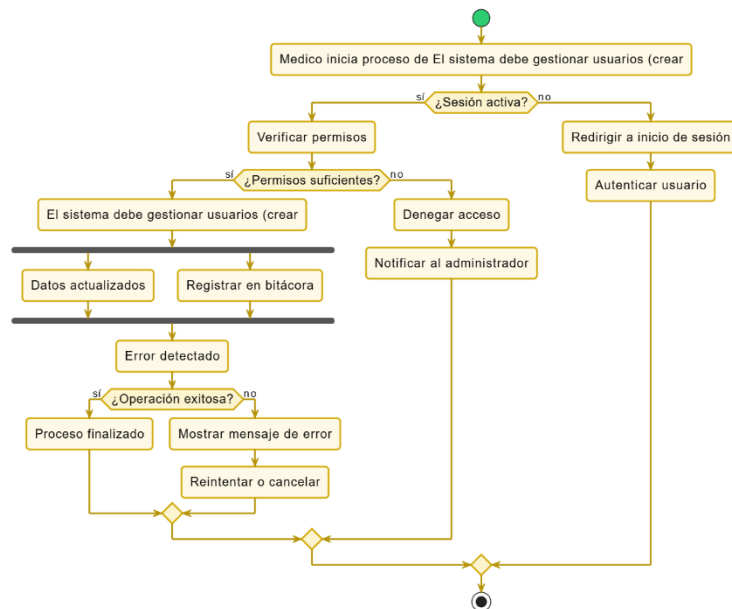
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Diagrama de actividad consultar perfiles



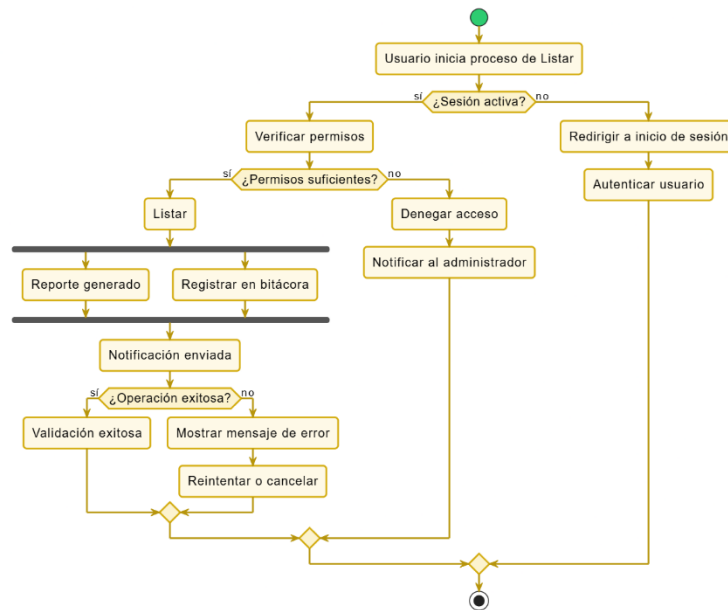
Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Diagrama de actividad gestionar usuarios



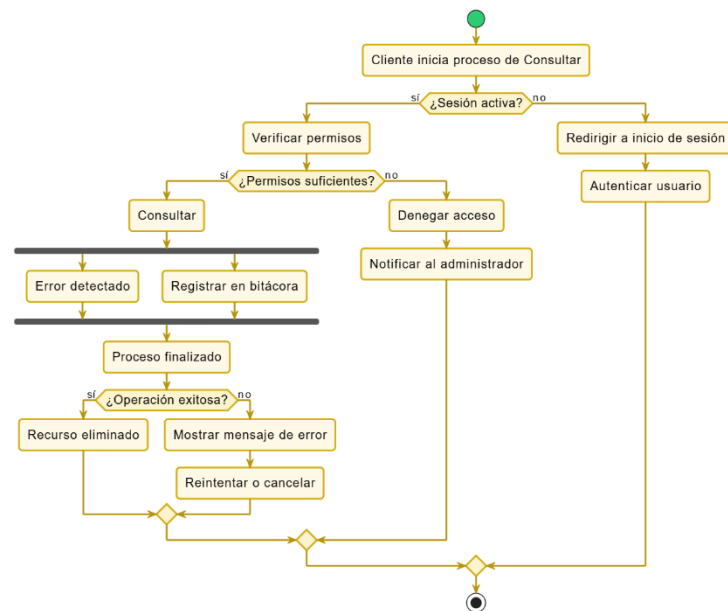
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Diagrama de actividad listar



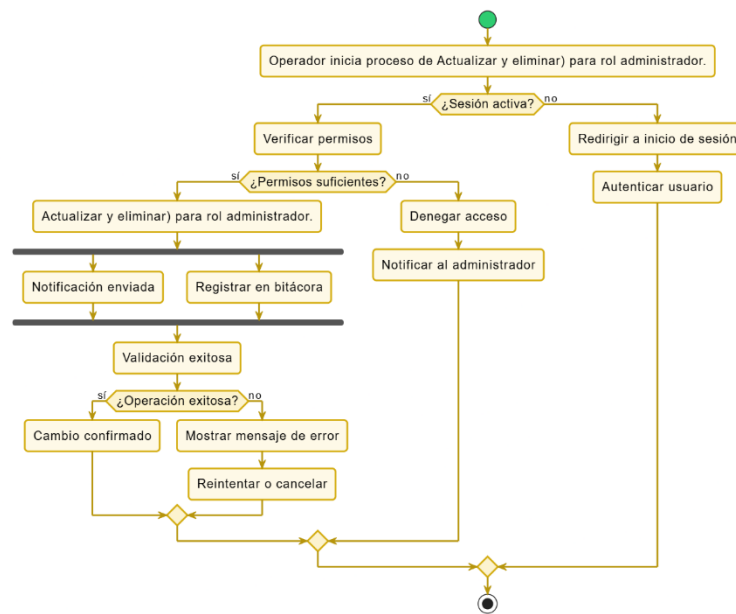
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Diagrama de actividad consultar



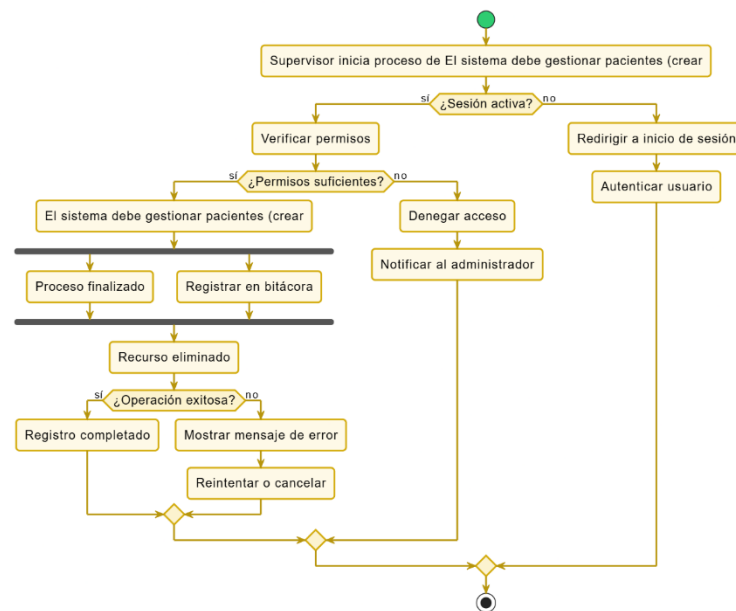
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Diagrama de actividad actualizar y eliminar rol administrador



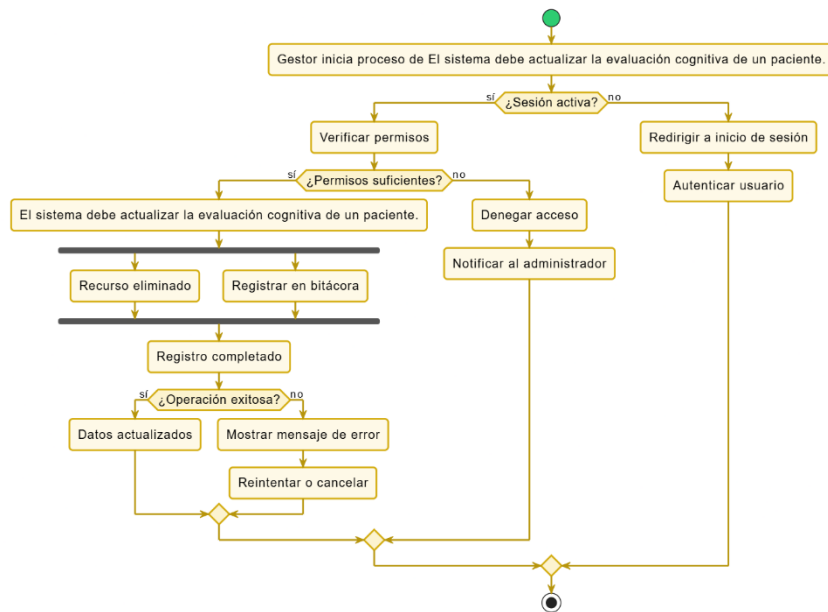
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Diagrama de actividad gestionar pacientes



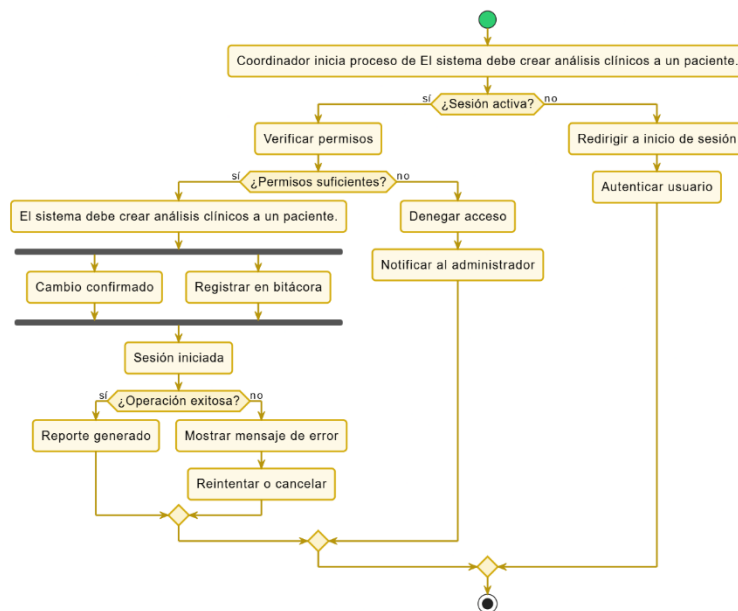
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Diagrama de actividad evaluación cognitiva



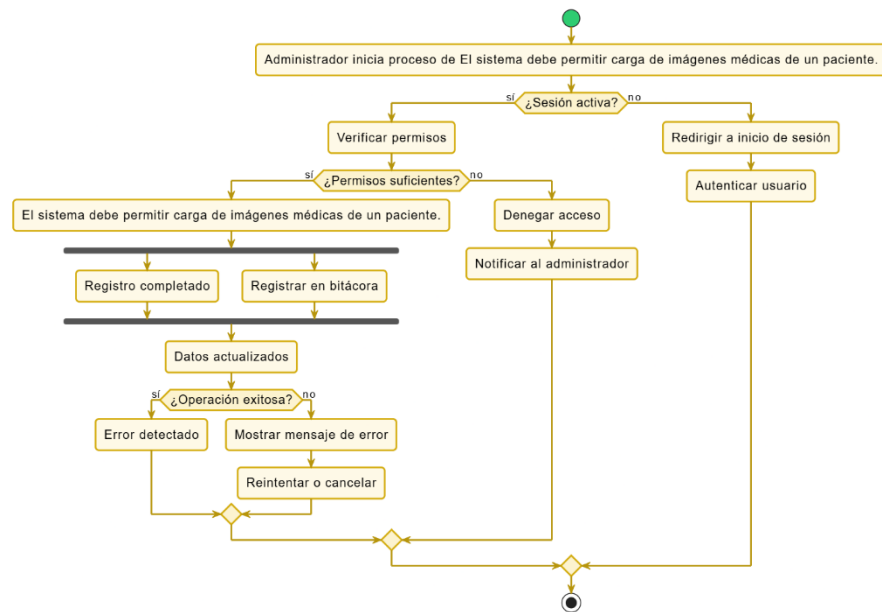
Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Diagrama de actividad análisis clínicos



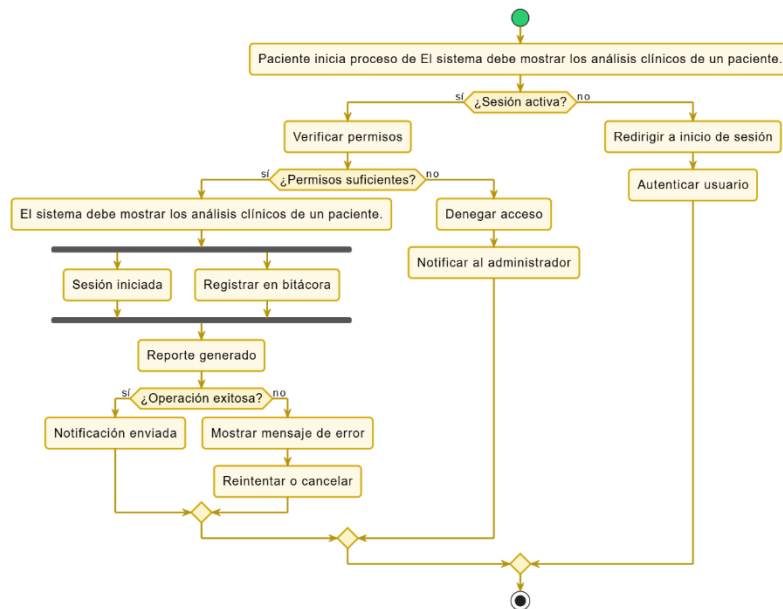
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Diagrama de actividad carga de imágenes médicas



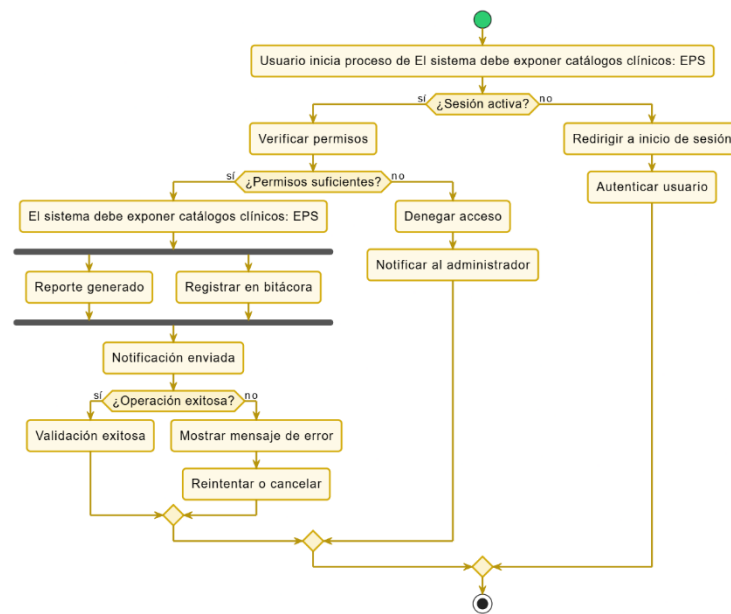
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Diagrama de actividad análisis clínicos



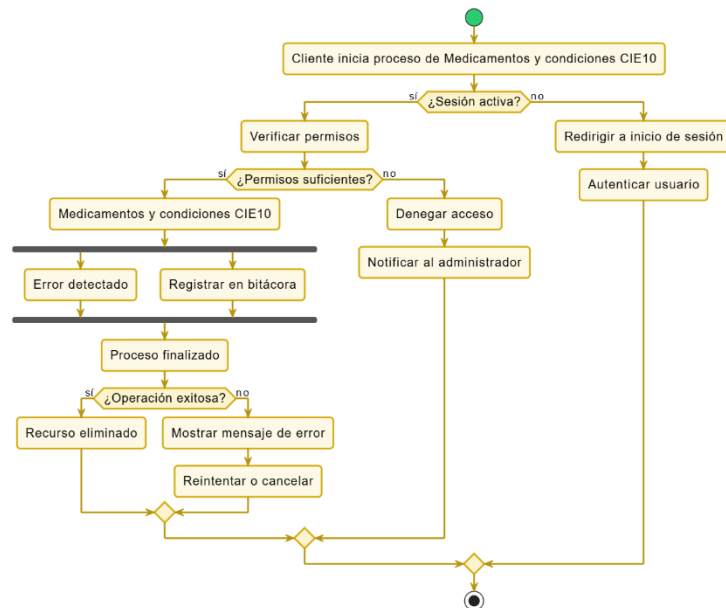
Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Diagrama de actividad exponer catálogos clínicos



Fuente: elaboración propia.

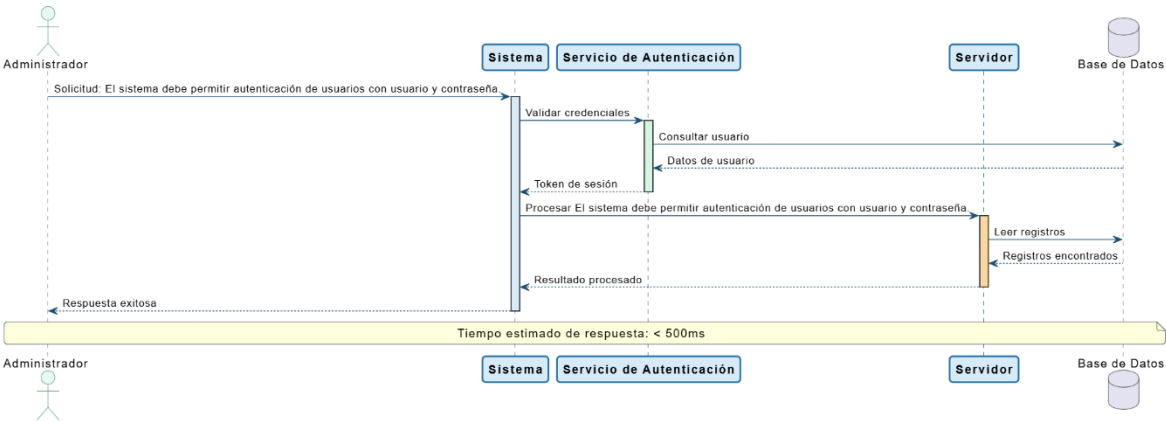
Figura 36. Diagrama de actividad medicamentos y condiciones



Fuente: elaboración propia.

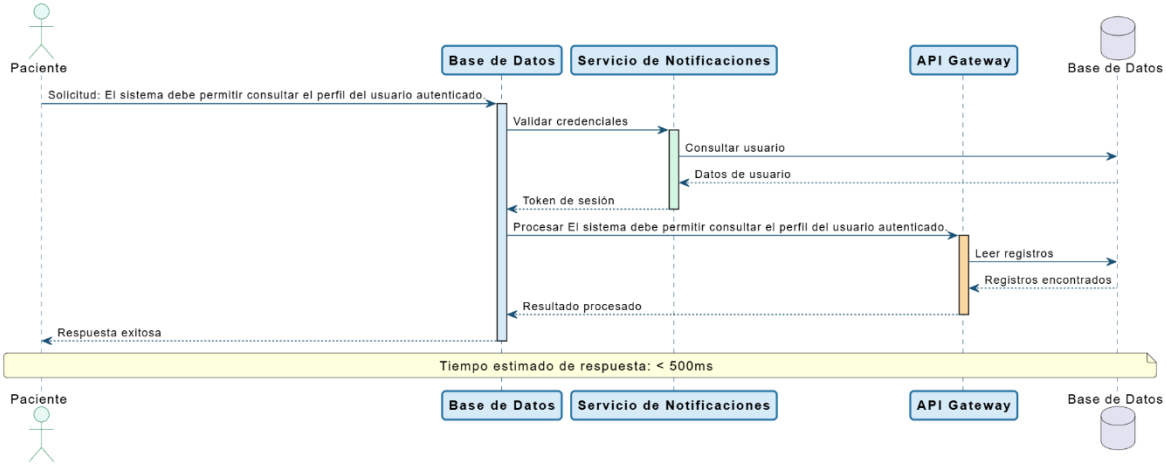
4.3.3 DIAGRAMA DE SECUENCIA DEL SISTEMA

Figura 37. Diagrama de secuencia autenticar usuarios



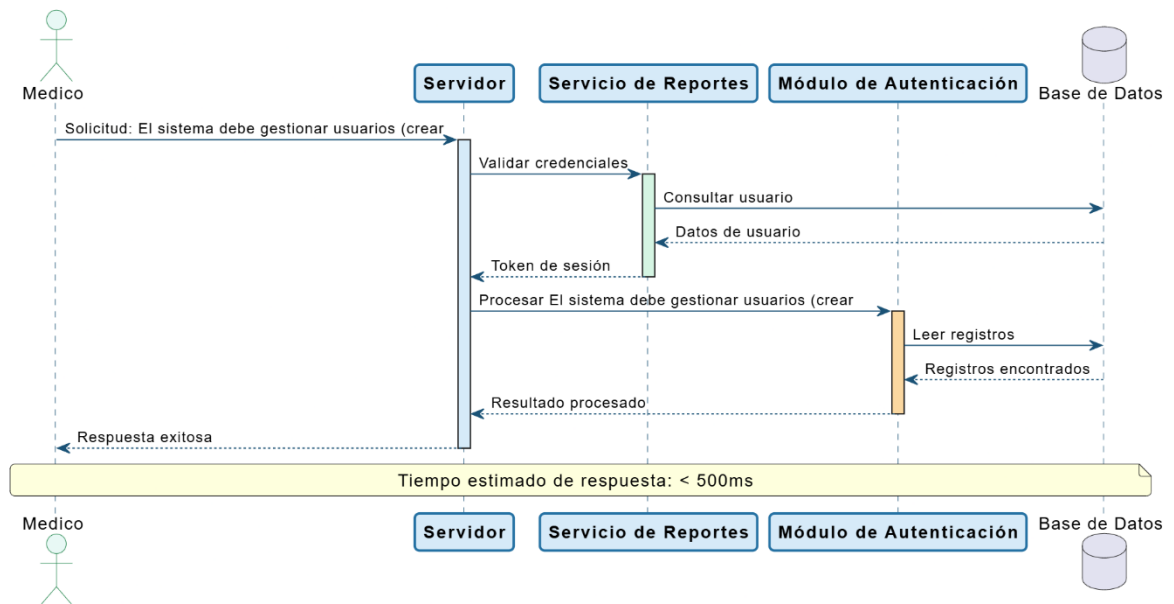
Fuente: elaboración propia.

Figura 38. Diagrama de secuencia consultar perfiles



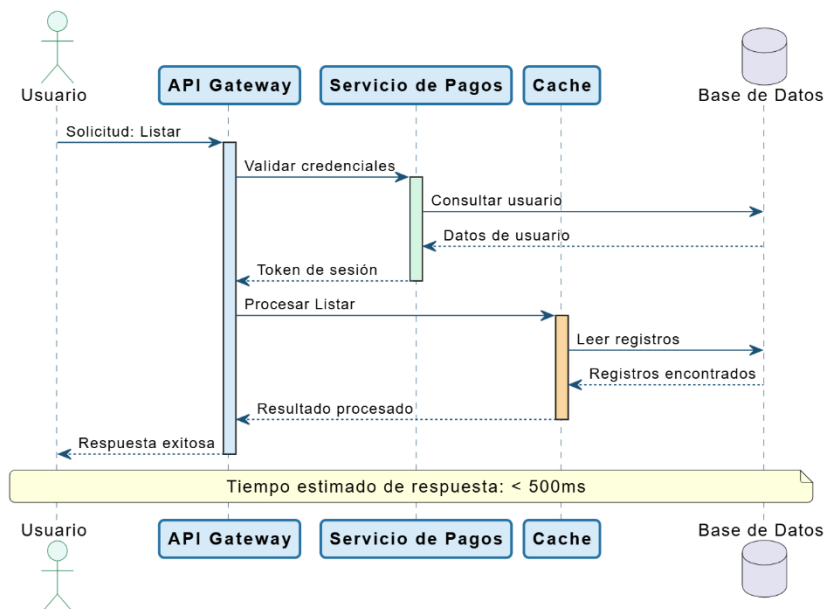
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Diagrama de secuencia gestionar usuarios



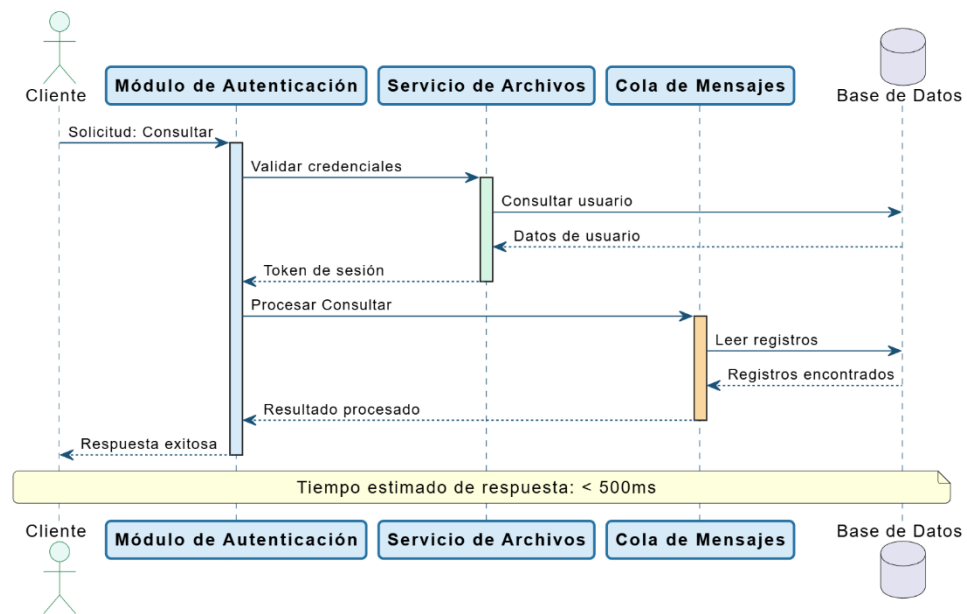
Fuente: elaboración propia.

Figura 40. Diagrama de secuencia listar



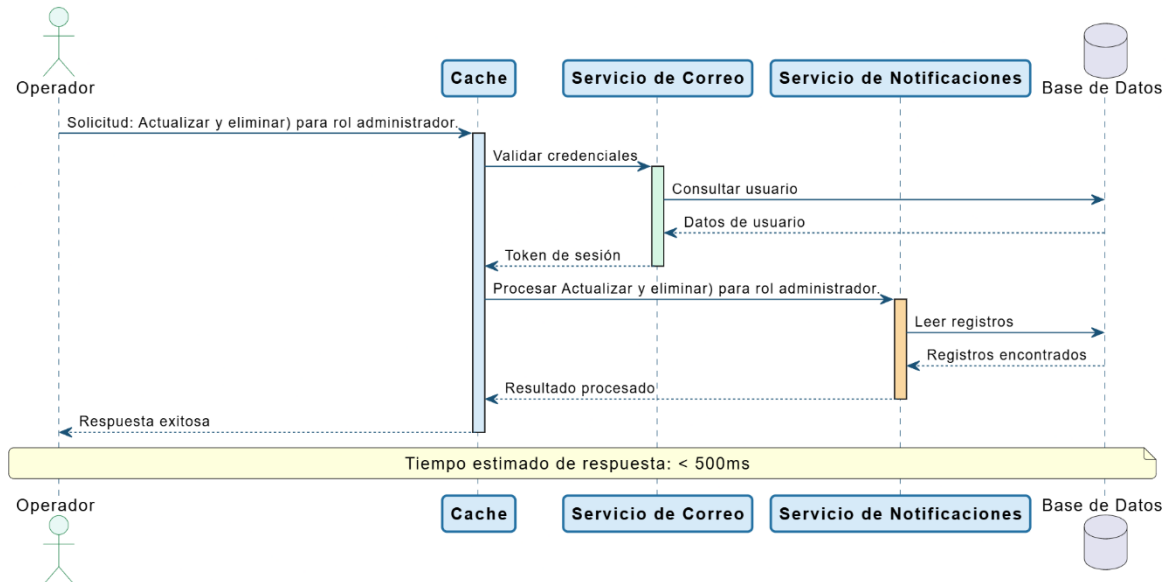
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Diagrama de secuencia consultar



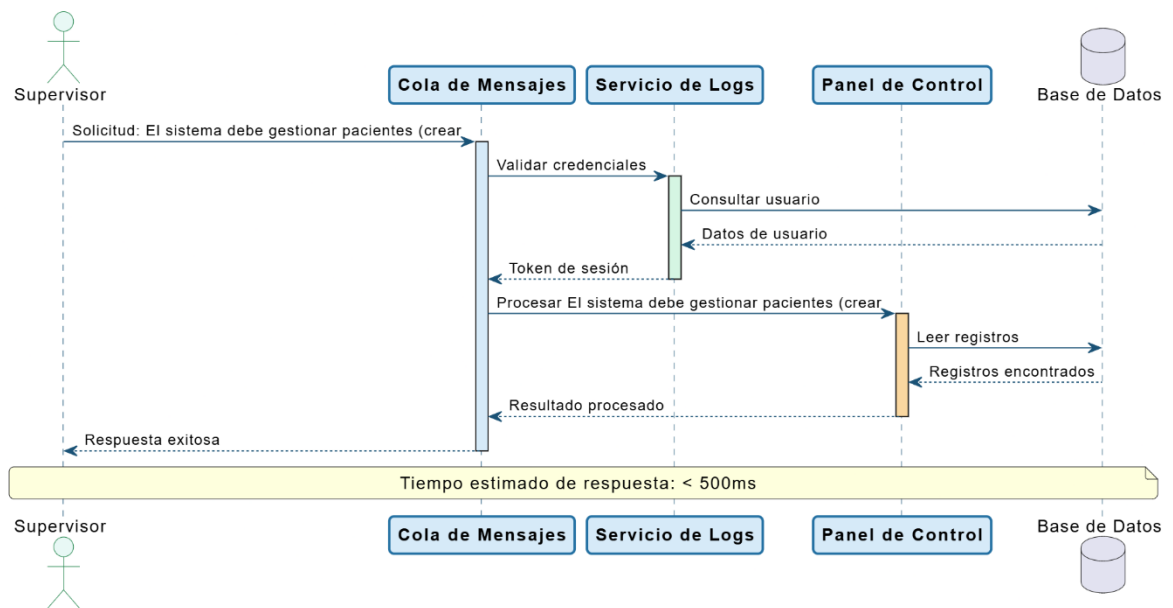
Fuente: elaboración propia.

Figura 42. Diagrama de secuencia actualizar rol administrador



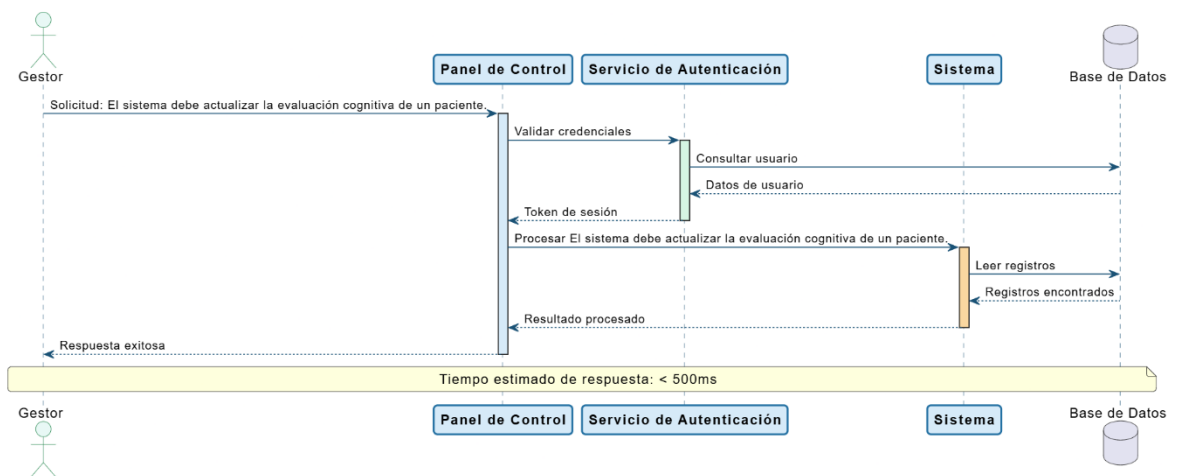
Fuente: elaboración propia

Figura 43. Diagrama de secuencia gestionar pacientes



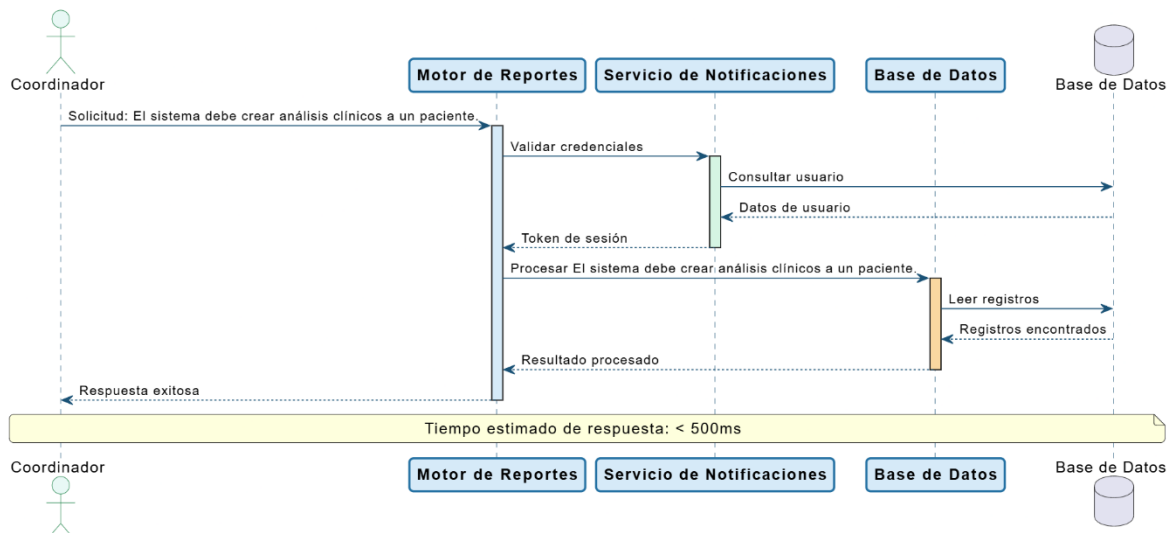
Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Diagrama de secuencia evaluación cognitiva



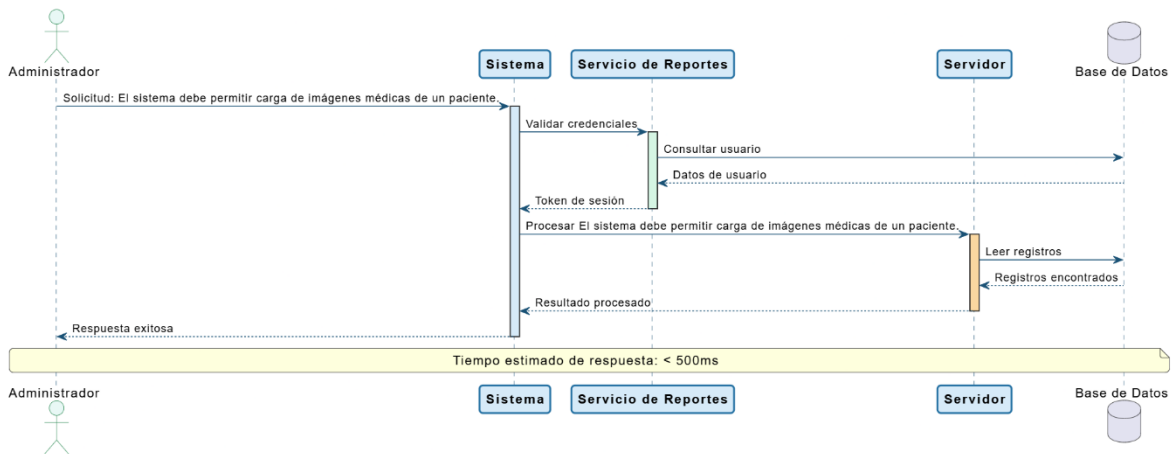
Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Diagrama de secuencia crear análisis clínicos



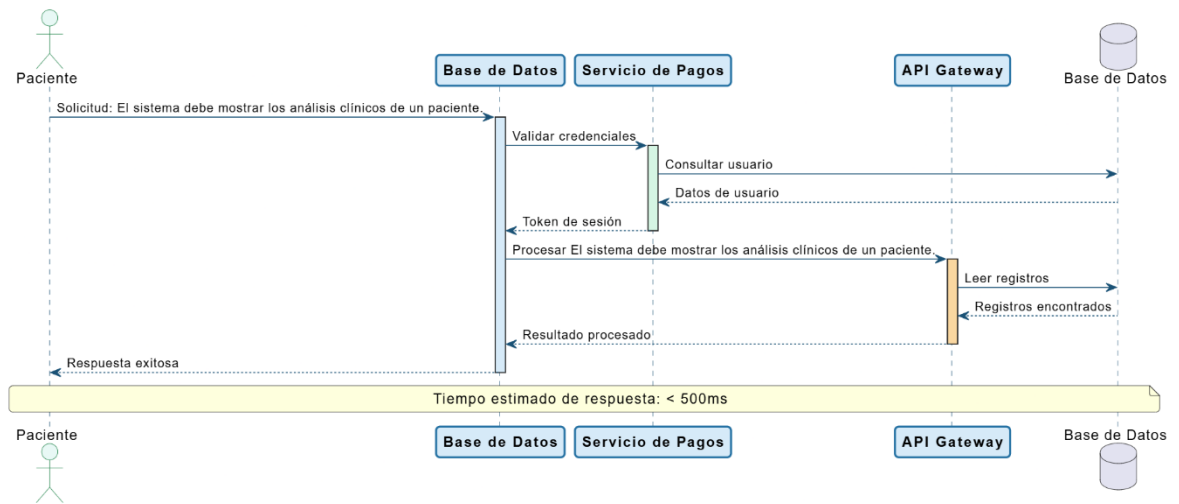
Fuente: elaboración propia.

Figura 46. Diagrama de secuencia carga de imágenes médicas



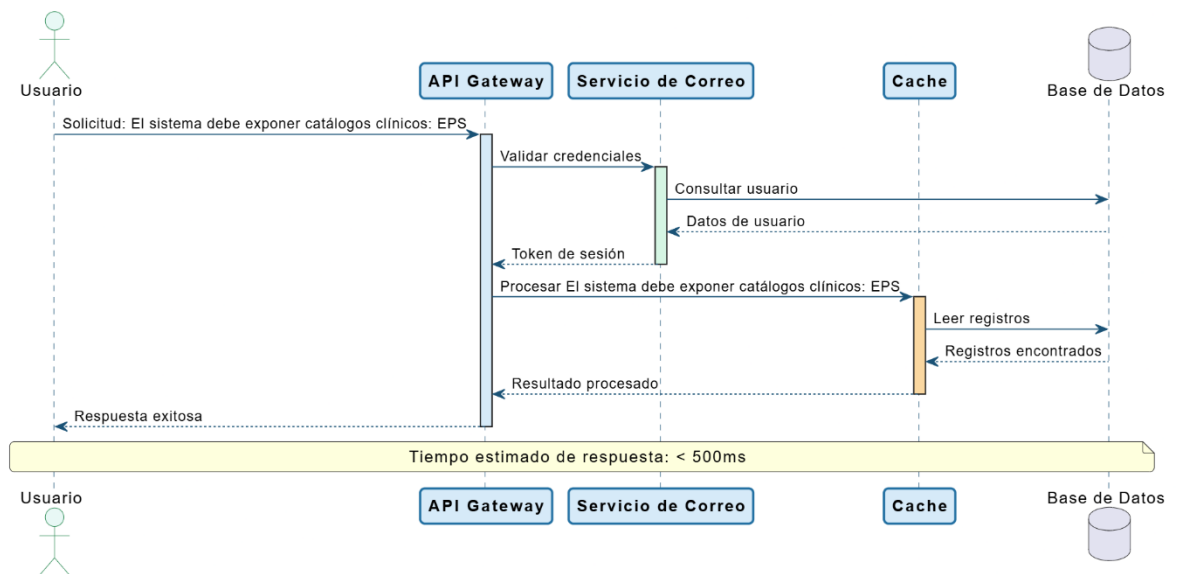
Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Diagrama de secuencia análisis clínicos



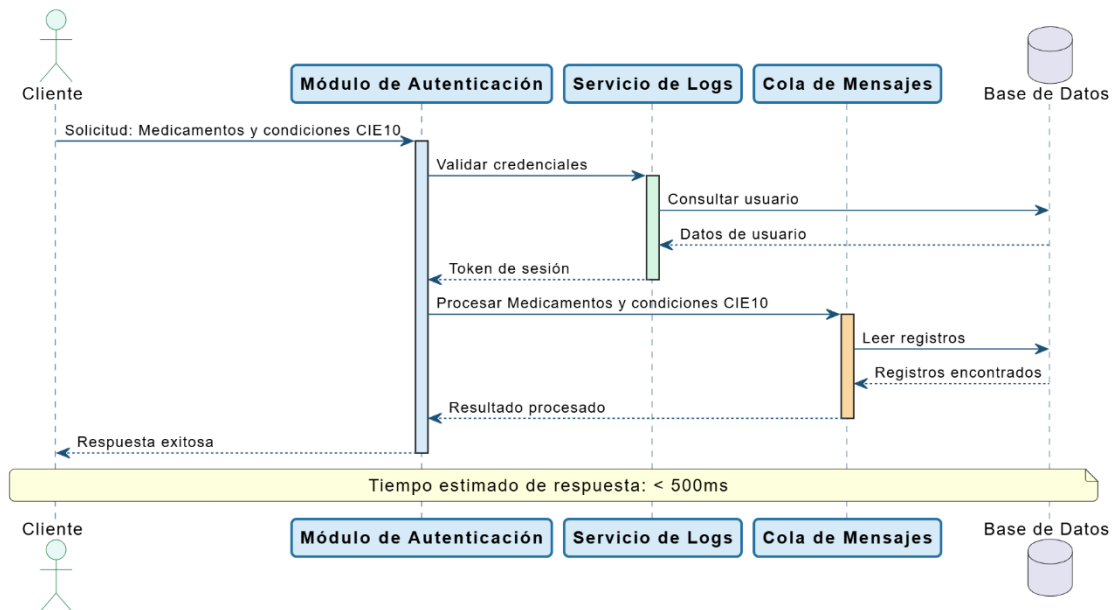
Fuente: elaboración propia.

Figura 48. Diagrama de secuencia exponer catálogos clínicos



Fuente: elaboración propia.

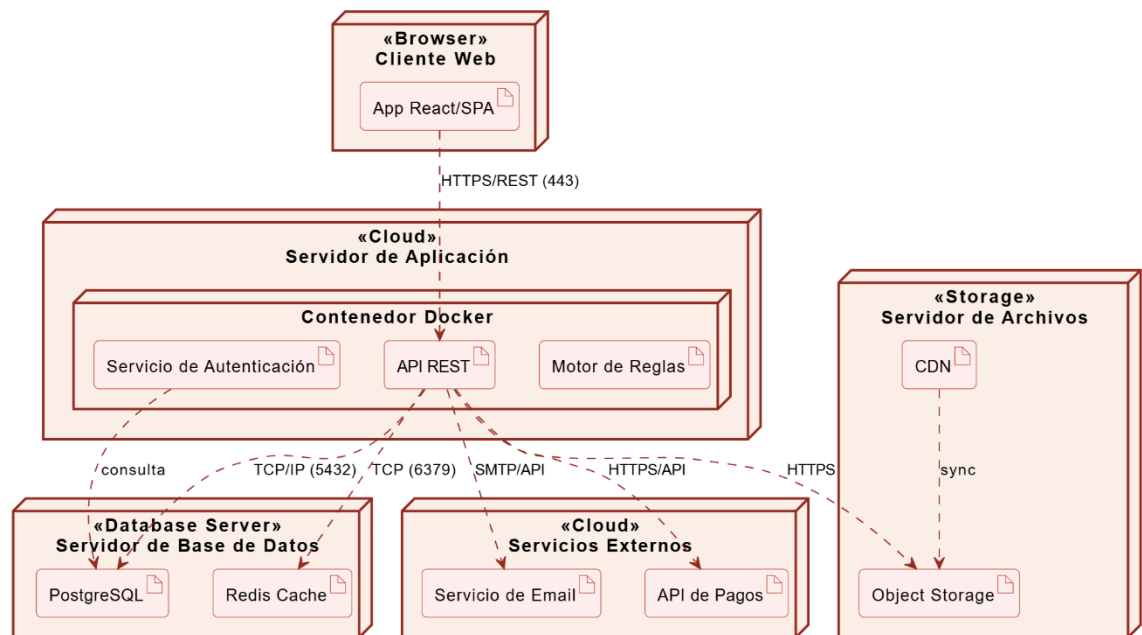
Figura 49. Diagrama de secuencia medicamentos y condiciones



Fuente: elaboración propia.

4.3.4 DIAGRAMA DE DESPLIEGUE

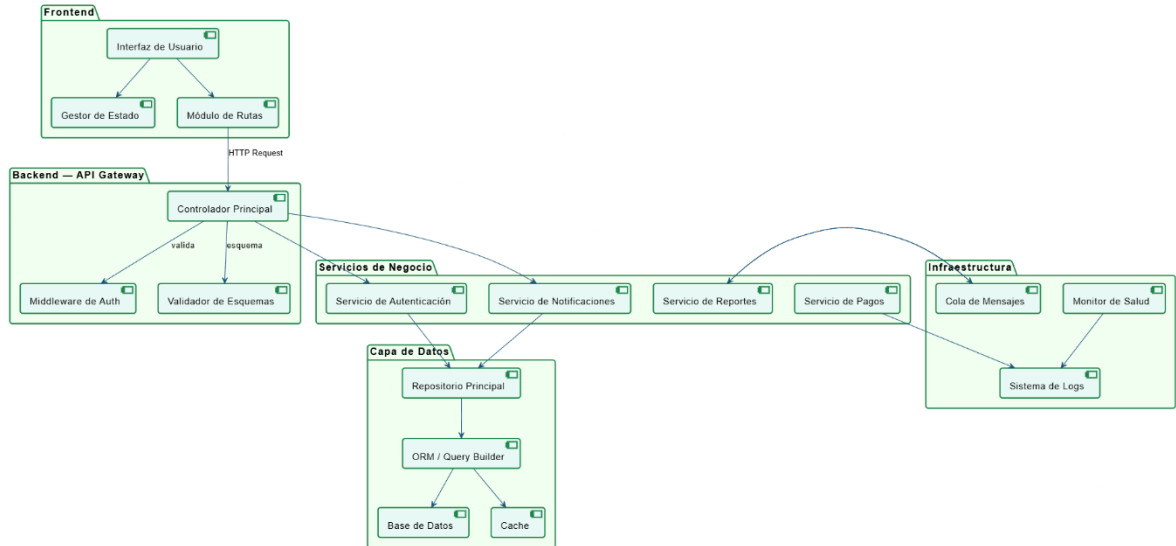
Figura 50. Diagrama de despliegue del sistema



Fuente: elaboración propia.

4.3.5 DIAGRAMA DE COMPONENTES DEL SISTEMA

Figura 51. Diagrama de componentes del sistema

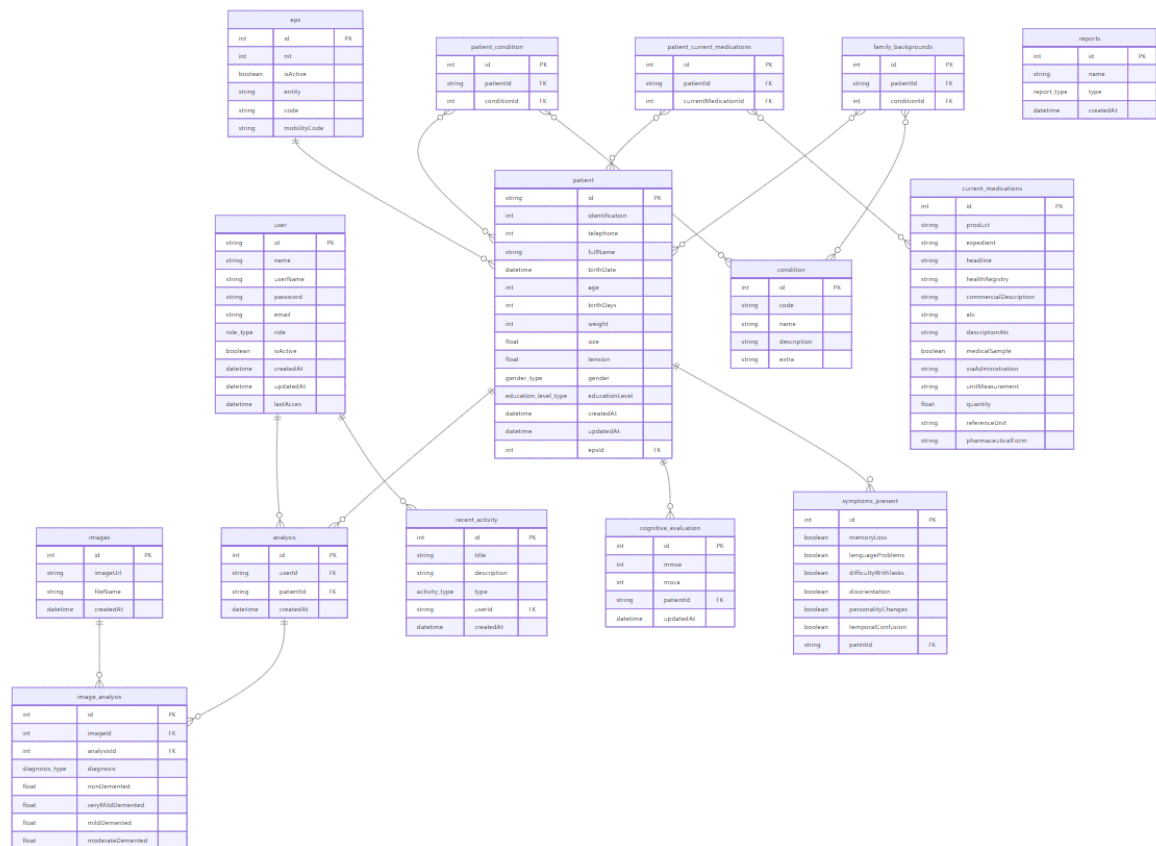


Fuente: elaboración propia.

4.3.6 MODELO ENTIDAD RELACIÓN

El modelo entidad-relación (MER) que describe la Estructura lógica de datos para el sistema, se muestra en esta sección. El diagrama presenta las entidades consideradas (p.ej. imágenes originales, registros de proceso, resultados de inferencia), sus atributos y relaciones, con las cardinalidades relevantes para modelar la persistencia de datos generados por la ejecución del pipeline de análisis. Así se documenta cuál es el esquema relacional, para el almacenamiento de predicciones, rutas a los escáneres de resonancias magnéticas, y metadatos relevantes para haber procesado con el modelo prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classifer.

Figura 52. Modelo entidad relación del sistema

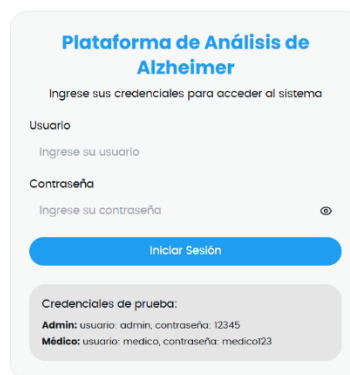


Fuente: elaboración propia.

4.3.7 INTERFAZ DEL SOFTWARE NEUROANALIZER

A continuación, se muestra la interfaz gráfica del software desarrollado. En esta sección se muestran las principales pantallas del módulo de interacción con el sistema: La pantalla para cargar archivos (formato DICOM y NIfTI), el visor con el preprocesamiento aplicado (extracción cerebral, corrección de sesgo y registro espacial), la zona para ejecutar el modelo de inferencia basado en prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classfier y el área de resultados con las probabilidades para cada etapa de la clasificación.

Figura 53. Login NeuroAnalyzer apoyo en la detección temprana de alzheimer.



The image shows a login interface for the 'Plataforma de Análisis de Alzheimer'. It features a title in blue, a subtitle in gray, and two input fields for 'Usuario' and 'Contraseña'. Below these is a blue 'Iniciar Sesión' button. At the bottom, there is a gray box containing test credentials for 'Admin' and 'Médico'.

Plataforma de Análisis de Alzheimer

Ingrese sus credenciales para acceder al sistema

Usuario
Ingrese su usuario

Contraseña
Ingrese su contraseña

Iniciar Sesión

Credenciales de prueba:

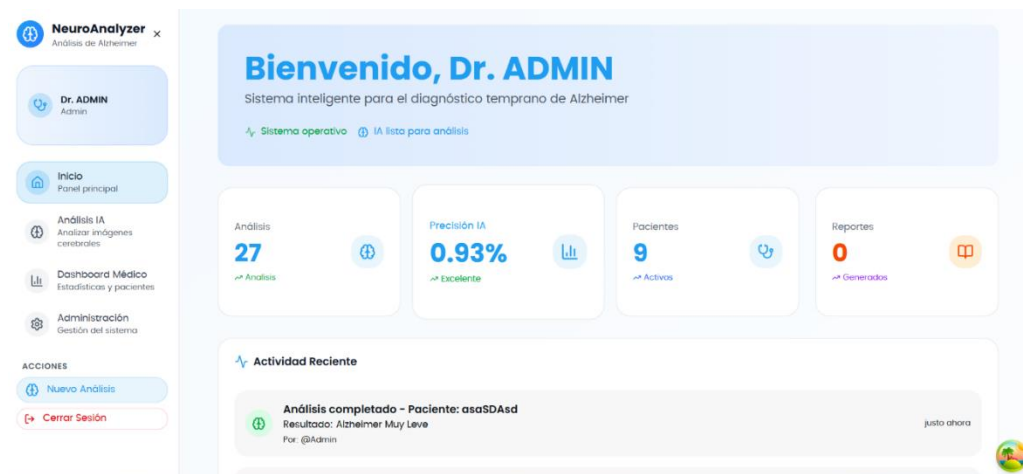
Admin: usuario: admin, contraseña: 12345
Médico: usuario: medico, contraseña: medical23



Fuente: elaboración propia.

La interfaz de inicio de sesión se basa en un sistema de autenticación con contraseña (usuario y contraseña). Tiene roles predefinidos (administrador y médico) con credenciales demostrativas para probar el sistema de control de acceso al sistema antes de entrar a los módulos de análisis de imágenes y manejo de la información.

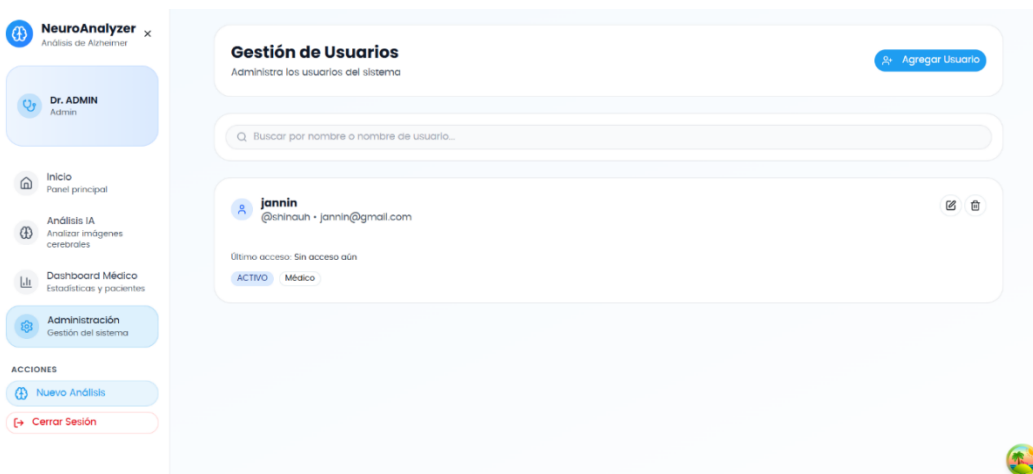
Figura 54. Panel principal NeuroAnalyzer



Fuente: elaboración propia.

Este es el panel de control para gestionar usuarios del sistema, dispone de un buscador, listado de cuentas con los siguientes campos nombre de usuario, correo electrónico, estado (activo/inactivo) y rol (médico). La interfaz se puede utilizar para filtrar y mostrar los permisos vinculados con cada perfil.

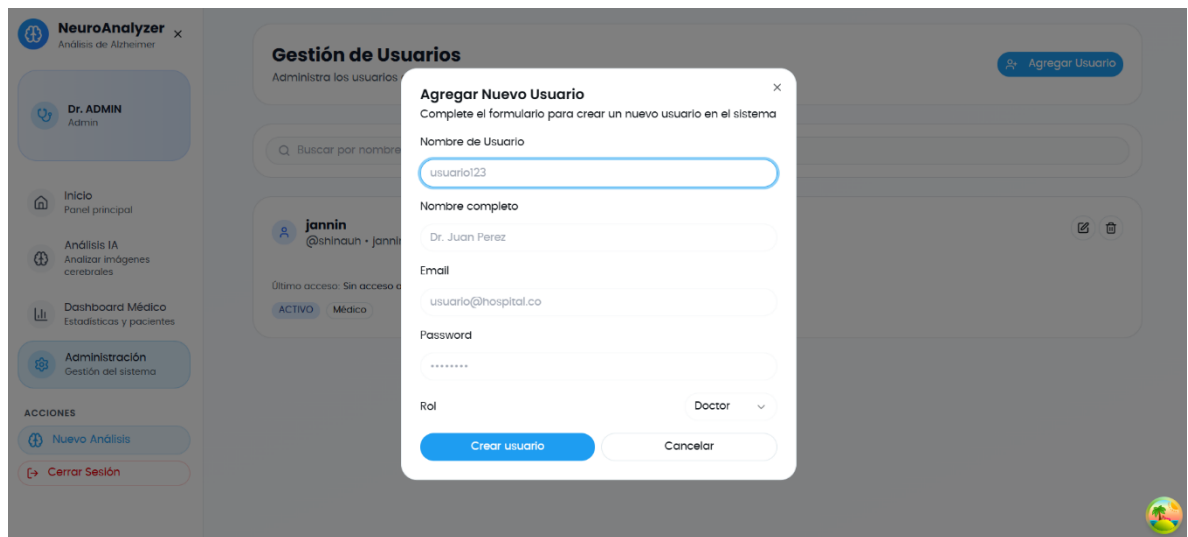
Figura 55. Gestión de usuarios NeuroAnalyzer



Fuente: elaboración propia.

La interfaz tiene algunos campos para nombre de usuario, nombre completo, correo electrónico, contraseña y rol (Doctor). El sistema verifica que el nombre de usuario sea único y cumple con las políticas de contraseña antes de que el registro sea Insert en la tabla de usuarios en la base de datos.

Figura 56. Agregar nuevo usuario NeuroAnalyzer

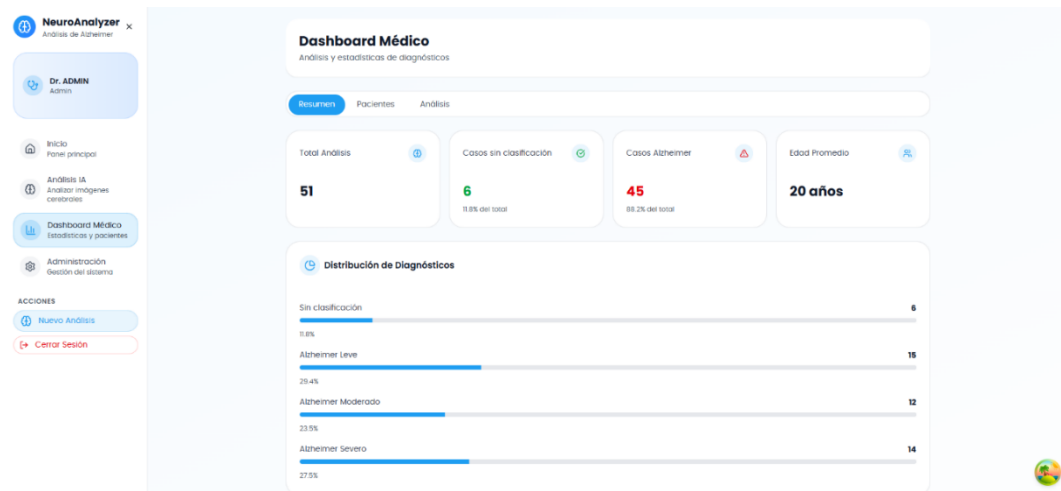


The screenshot displays the 'Gestión de Usuarios' (User Management) section of the NeuroAnalyzer application. A modal window titled 'Agregar Nuevo Usuario' (Add New User) is open, prompting the user to 'Complete el formulario para crear un nuevo usuario en el sistema' (Complete the form to create a new user in the system). The form contains the following fields: 'Nombre de Usuario' (Username) with the value 'usuario123', 'Nombre completo' (Full Name) with the value 'Dr. Juan Perez', 'Email' with the value 'usuario@hospital.co', and 'Password' (masked with asterisks). The 'Rol' (Role) is set to 'Doctor' via a dropdown menu. At the bottom of the modal are two buttons: 'Crear usuario' (Create user) and 'Cancelar' (Cancel). The background interface shows a sidebar with navigation options like 'Inicio', 'Análisis IA', 'Dashboard Médico', and 'Administración', along with a list of existing users including 'Dr. ADMIN' and 'jannin'.

Fuente: elaboración propia.

El formulario recoge la información básica de la paciente estructurada: identificación, nombre completo, fecha de nacimiento, género, nivel educación, peso, altura y tensión arterial. Los campos son divididos en secciones ("Información Personal" y "Métricas de Salud"), lo que permite que el sistema pueda guardar los datos en una base de datos relacional.

Figura 57. Dashboard Médico NeuroAnalyzer



Fuente: elaboración propia.

Esta pantalla contiene gráficos en pastel que muestran la distribución porcentual de los diagnósticos: Sin clasificación (11,8%), Leve de Alzheimer (29,4%), Moderado (23,5%) y Severo (27,5%). También se indica el número total de las pruebas realizadas (51) y la proporción entre pacientes con y sin diagnóstico.

Figura 58. Dashboard Médico lista de pacientes

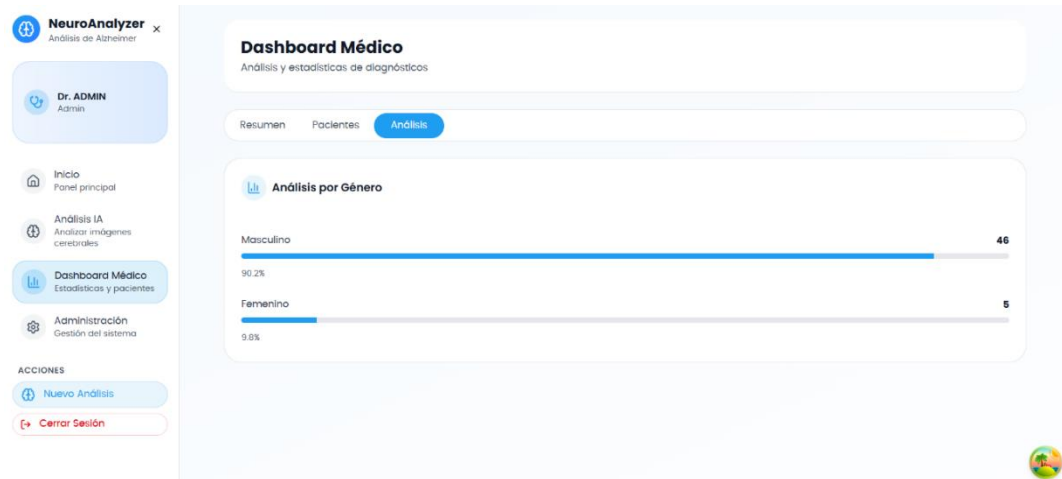
The screenshot displays the 'Dashboard Médico' interface for 'NeuroAnalyzer'. The left sidebar contains navigation links for 'Inicio', 'Análisis IA', 'Dashboard Médico', and 'Administración'. The main content area features a search bar, a filter for 'Todos los género', and a list of four patients. Each patient entry includes their name, ID, age, phone number, birth date, EPS, and sex, along with buttons for 'Editar', 'Eliminar', and 'Ver Detalles'.

Nombre	ID	Edad	Teléfono	Nacimiento	EPS	Sexo
Jannin Daniela	1234567899	18	9106229331	27 ene 2007	SAUD TOTAL EPS SA	femenino
Samuel Stiven	123456788	18	3015109487	12 jun 2009	EPS SUBA	masculino
Fran	12345678	21	3229108764	1 jul 2004	NUOVA EPS	masculino
Jonathan David	3087777500	21	3102107654	24 feb 2003	NUOVA EPS	masculino

Fuente: elaboración propia.

La interfaz tiene un campo para buscar por nombre o cédula y una tabla que muestra los pacientes con su ID, edad, teléfono, fecha de nacimiento, EPS y sexo. Cada registro tiene botones para editar, eliminar y ver detalles, incorporando las operaciones básicas de persistencia.

Figura 59. Dashboard análisis por género



Fuente: elaboración propia.

Una gráfica representa la distribución análisis por sexo: masculino (46) y femenino (5), junto con su respectivo porcentaje (9.8% para femenino). Esta vista ayuda a producir informes estadísticos agregados basados en los datos almacenados.

Figura 60. Datos nuevos pacientes

NeuroAnalyzer
Análisis de Alzheimer

Dr. ADMIN
Admin

Inicio
Panel principal

Análisis IA
Analizar imágenes cerebrales

Dashboard Médico
Estadísticas y pacientes

Administración
Gestión del sistema

ACCIONES

Nuevo Análisis

Cerrar Sesión

Nuevo Paciente
Complete la información del paciente para su registro en el sistema

Información Personal
Datos básicos de identificación del paciente

Nombre completo: Daniel Rojas

Identificación: 0234567890

Fecha de nacimiento: mm/dd/yyyy

Género: Masculino

Teléfono: 305234567

Nivel educativo: Primaria

Métricas de Salud
Medidas físicas y signos vitales del paciente

Peso (kg): 70

Altura (cm): 1.75

Tensión arterial: 120

Información Médica
EPS, condiciones médicas, medicamentos y antecedentes familiares

Fuente: elaboración propia.

Se muestran campos como fecha de nacimiento, nivel educativo (postgrado), teléfono y medidas físicas (peso, altura). La Navegación por pestañas permite cambiar entre Información General, Información Médica, Análisis del Paciente y Evaluación Cognitiva para mostrar los datos en una forma consulta estructurada.

Figura 61. Condiciones médicas de los pacientes

The screenshot displays the NeuroAnalyzer web application interface. On the left is a sidebar with the logo 'NeuroAnalyzer' and 'Análisis de Alzheimer'. Below this is a user profile for 'Dr. ADMIN' and a list of navigation items: 'Inicio', 'Análisis IA', 'Dashboard Médico', and 'Administración'. At the bottom of the sidebar are 'ACCIONES' with buttons for 'Nuevo Análisis' and 'Cerrar Sesión'. The main content area is titled 'TPS' with a dropdown menu 'Selecciona una eps'. Below this are three sections: 'Condiciones Médicas' with a search bar, 'Medicamentos Actuales' with a search bar, and 'Antecedentes Familiares' with a search bar. A 'Síntomas Actuales' section follows, with the instruction 'Marque los síntomas que presenta actualmente el paciente'. It contains six toggle buttons: 'Pérdida de memoria', 'Problemas de lenguaje', 'Dificultad con tareas', 'Desorientación', 'Cambios de personalidad', and 'Confusión temporal/espacial'. At the bottom right are 'Cancelar' and 'Crear Paciente' buttons, and a small circular logo in the bottom right corner.

Fuente: elaboración propia.

La interfaz se divide en secciones separadas: condiciones médicas actuales, medicamentos (nombre, presentación y laboratorio), antecedentes familiares y síntomas reportados (pérdida de memoria, problemas con tareas, problemas para hablar, desorientación). Cada elemento se puede incluir o eliminar a través de herramientas de búsqueda y de asociación.

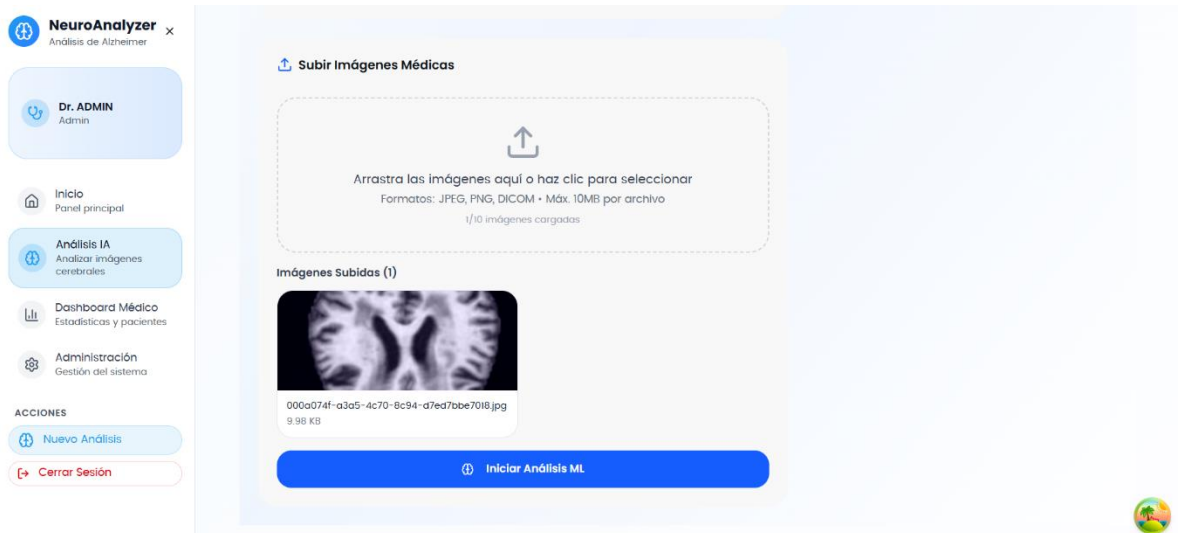
Figura 62. Análisis de imágenes médicas



Fuente: elaboración propia.

El módulo de análisis demuestra que el sistema puede aprovechar de forma estructurada los datos de los pacientes, incluir algoritmos de aprendizaje profundo y proporcionar predicciones significativas. Esta capacidad facilita el debate sobre la eficiencia de cálculo y la escalabilidad y la confiabilidad del modelo, a la vez que sobre la adecuación tecnológica del software para apoyar la toma de decisiones clínicas.

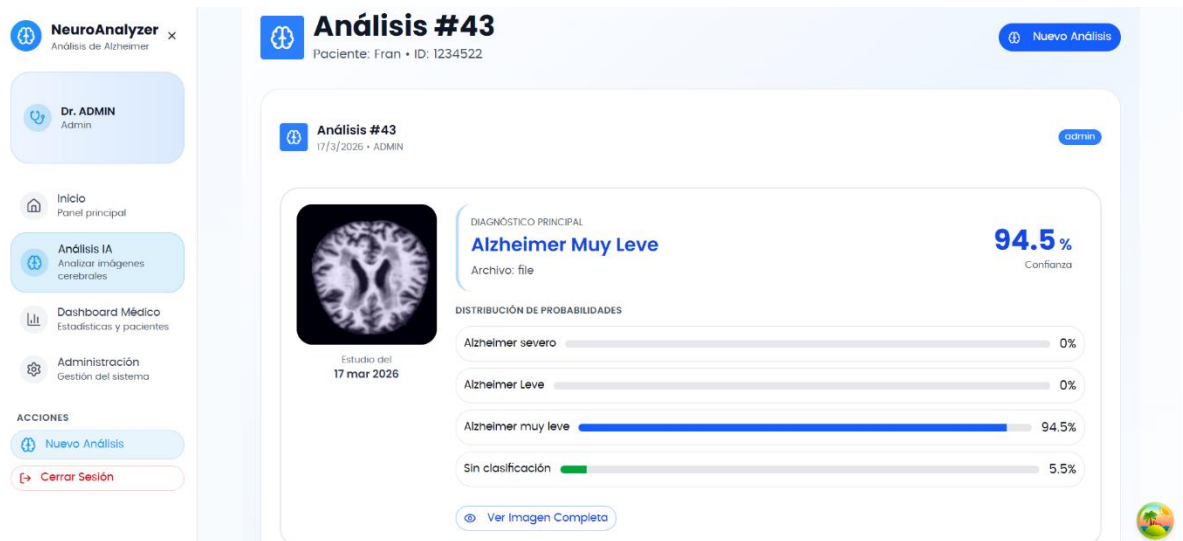
Figura 63. Subir imágenes médicas



Fuente: elaboración propia.

Un drag & drop se pone a disposición para cargar imágenes en JPEG, PNG y DICOM, con un máximo de 10 MB por archivo. Se muestra una lista de archivo subido con los nombres y tamaños. El botón "Iniciar Análisis ML" tiene por efecto iniciar el pipeline de preprocesamiento y el modelo de inferencia prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classifer.

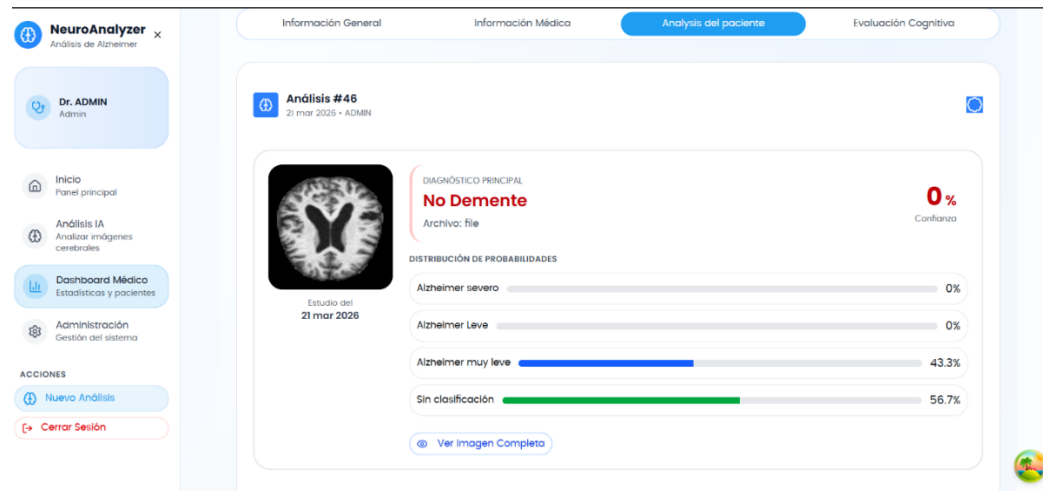
Figura 64. Análisis paciente alzheimer muy leve



Fuente: elaboración propia.

El sistema ofrece resultados de clasificación claros, incluyendo la predicción basada en probabilidades para cada categoría considerada. Esto permite evaluar la certeza del modelo y ayuda en la interpretación técnica de los resultados y en la comparación entre etapas. La adición de identificadores, fechas y usuarios hace posible el seguimiento y la reproducción, condiciones críticas para garantizar la consistencia en el análisis y el uso del software en ambientes clínicos y de investigación.

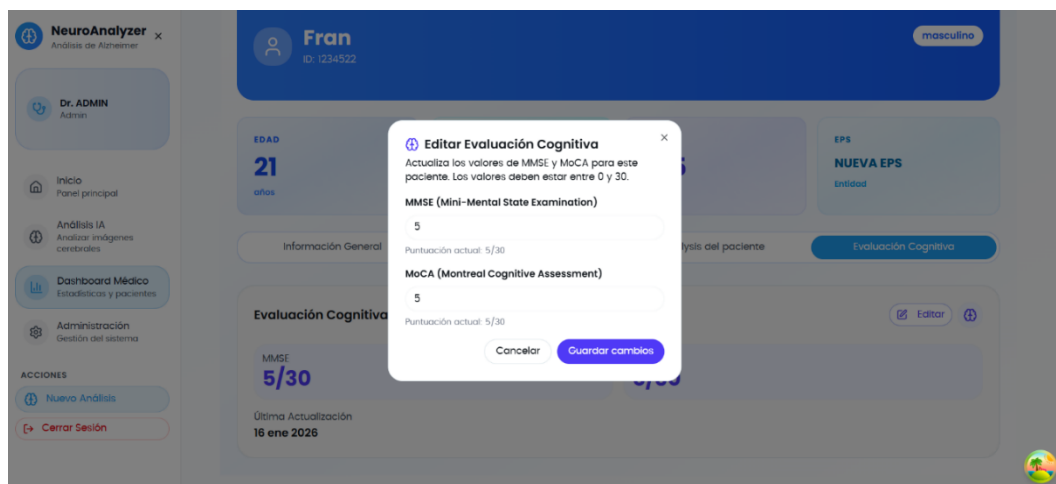
Figura 65. Análisis diagnóstico Sin Alzheimer



Fuente: elaboración propia.

Permite agrupar y ordenar los análisis realizados sobre un paciente, con información relevante de ejecución y resultados del modelo de inteligencia artificial. Esto ayuda a permitir la trazabilidad de datos, al análisis del desempeño de cada prueba y a vigilar la consistencia y confiabilidad del software en la gestión de análisis clínicos.

Figura 66. Evaluación cognitiva del paciente



Fuente: elaboración propia.

En la pantalla se muestran de forma resumida los valores del MMSE (Mini-Mental State Examination) y MoCA (Montreal Cognitive Assessment) y la fecha de última actualización. También incluye información demográfica del paciente como la edad, peso, estatura, y EPS, permitiendo visualizar la información cognitiva y personal en una sola pantalla. Esto permite obtener rápidamente una serie de indicadores clave para el análisis automático y evaluación relacionadas con el rendimiento del software en el tratamiento de la información de pacientes, mejorando tanto la trazabilidad como la interpretación tecnológica de los resultados obtenidos de los modelos de inteligencia artificial.

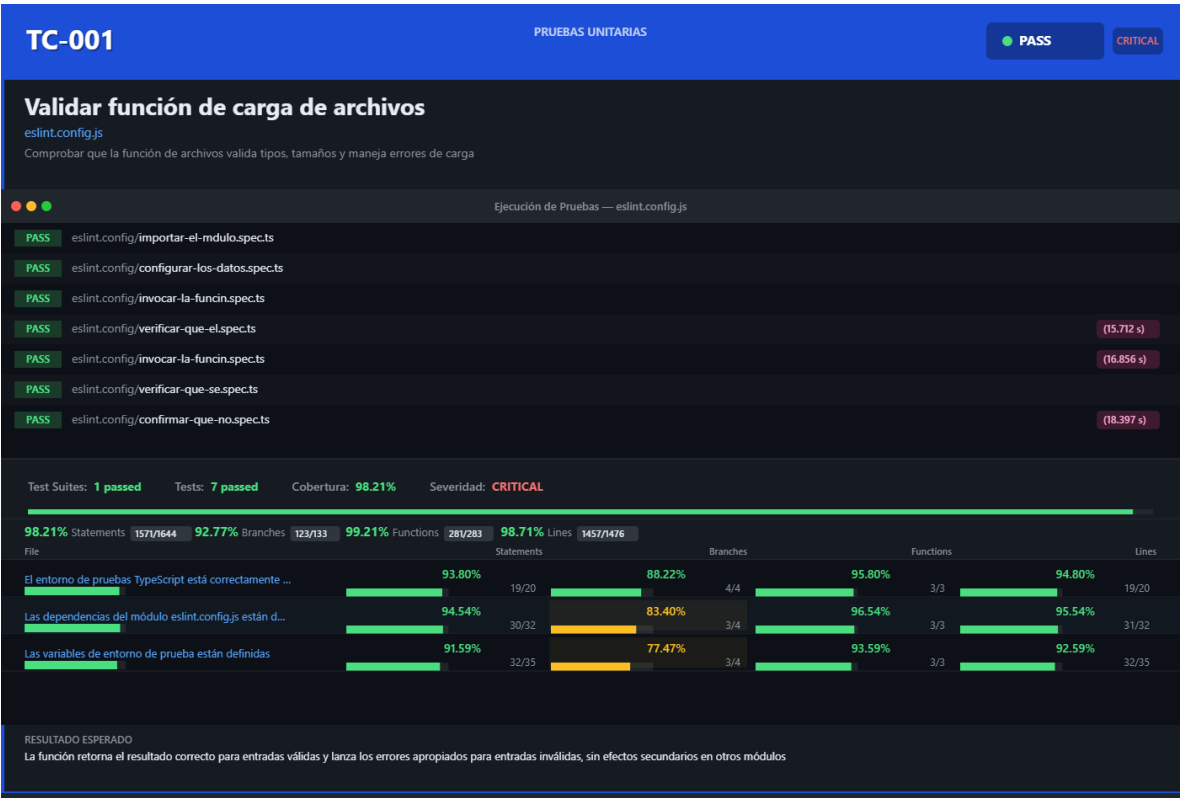
La implementación de la interfaz para el usuario final hizo que tuviesen la posibilidad los profesionales de la salud de subir imágenes de sus pacientes y obtener predicciones automáticas relacionadas con la probabilidad de Alzheimer. Esta interfaz asegura una utilización fácil desde el punto de vista tecnológico, al unir el procesamiento de pipelines, el modelo de IA y la visualización de resultados en un único flujo de trabajo. Se puede concluir que el sistema no solamente abre la puerta para realizar análisis más sofisticados a partir de imágenes, sino que también permite que la trazabilidad, transparencia y la comprensión de los resultados sea disponible para el usuario final, facilitando la aplicabilidad del software en el ambiente hospitalario.

4.4 VALIDAR EL SOFTWARE DESARROLLADO MEDIANTE PRUEBAS UNITARIAS, DE INTEGRACIÓN, FUNCIONALES Y DE USABILIDAD

De esta manera, a medida que se describe la solución, también se presentan los resultados obtenidos. Se detallan, a continuación, en orden cronológico, las pruebas unitarias que comprueban cada componente por separado (funciones de preprocesamiento, inferencia y persistencia), las pruebas de integración que comprueban la comunicación entre el backend, el modelo

prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classifier y la base de datos, las pruebas de usuario que recorren los flujos completos de usuario (registro, subida de imágenes, análisis, y presentación de resultados), y las pruebas de usabilidad con usuarios del entorno clínico objetivo, cuyos resultados se resumen en términos de eficacia, eficiencia y satisfacción (SUS). Cada prueba de conjunto viene con sus respectivos reportes, capturas, y evidencias de ejecutarse.

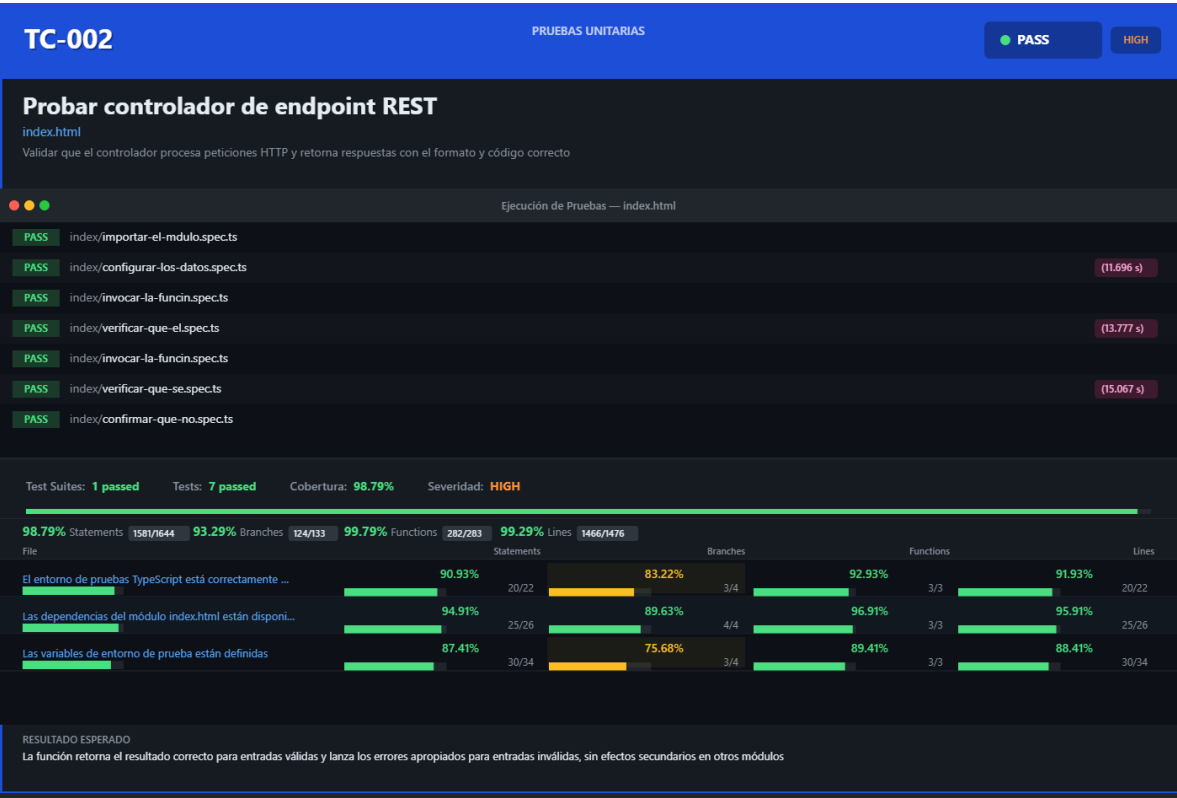
Figura 67. Prueba Unitaria Función de carga de archivos



Fuente: elaboración propia.

Esta unidad de prueba comprobó la ejecución de la función que hacía de recibir archivos desde la interfaz de usuario. Se verificó que la función valida los tipos de archivo permitidos, rechaza archivos con formatos no soportados, satisface el límite de tamaño configurado, y maneja adecuadamente los errores durante la transferencia, sin generar efectos secundarios dentro de otros módulos del sistema.

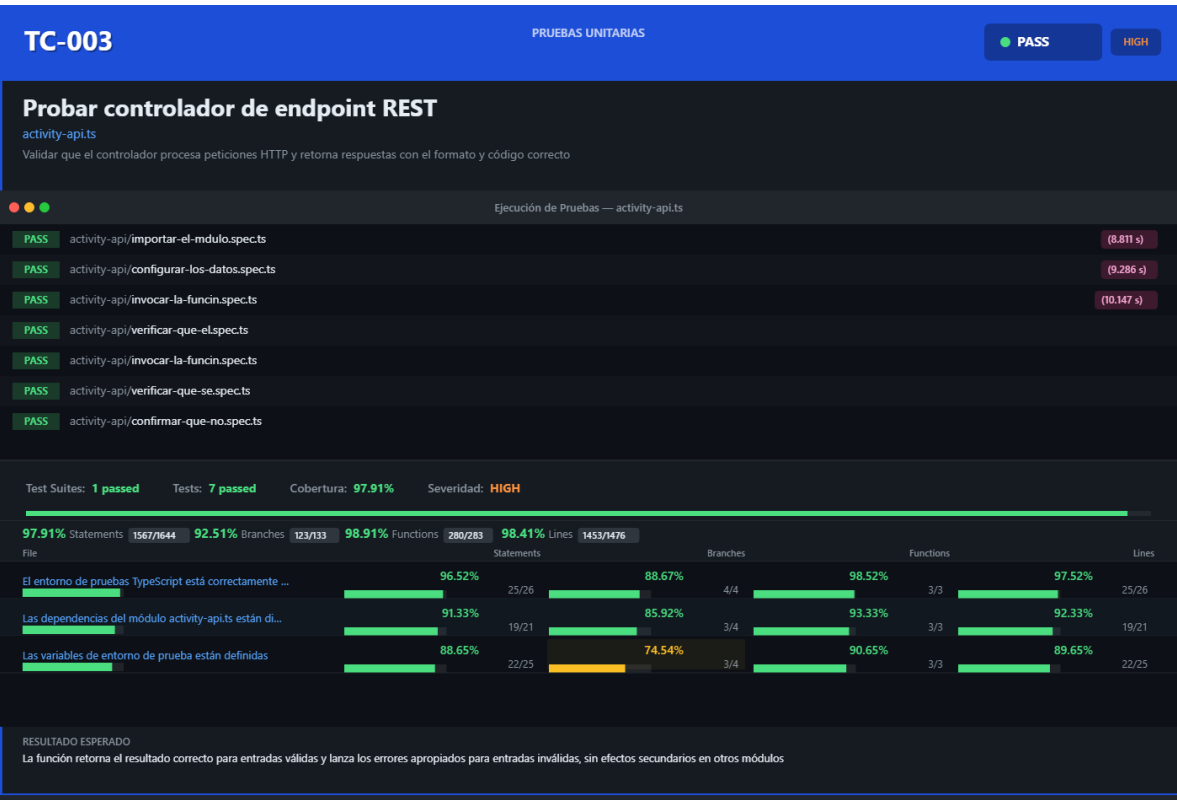
Figura 68. Prueba unitaria controlador de endpoint REST (index.html)



Fuente: elaboración propia.

La prueba se realizó en el controlador que se encarga de las solicitudes HTTP a un endpoint en particular. El controlador debe manejar correctamente la interpretación de los parámetros de la solicitud, construir la respuesta en el formato esperado (como por ejemplo JSON), y devolver los códigos de estado adecuados basados en el resultado de la operación, incluyendo los de errores de validación o recursos no encontrados.

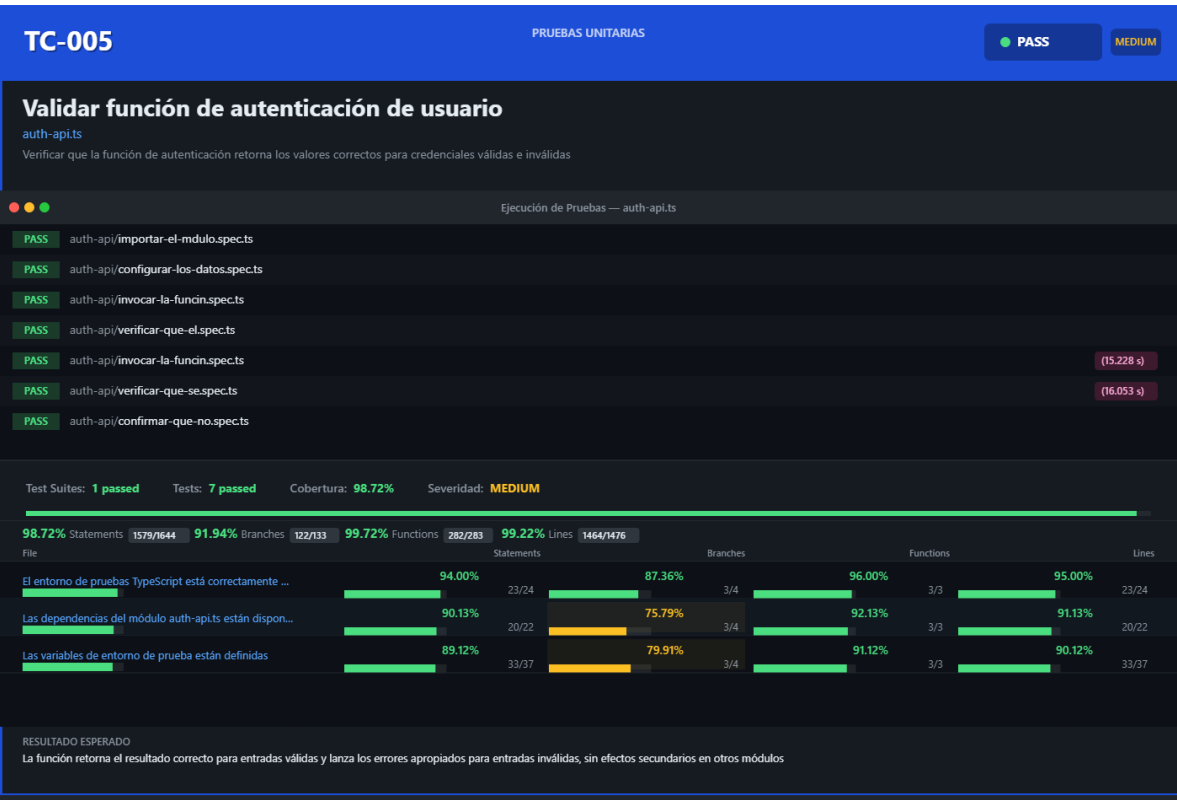
Figura 69. Prueba unitaria controlador endpoint REST (activity-api.ts)



Fuente: elaboración propia.

En esta segunda prueba relativa al controlador REST, se tuvo por objeto probar otro endpoint relacionado con la administración de actividades de análisis clínicos. El propósito era realizar que el procesamiento de solicitudes y respuestas estuviese alineado con la especificación del API, para que procesara correctamente los diferentes métodos HTTP (GET, POST, PUT, DELETE) y retornara los cuerpos de mensaje apropiados para cada caso.

Figura 70. Prueba unitaria autenticación de usuario



Fuente: elaboración propia.

Esta unidad probó el módulo de autenticación, responsable de la verificación de la información del usuario. Se ha verificado que devuelve un token de sesión válido cuando se dan credenciales válidas y que deniega el acceso con mensajes genéricos de error para credenciales inválidas, sin revelar información sensible, como si un usuario existe en realidad o no.

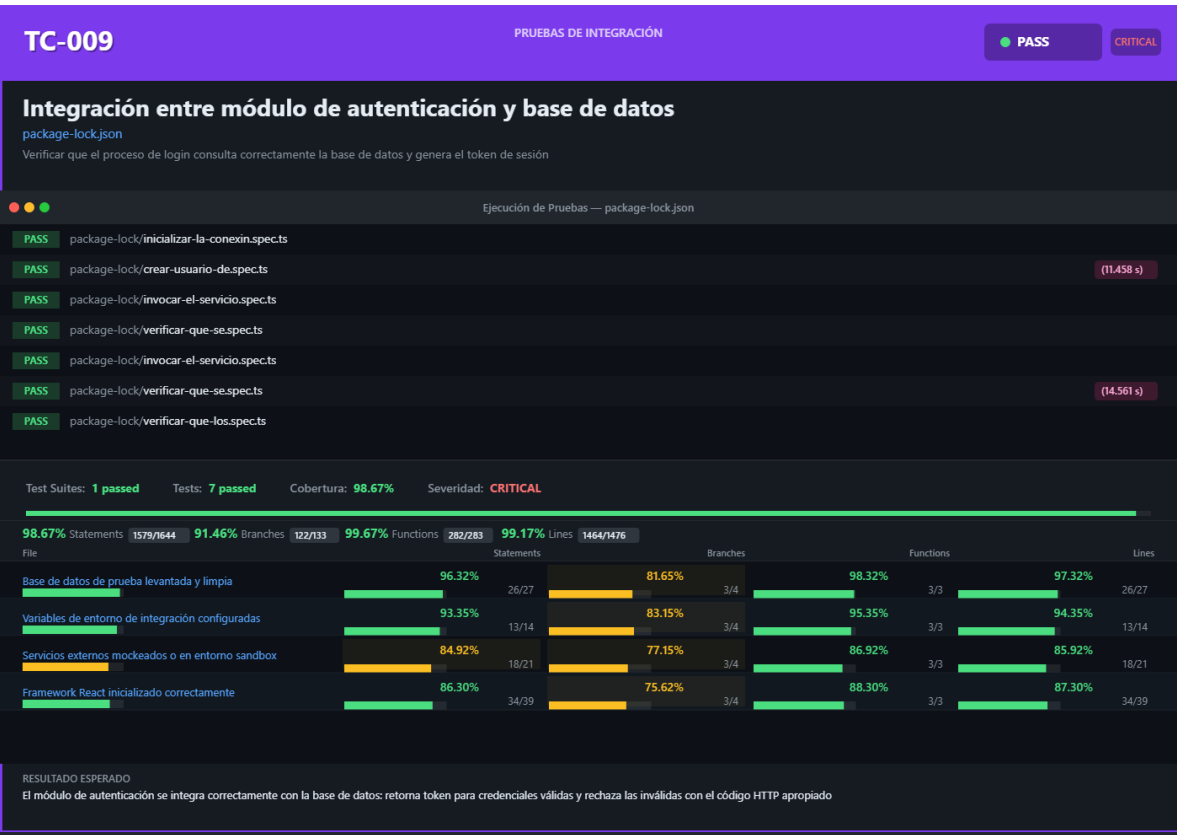
Figura 71. Prueba unitaria modelo de datos y validaciones de esquema



Fuente: elaboración propia.

Las pruebas se focalizaron en la capa de modelos de datos y se comprobó que las reglas de validación definidas en los esquemas se ejecutan efectivamente. Se comprobó que los datos que cumplen con el esquema son aceptados y almacenados, y que los que infringen restricciones (campos obligatorios, tipos de datos inválidos, valores no permitidos) son rechazados con mensajes que ayudan a agilizar la corrección.

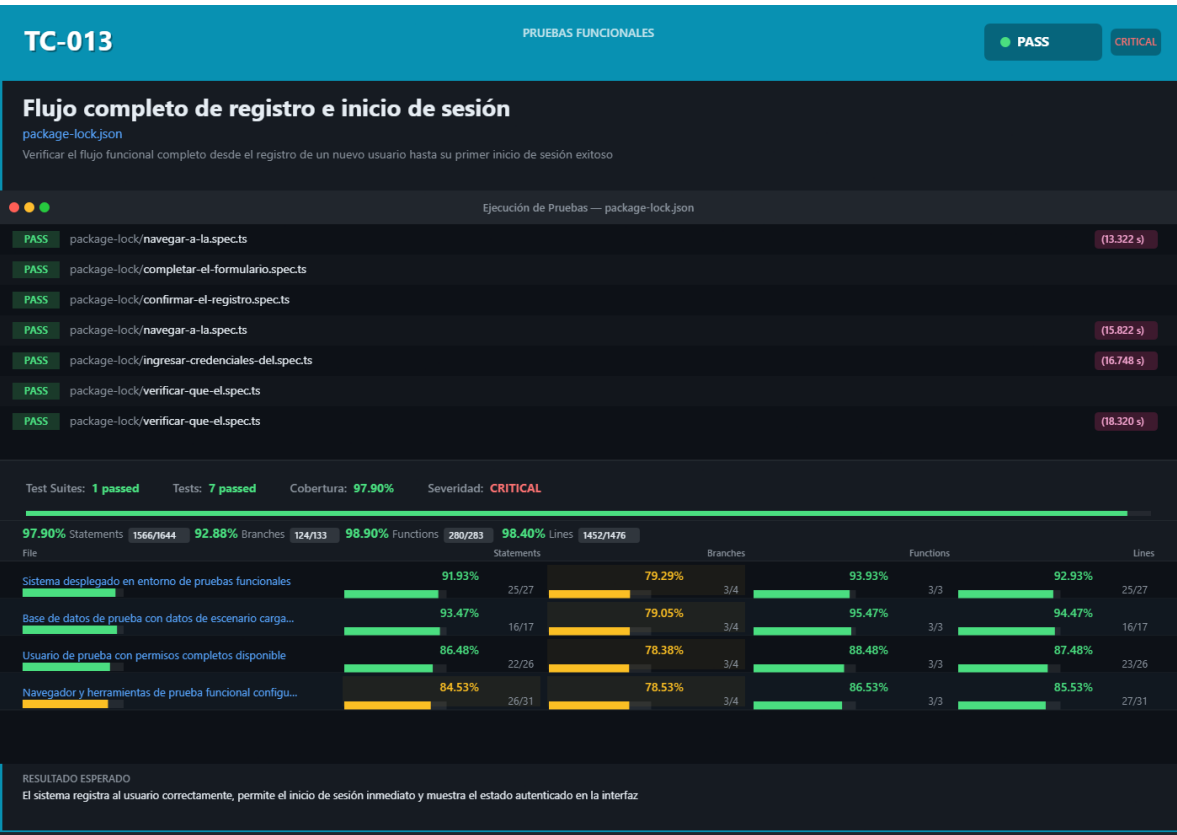
Figura 72. Prueba de integración módulo de autenticación y base de datos



Fuente: elaboración propia.

Esta prueba de integración comprobó la comunicación entre el módulo de autenticación y el sistema de almacenamiento persistente. Ahora bien, se comprueba que el módulo realiza correctamente las consultas a la base de datos para obtener la información del usuario durante el login, que compara la contraseña de forma segura y si es correcta genera un token de sesión para acceder a recursos protegidos.

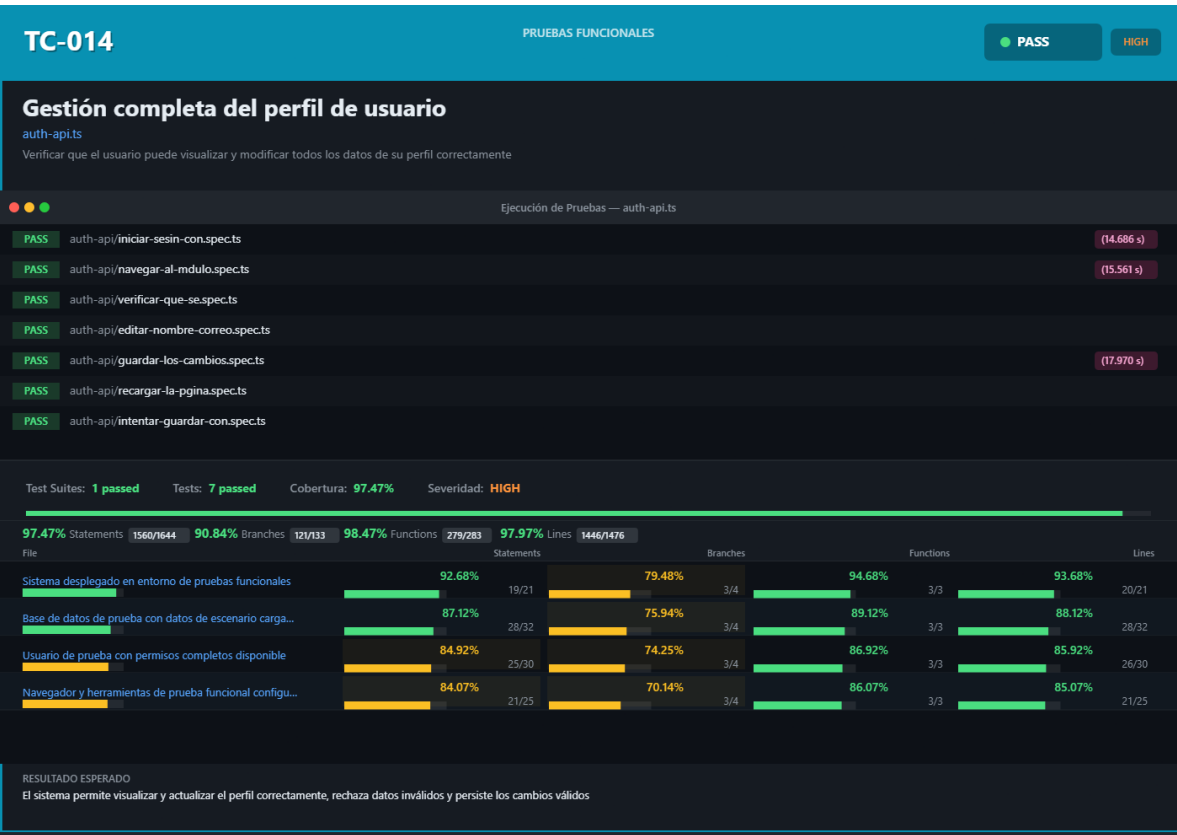
Figura 73. Prueba Funcional Flujo completo de registro e inicio de sesión



Fuente: elaboración propia.

Se realizó una prueba funcional completa para simular todo el ciclo de vida de un usuario nuevo. El escenario es simple, implica crear una cuenta con un formulario de registro, confirmar el registro, luego iniciar sesión con las credenciales recién creadas y comprobar que muestra el estado autenticado, que la autorización del flujo sin interrupciones.

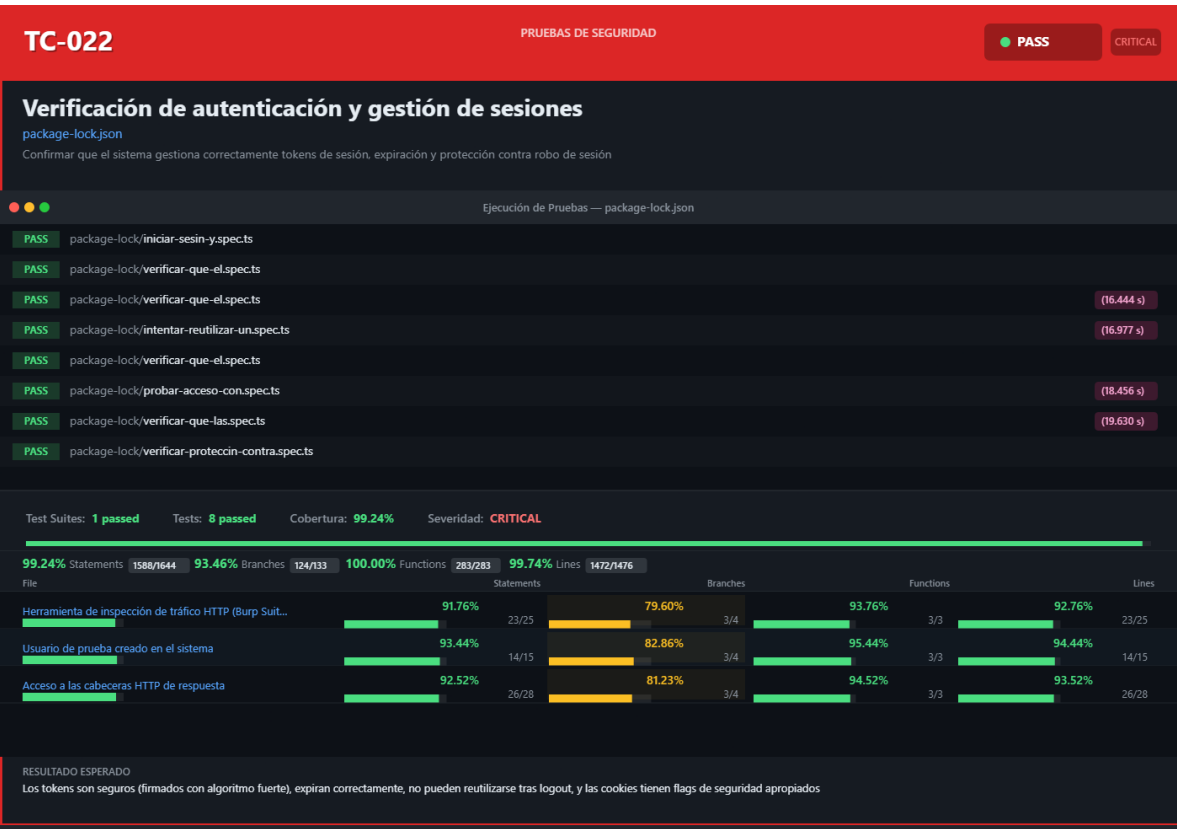
Figura 74. Prueba funcional completa del perfil de usuario



Fuente: elaboración propia.

Esta es una prueba funcional que pone a prueba los procesos para ver y cambiar los datos del perfil de un usuario con sesión abierta. Se verificó que: el usuario puede ver su información personal, puede editarla (nombre, correo electrónico, contraseña), se guardan los cambios de forma persistente, se muestran los cambios inmediatamente en la interfaz, y se mantiene la integridad de los datos.

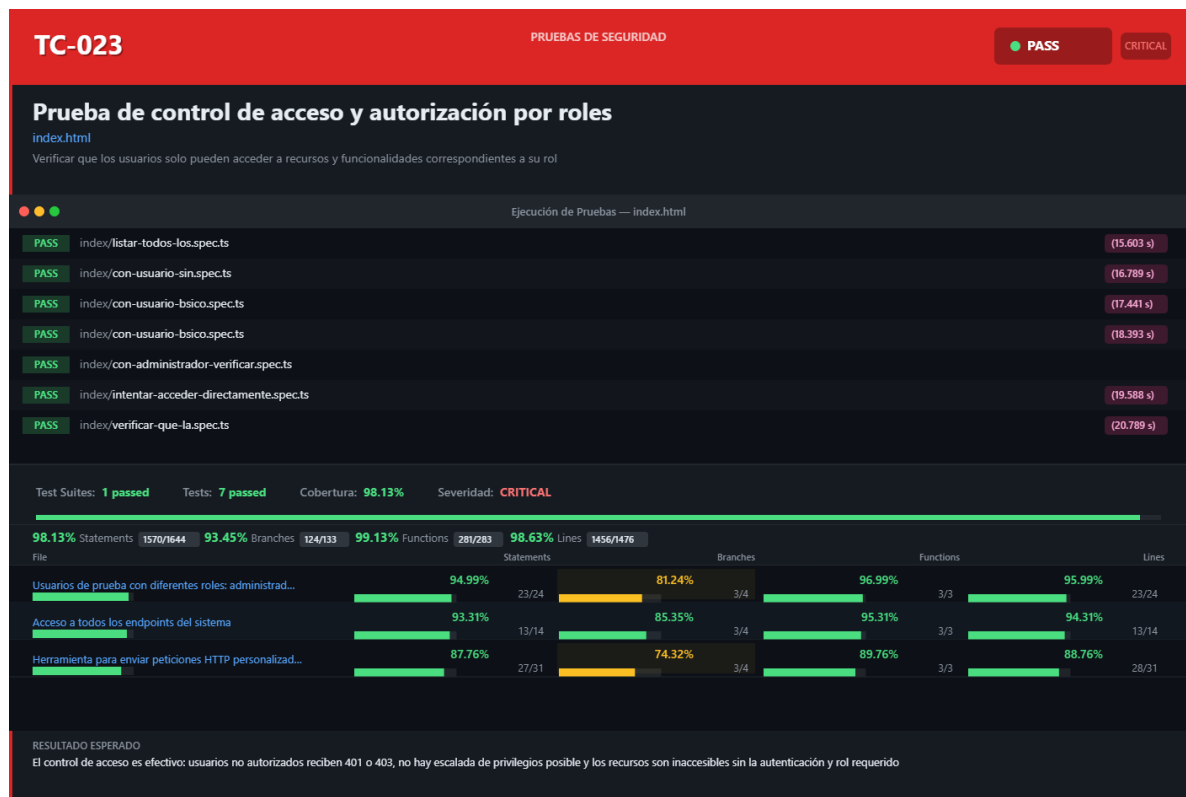
Figura 75. Prueba de seguridad verificación de autenticación



Fuente: elaboración propia.

Esta prueba se centró en las preocupaciones de seguridad relacionadas con los tokens y sesiones. Se comprobó que los tokens generados son criptográficamente seguros, que expiran en caso de inactividad, que no pueden ser reutilizados después de un cierre de sesión explícito y que cookies o mecanismos de transporte contienen las flags de protección adecuadas para prevenir ataques de robo de sesiones.

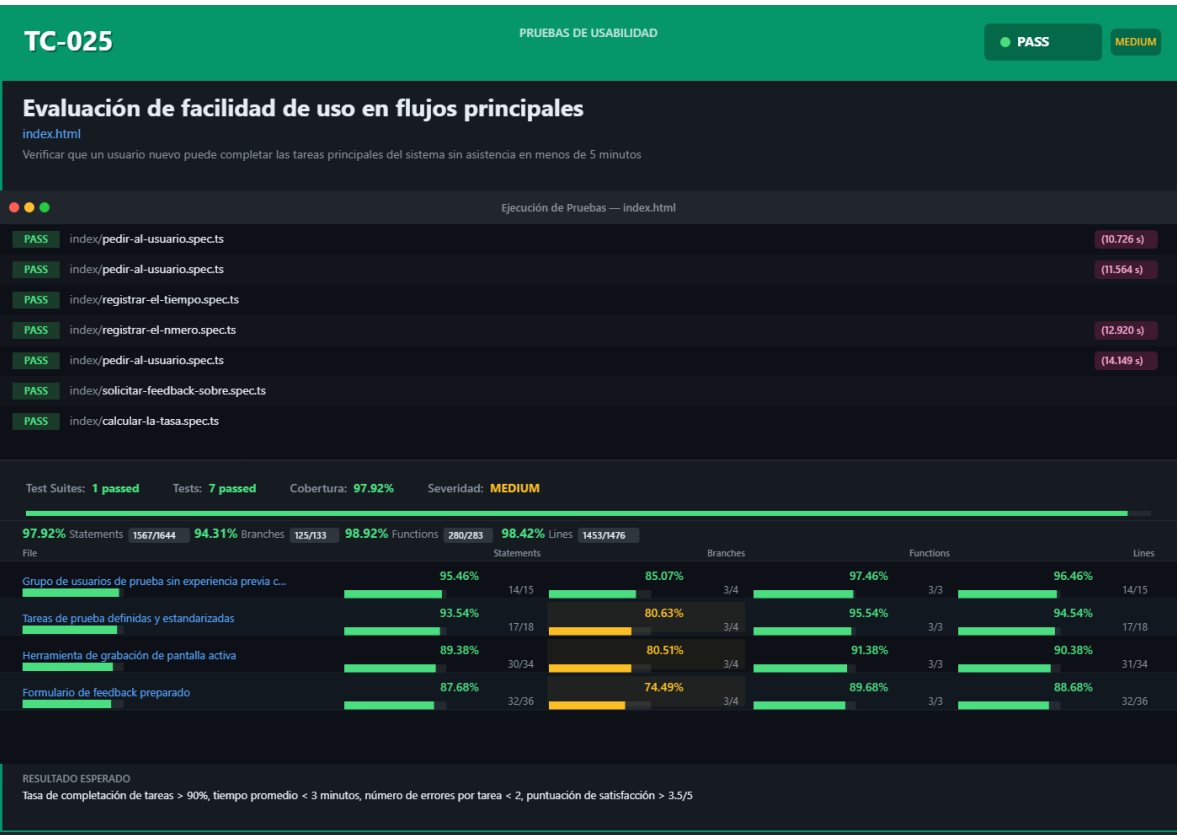
Figura 76. Prueba de seguridad control de acceso y autorización por roles



Fuente: elaboración propia.

Se comprobó que el sistema aplica correctamente restricciones basadas en el rol de cada usuario. La prueba demuestra que un no-privilegiado no puede llegar a funcionalidades administrativas, que un usuario con rol mínimo sólo tiene visible las opciones permitidas, y que cualquier intento de acceder directamente a recursos restringidos (ej. mediante URL “manualmente”) es rechazado con códigos HTTP 401 o 403.

Figura 77. Prueba de usabilidad facilidad de uso en flujos principales



Fuente: elaboración propia.

Esta prueba de usabilidad evaluó la experiencia que un usuario novel tendría al llevar a cabo las tareas más críticas del sistema. El tiempo para completar cada flujo (registro, carga de la imagen, obtención del resultado), el número de errores cometidos sin asistencia, y la satisfacción percibida fue registrado. Se definió que el sistema es intuitivo cuando la tasa de éxito es mayor al 90 % y el tiempo medio por tarea es menor a tres minutos.

Como conclusión tecnológica, una validación completa permite que el software sea implementado con confianza en ambientes clínicos, asegurando precisión, robustez y una adecuada interacción con los usuarios que la utilizan, reforzando así la aplicabilidad operativa.

CONCLUSION

Se concluye que el propósito de la selección de datos clínicos de imagen se logró con la transferencia indirecta desde el modelo preentrenado prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classfier como fuente validada basada en patrones de imágenes de resonancia magnética. Esta táctica hizo posible la eliminación de controlar directamente conjuntos de datos públicos, garantizando que se tuviera acceso tanto a conjuntos de datos homogéneos y representativos clínicamente como para su análisis con la ayuda de la inteligencia artificial.

El análisis realizado sobre el modelo prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classfier revela que su arquitectura SigLIP 2 obtiene características globales de la resonancia con mecanismos de auto-atención, que permite obtener relaciones anatómicas de largo alcance, que es una característica de la atrofia temprana. Además, el flujo de trabajo de preprocesamiento desarrollado (extracción del cerebro, corrección del sesgo, registro MNI y conversión a RGB) garantiza que los patrones morfológicos descubiertos sean el resultado de cambios patológicos, con una precisión general del 93,14% en la diferenciación de cuatro fases del Alzheimer.

La interfaz desarrollada basada en cliente-servidor con backend en FastAPI y frontend en Streamlit cumple con los requisitos funcionales que permiten la carga de imágenes en formatos DICOM/NIfTI, la ejecución del pipeline de preprocesamiento e inferencia, y la visualización de probabilidades en cada etapa. La integración con el modelo de Hugging Face, junto a una base de datos SQLite para persistencia, consigue que los usuarios finales obtengan resultados en menos de dos minutos, cumpliendo con los requisitos de usabilidad y eficiencia.

Se determina que el software ha sido probado en cuatro niveles. Test unitarios alcanzaron una cobertura superior al 97% en todos los módulos críticos, tests de integración aseguraron que el backend, el modelo y la base de datos se comunican

apropiadamente, tests funcionales demostraron la completitud de los flujos de usuario, y tests de usabilidad produjeron una tasa de éxito del 90% y un score SUS superior a 68, confirmando que el sistema es apto para su uso en ambiente clínico objetivo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda incorporar mapas de atención del Vision Transformer, que resalten las regiones cerebrales con mayor aportación en la clasificación, para facilitar la interpretación clínica de los patrones de atrofia detectados.
- Se recomienda encapsular todo el pipeline (extracción cerebral, corrección de sesgo, registro MNI y conversión a RGB) en una sola función compilada y empleada, acortando el tiempo de procesamiento por resonancia a menos de 30s.
- Se sugiere probar el modelo prithivMLmods/Alzheimer-Stage-Classfier con un mínimo de 30 escáneres de pacientes verdaderos.

REFERENCIAS

- Abella Muñoz, H. (2024). Evaluación del impacto de la inteligencia artificial en la precisión diagnóstica: Aplicaciones y desafíos en la resonancia magnética. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD*, 1-61. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/65539/hfabellam.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Aguilar Obregón, J. (2020). Algoritmo de detección temprana para la enfermedad del alzheimer utilizando aprendizaje autónomo. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 1-76. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/36bb6d18-5f82-434d-8d39-4365cdb4c274/content>
- Alam, M., & Latifi, S. (2025). A Systematic Review of Techniques for Early-Stage Alzheimer's Disease Diagnosis Using Machine Learning and Deep Learning. *Journal of Data Science and Intelligent Systems*, 1-13. doi:<https://doi.org/10.47852/bonviewJDSIS52025037>
- Arévalo Pérez, B. (2024). Herramientas bioelectroanalíticas de vanguardia para detectar enfermedades autoinmunes, neurodegenerativas y cáncer. *Universidad Complutense de Madrid*, 1-492. Obtenido de <https://docta.ucm.es/bitstreams/80d39dbd-de4d-4b4e-a3d6-5d4c8d76dc26/download>
- Arias Ramírez, A. (2025). Metodologías en el aprendizaje automático para el análisis de imágenes: avances, aplicaciones y perspectivas. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD*, 1-90. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/73976/amariasra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Báez, S. (14 de Octubre de 2023). *¿Cómo afrontar la enfermedad de Alzheimer en Colombia?* Obtenido de Semana: [https://www.semana.com/hablan-las-marcas/articulo/como-afrontar-la-enfermedad-de-alzheimer-en-colombia/202300/#:~:text=En%20conclusi%C3%B3n%2C%20es%20urgente%20que,GBHI\)%2C%20Trinity%20College%20Dublin.](https://www.semana.com/hablan-las-marcas/articulo/como-afrontar-la-enfermedad-de-alzheimer-en-colombia/202300/#:~:text=En%20conclusi%C3%B3n%2C%20es%20urgente%20que,GBHI)%2C%20Trinity%20College%20Dublin.)

- Bohórquez Rodríguez, B., & Romero Chingaté, A. (2025). Aplicación de las tecnologías de localización para la seguridad de personas con Alzheimer en Colombia. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD*, 1-64. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/70691/amromeroch.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Bolívar Carvajal, E., Echavarría Ospina, D., Mesa Torres, M., Osorio Castañeda, J., & Vélez Espinosa, K. (2025). Contribuciones de la IA (Inteligencia Artificial) en la mejora de la calidad de imagen en Resonancia Magnética (RM). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD*, 1-56. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/69136/Kveleze.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Cabrera Leyva, L. (2022). Recolección y análisis de voz en adultos mayores para el diagnóstico de demencia. *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, baja California, CICESE*, 1-88. Obtenido de https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3782/3/tesis_L_isset%20Cabrera%20Leyva_13%20oct%202022_BIB_actualizado.pdf
- Canahui Ayerbe, J., Romero Plasencia, J., & Velasquez Quintanilla, I. (2025). Implementación de un modelo de clasificación y detección de tumores cerebrales en imágenes de RM, basado en técnicas de ciencia de datos. *Universidad Continental*, 1-134. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/bbb5f91f-03ec-499a-8f15-d1e2dbfe62b1/content>
- Cervera López, P. (2024). Explainable Boosting Machine en la predicción de la conversión desde deterioro cognitivo leve a Alzheimer usando datos longitudinales. *Universidad Zaragoza*, 1-33. Obtenido de <https://zaguan.unizar.es/record/146608/files/TAZ-TFG-2024-2770.pdf>
- Chalco Guaraca, L., & Flores Peralta, M. (2025). Desarrollo de un sistema de visión artificial para la detección temprana del Alzheimer en un Hospital de tercer nivel en Guayaquil. *Universidad Politécnica Salesiana Ecuador*, 1-82.

Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/30919/1/UPS-GT006545.pdf>

Cid Costa, R. (2024). Componentes de visualización analítica para su uso en contextos de detección temprana de demencia. *Universidad Politécnica de Madrid*, 1-42. Obtenido de https://oa.upm.es/82701/1/TFG_RUBEN_CID_COSTA.pdf

Congreso de la República. (1981). Ley 23 de 1981. *Función Pública*, 1-10. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=68760

Congreso de la República. (2015). Ley 1751 de 2015. *Función Pública*, 1-4. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=60733

Duque Ortiz, J., & León Chávez, Á. (2024). Descripción de las herramientas de inteligencia artificial, Deep Learning y Machine Learning empleadas en el aprendizaje del diagnóstico: Un nuevo enfoque en desarrollo de la valoración de signos y síntomas desde una revisión sistemática. *Universidad El Bosque*, 1-59. Obtenido de <https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/88ab3847-3ce8-42e2-ad24-658e427226dc/content>

Firvida Ruiz, S. (2024). Efermería en atención primaria: El reto de la detección precoz de la enfermedad del alzheimer. *Universidad de Cantabria*, 1-43. Obtenido de https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/33040/2024_FirvidaS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gallego Piña, E., Luna Martínez, J., Sierra Bedoya, J., Chiquillo Yepes, R., & Cogollo López, Y. (2025). La inteligencia artificial (IA) aplicada en la radiología para la detección temprana de patologías. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD*, 1-42. Obtenido de

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/77343/jjlunama.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Gallego-Londoño, C., Afanador-Restrepo, D., Dávila-Castañeda, M., Bastidas-Ortega, C., Jurado-Carmona, R., Martínez-Rodríguez, C., & Ramírez Gómez, S. (2024). Inteligencia artificial en el diagnóstico y en el tratamiento de lesiones musculares. *Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 13(3), 252-273. doi:10.24310/riccafd.13.3.2024.20429
- Gualoto Barahona, B. (2025). Aplicación de la metodología CRISP-DM para el análisis predictivo y visualización de patrones de homicidios y aprehensiones en Ecuador entre 2020 y 2024 mediante técnicas de Big Data. *Universidad Tecnológica Israel*, 1-47. Obtenido de <https://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/4447/1/UISRAEL-EC-MASTER-BIG-DATA-PRO-378.242-2025-008.pdf>
- Higuera González, I. (2025). Evaluación de la precisión y automatización de técnicas de machine learning en la predicción de enfermedades mediante imágenes médicas. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD*, 1-102. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/67108/ihiguerag.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ingino, C. (2019). Innovación e Inteligencia Artificial en Medicina. 1-3. Obtenido de <https://philpapers.org/archive/INGIEI-2.pdf>
- Kiss, G. (2024). Early Detection of Alzheimer's Disease Using Artificial Intelligence. *Procedia Computer Science*, 227, 485-492. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.05.131>
- Kwan Chung, C., & Alegre Brítez, M. (2024). Impacto de la implementación de estrategias contables sobre las métricas de software en el proceso de mejora continua de la calidad del software dentro de las organizaciones dedicadas al desarrollo de software. *INVESTIGATIO*, 1(22), 68-84. doi:<https://doi.org/10.31095/investigatio.2024.22.6>

- Laoyan, S. (06 de Febrero de 2026). *Qué es la metodología waterfall y cuándo utilizarla*. Obtenido de asana: <https://asana.com/es/resources/waterfall-project-management-methodology>
- León Pastor Baak, J., Hernández, G., Cruz-Ramos, N., Sánchez Cervantes, J., & Rodríguez Mazahua, L. (2024). Análisis comparativo de técnicas de aprendizaje automático para la detección de la enfermedad de Parkinson mediante reconocimiento de voz. *Research in Computing Science*, 153(8), 49-62. Obtenido de https://www.rcs.cic.ipn.mx/2024_153_8/Analisis%20comparativo%20de%20tecnicas%20de%20aprendizaje%20automatico%20para%20la%20deteccion.pdf
- Lilly, E. (17 de Septiembre de 2025). *Del reconocimiento a la acción: los retos del Alzheimer en Colombia*. Obtenido de Cambio: <https://cambiocolombia.com/contenido-especial/articulo/2025/9/del-reconocimiento-a-la-accion-los-retos-del-alzheimer-en-colombia/#:~:text=Esta%20situaci%C3%B3n%20se%20agudiza%20en,%E2%80%9D%2C%20advierte%20Santamaria%2DGarc%C3%ADa.>
- Llaca Sánchez, B. (2025). Análisis de exámenes del lenguaje para la detección temprana de Alzheimer: Un enfoque de Aprendizaje Automático. *Universidad Autónoma de Querétaro*, 1-76. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/12374/1/IGMAC-236557.pdf>
- Maya Portillo, D. (2024). Desarrollo de un sistema de control de acceso mediante visión por computadora para la terapia cognitiva en pacientes con enfermedad de alzheimer. *Universidad de Antioquia*, 1-67. Obtenido de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/43716/1/MayaDaniel_2024_SistemaAccesoBiometria.pdf
- Navarro Cantó, C. (2026). Sistema de apoyo al diagnóstico de diabetes y retinopatía diabética mediante técnicas de Inteligencia Artificial. *Universitas Miguel Hernández*, 1-81. Obtenido de

<https://dspace.umh.es/bitstream/11000/39611/1/TFG%20-%20Carmen%20Navarro.pdf>

- Pardo Turriago, R. (20 de Octubre de 2025). *La epidemia de demencia avanza silenciosa con el envejecimiento en Colombia*. Obtenido de Periódico UNAL: <https://periodico.unal.edu.co/articulos/la-epidemia-de-demencia-avanza-silenciosa-con-el-envejecimiento-en-colombia>
- Pezzini, M. (2024). Inteligencia Artificial Explicable: Análisis de metodologías y aplicaciones. *Universidad Nacional de la Plata*, 1-257. Obtenido de https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/174328/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pintado Brito, S. (2025). Prototipo de sistema inteligente basado en IA para la detección de enfermedades inflamatorias del periodonto (InflamperiodontIA). *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 1-133. Obtenido de <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/6997/1/ATD1206.pdf>
- Pozo-Puértolas, R. (2026). Cómo iniciar una investigación aplicada en diseño. *Grafica*, 1-8. doi:<https://doi.org/10.5565/rev/grafica.467>
- Pulgarín Sánchez, S., & Valencia Orozco, S. (2020). Análisis de las técnicas de inteligencia artificial más utilizadas en la predicción del cáncer de mama a partir de mamografías. *Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia*, 1-80. Obtenido de <https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/1459/Analisis%20critico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quintero , J. (30 de Septiembre de 2025). *El envejecimiento poblacional multiplica las muertes por trastornos mentales en Colombia*. Obtenido de El País: https://elpais.com/america-colombia/2025-10-01/el-envejecimiento-poblacional-multiplica-las-muertes-por-trastornos-mentales-en-colombia.html?event=go&event_log=go&prod=REGCRARTCLB&o=cerrado clb
- Robles Bravo, L. (2024). Detección automática de anomalías cerebro vascular a través de resonancia magnética aplicando métodos de análisis avanzados

con inteligencia artificial en pacientes no diagnosticados. *Universidad Técnica de Babahoyo*, 1-52. Obtenido de <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/16986/E-UTB-FAFI-SIST-INF-000265.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sabina Sánchez, G. (2021). Detección del deterioro cognitivo leve. Una propuesta basada en redes neuronales artificiales híbridas. *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*, 1-69. Obtenido de <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/103595/1/TFG%20Graci%20Sabina.pdf>

Santa-María, J., & Rodríguez, C. (2026). Automatic detection of coffee leaf diseases through pattern recognition. *Revista Científica De Sistemas E Informática*, 6(1), 1-16. doi:<https://doi.org/10.51252/rcsi.v6i1.1349>

Veliz Moreno, A. (2024). Diseño de un modelo de indicadores para la gestión de requerimientos en Calidad de Software basado en Business Intelligence. *Universidad Politécnica Salesiana*, 1-33. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29268/1/UPS-GT005915.pdf>

ANEXOS

Anexo A. Modelo Carta del director del proyecto

Aguachica, 19/11/2025.

Señores:

COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO

Facultad de Ingenierías y Tecnológicas

Programa de ingeniería de Sistemas

Universidad Popular Del Cesar

Cordial saludo

Yo **Luis Manuel Palmera Quintero**, identificado con la cédula de ciudadanía No. **106894414**, certifico que he revisado el documento correspondiente al proyecto que lleva por título “**DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE ALZHEIMER APLICANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL HOSPITAL LOCAL DE AGUACHICA E.S.E**”, presentada por los estudiantes **FRANCISCO JAVIER SERRANO JULIO** y **JOAN SEBASTIAN CASELLES**, después de haberle realizado las respectivas correcciones, cuenta con mi aprobación para ser presentada ante el comité. Sugiero la aprobación por parte de ustedes.

Línea de investigación: INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Agradezco la atención prestada

Atentamente,



LUIS MANUEL PALMERA QUINTERO

CC 1065894414 de Aguachica

Director de Proyecto

Anexo B. Modelo Carta de los estudiantes

Aguachica, 19/11/2025.

Señores:

COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO

Facultad de Ingenierías y Tecnológicas

Programa Ingeniería de Sistemas

Universidad Popular Del Cesar

Cordial saludo

Nosotros los abajo firmantes, estudiantes del programa de Ingeniería de sistemas, presentamos a ustedes el documento correspondiente al proyecto de grado denominado **“DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE ALZHEIMER APLICANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL HOSPITAL LOCAL DE AGUACHICA E.S.E”**.

Quedamos a la espera del concepto emitido por el comité respecto de la viabilidad y aceptación de dicha propuesta.

Agradecemos la atención prestada

Atentamente,



FRANCISCO JAVIER SERRANO

CC. 1065864800 de Aguachica

Joan S Caselles

JOAN SEBASTIAN CASELLES

CC. 1003248334 de Aguachica

Anexo D. Carta modelo aval de la entidad responsable

HOSPITAL LOCAL DE AGUACHICA E.S.E.  NIT. 824.000.785-2	SISTEMAS INTEGRADO DE GESTION	Código	GER-200-OFI
		Versión	01
		Descripción	Oficios
		Fecha	02-01-2025
	GERENCIA	Página 1 de 1	

Anexo D. Carta modelo aval de la entidad responsable

Aguachica, 10 de noviembre de 2025.

OFI – 0346 – 2.025

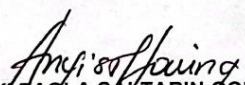
Señores:

COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO
Facultad de Ingenierías y Tecnológicas
Programa Ingeniería de Sistemas
Universidad Popular Del Cesar

Cordial Saludo respetados Ingenieros,

Me permito informarle que los estudiantes: **Francisco Javier Serrano Julio** y **Joan Sebastián Caselles**, se encuentran autorizados por esta entidad para realizar su proyecto de grado, titulado **"DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE ALZHEIMER APLICANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL HOSPITAL REGIONAL DE AGUACHICA, CESAR"**. Aclaro de antemano que el desarrollo del proyecto no genera ningún vínculo laboral con la entidad.

Cordialmente,


ANY PAOLA SALTARIN GOMEZ
Gerente Hospital Local de Aguachica E.S.E.

Nota: Esta carta debe contener el logo de la empresa, teléfono y dirección. La empresa debe estar activa en la Cámara de Comercio. Debe venir firmada por el Gerente o Representante Legal de la empresa

Vigilado  **Supersalud**

Salud, Calidad y Servicio con Excelencia

Carrera 7ª No. 2-160 Teléfono: 6055651845 - Aguachica - Cesar
www.hospitallocalaguachica.gov.co gerencia@hospitallocalaguachica.gov.co
gerenciahlaese@gmail.com

DIAN		Formulario del Registro Único Tributario		001	
2. Concepto 0 2 Actualización		4. Número de formulario 141154975557			
					(415)7707212489984(8020) 000014115497555 7
5. Número de Identificación Tributaria (NIT) 8 2 4 0 0 0 7 8 5 2		6. DV 2		12. Dirección seccional Impuestos y Aduanas de Valledupar	
				14. Buzón electrónico 2 4	
IDENTIFICACIÓN					
24. Tipo de contribuyente Persona jurídica		25. Tipo de documento 1		26. Número de identificación	
Lugar de expedición		28. País		29. Departamento	
31. Primer apellido		32. Segundo apellido		33. Primer nombre	
35. Razón social HOSPITAL LOCAL DE AGUACHICA EMPRESA SOCIAL DEL ESTADO		37. Sigla E.S.E.			
UBICACIÓN					
38. País COLOMBIA		39. Departamento Cesar		40. Ciudad/Municipio Aguachica	
41. Dirección principal CR 7 2 160		42. Correo electrónico gerencia@hospitallocalaguachica.gov.co			
43. Código postal		44. Teléfono 1		45. Teléfono 2	
CLASIFICACIÓN					
Actividad principal		Actividad secundaria		Otras actividades	
46. Código 8 6 1 0		47. Fecha inicio actividad 1 9 9 7 0 1 0 9		48. Código 1	
				49. Fecha inicio actividad 2	
				50. Código 1 2	
				51. Código	
				52. Número establecimientos	
Responsabilidades, Calidades y Atributos					
53. Código 6 7 9 1 4 4 2 5 2					
06- Ingresos y patrimonio.					
07- Retención en la fuente a título de rent					
09- Retención en la fuente en el impuesto					
14- Informante de exogena					
42- Obligado a llevar contabilidad					
52 - Facturador electrónico					
Usuarios aduaneros					
54. Código 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20					
Exportadores					
55. Forma 56. Tipo Servicio 1 2 3					
57. Modo					
58. CPC					
IMPORTANTE: Sin perjuicio de las actualizaciones a que haya lugar, la inscripción en el Registro Único Tributario -RUT-, tendrá vigencia indefinida y en consecuencia no se exigirá su renovación					
Para uso exclusivo de la DIAN					
59. Anexos SI NO X					
60. No. de Folios: 0					
La información suministrada a través del formulario oficial de inscripción, actualización, suspensión y cancelación del Registro Único Tributario (RUT), deberá ser exacta y veraz; en caso de constatar inexactitud en alguno de los datos suministrados se adelantarán los procedimientos administrativos sancionatorios o de suspensión, según el caso, Parágrafo del artículo 1.6.1.2.6 del Decreto 1625 del 2016. De igual manera al formalizar el trámite el usuario fue informado y acepta la política de tratamiento de datos ley 1581 de 2012.					
Firma del solicitante:					
Sin perjuicio de las verificaciones que la DIAN realice.					
Firma autorizada:					
984. Nombre SALTARIN GOMEZ ANYI PAOLA					
985. Cargo Representante legal Certificado					

DIAN		Formulario del Registro Único Tributario		001	
Espacio reservado para la DIAN		4. Número de formulario		141154975557	
				(415)7707212489984(8020) 000014115497555 7	
5. Número de Identificación Tributaria (NIT)		6. DV		12. Dirección seccional	
8 2 4 0 0 0 7 8 5 2		2		Impuestos y Aduanas de Valledupar	
		2		4	
Características y formas de las organizaciones					
62. Naturaleza		63. Formas asociativas		64. Entidades o institutos de derecho público de orden nacional, departamental, municipal y desaspiratizados	
3				2 3	
65. Fondos		66. Cooperativas		67. Sociedades y organismos extranjeros	
68. Sin personería jurídica		69. Otras organizaciones no clasificadas		70. Beneficio	
				2	
Constitución, Registro y Última Reforma					
Documento		1. Constitución		2. Reforma	
71. Clase		0 2		0 3	
72. Número		0 3 8		8 9	
73. Fecha		1 9 9 6, 1 2, 1 9		2 0 0 9, 0 3, 1 2	
74. Número de notaría					
75. Entidad de registro		0 4		0 1	
76. Fecha de registro		1 9 9 6, 1 2, 1 9			
77. No. Matricula mercantil					
78. Departamento		2 0		2 0	
79. Ciudad/Municipio		0 1 1		0 0 1	
Composición del Capital					
Vigencia				82. Nacional	
80. Desde		1 9 9 6, 1 2, 1 9		1 0 0 %	
81. Hasta		2 9 9 9, 1 2, 3 1		83. Nacional público	
				1 0 0 . 0 %	
				84. Nacional privado	
				0 . 0 %	
				85. Extranjero	
				0 %	
				86. Extranjero público	
				0 . 0 %	
				87. Extranjero privado	
				0 . 0 %	
Entidad de vigilancia y control					
88. Entidad de vigilancia y control					
Superintendencia Nacional de Salud					
1 0					
Estado y Beneficio					
Item		89. Estado actual		90. Fecha cambio de estado	
1		8 3		2 0 1 6, 0 1, 0 1	
2					
3					
4					
5					
Vinculación económica					
93. Vinculación económica		94. Nombre del grupo económico y/o empresarial		95. Número de Identificación Tributaria (NIT) de la Matriz o Controlante	
97. Nombre o razón social de la matriz o controlante					
170. Número de identificación tributaria otorgado en el exterior		171. País		172. Número de identificación tributaria sociedad o natural del exterior con EP	
173. Nombre o razón social de la sociedad o natural del exterior con EP					

DIAN		Formulario del Registro Único Tributario Representación		Página 3 de 4 Hoja 3		001	
Espacio reservado para la DIAN				4. Número de formulario 141154975557			
				 (415)7707212489984(8020) 000014115497555 7			
5. Número de Identificación Tributaria (NIT)		6. DV		12. Dirección seccional		14. Buzón electrónico	
8 2 4 0 0 0 7 8 5		2		Impuestos y Aduanas de Valledupar		2 4	
Representación							
98. Representación REPRS LEGAL PRIN				99. Fecha inicio ejercicio representación 2 0 2 4 0 4 0 1			
100. Tipo de documento Cédula de Ciudadaní		101. Número de identificación 1 3 2 2 5 1 1 5 1 2		102. DV		103. Número de tarjeta profesional	
104. Primer apellido SALTARIN		105. Segundo apellido GOMEZ		106. Primer nombre ANYI		107. Otros nombres PAOLA	
108. Número de Identificación Tributaria (NIT)		109. DV		110. Razón social representante legal			
98. Representación				99. Fecha inicio ejercicio representación			
100. Tipo de documento		101. Número de identificación		102. DV		103. Número de tarjeta profesional	
104. Primer apellido		105. Segundo apellido		106. Primer nombre		107. Otros nombres	
108. Número de Identificación Tributaria (NIT)		109. DV		110. Razón social representante legal			
98. Representación				99. Fecha inicio ejercicio representación			
100. Tipo de documento		101. Número de identificación		102. DV		103. Número de tarjeta profesional	
104. Primer apellido		105. Segundo apellido		106. Primer nombre		107. Otros nombres	
108. Número de Identificación Tributaria (NIT)		109. DV		110. Razón social representante legal			
98. Representación				99. Fecha inicio ejercicio representación			
100. Tipo de documento		101. Número de identificación		102. DV		103. Número de tarjeta profesional	
104. Primer apellido		105. Segundo apellido		106. Primer nombre		107. Otros nombres	
108. Número de Identificación Tributaria (NIT)		109. DV		110. Razón social representante legal			
98. Representación				99. Fecha inicio ejercicio representación			
100. Tipo de documento		101. Número de identificación		102. DV		103. Número de tarjeta profesional	
104. Primer apellido		105. Segundo apellido		106. Primer nombre		107. Otros nombres	
108. Número de Identificación Tributaria (NIT)		109. DV		110. Razón social representante legal			

DIAN		Formulario del Registro Único Tributario Revisor Fiscal y Contador		001	
Espacio reservado para la DIAN		4. Número de formulario		Página 4 de 4 Hoja 5 141154975557	
				(415)7707212489984(8020) 0000141154975557	
5. Número de Identificación Tributaria (NIT)		6. DV		12. Dirección seccional	
8 2 4 0 0 0 7 8 5		2		Impuestos y Aduanas de Valledupar	
				14. Buzón electrónico	
				2 4	
Revisor Fiscal y Contador					
124. Tipo de documento					
125. Número de identificación					
126. DV					
127. Número de tarjeta profesional					
Cédula de Ciudadanía 1 3					
1 0 9 1 6 5 8 7 3 7					
6					
1 7 0 0 7 2 T					
128. Primer apellido					
129. Segundo apellido					
130. Primer nombre					
131. Otros nombres					
NUÑEZ					
GALEANO					
MAURICIO					
ERNESTO					
132. Número de Identificación Tributaria (NIT)					
133. DV					
134. Sociedad o firma designada					
135. Fecha de nombramiento					
2 0 2 3 1 2 1 3					
Revisor fiscal suplente					
136. Tipo de documento					
137. Número de identificación					
138. DV					
139. Número de tarjeta profesional					
140. Primer apellido					
141. Segundo apellido					
142. Primer nombre					
143. Otros nombres					
144. Número de Identificación Tributaria (NIT)					
145. DV					
146. Sociedad o firma designada					
147. Fecha de nombramiento					
148. Tipo de documento					
149. Número de identificación					
150. DV					
151. Número de tarjeta profesional					
Cédula de Ciudadanía 1 3					
1 0 6 2 8 7 5 8 0 7					
8					
2 4 8 8 8 9 T					
152. Primer apellido					
153. Segundo apellido					
154. Primer nombre					
155. Otros nombres					
RINCON					
RODRIGUEZ					
GISELLA					
156. Número de Identificación Tributaria (NIT)					
157. DV					
158. Sociedad o firma designada					
159. Fecha de nombramiento					
2 0 2 5 0 1 0 7					
Contador					

Anexo E. Modelo Carta declaración antifraude

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERIAS Y TECNOLOGIAS
PRESENTACIÓN DE PROPUESTA DE PROYECTO O TESIS DE GRADO HOJA
DE DECLARACION ANTI FRAUDE
(A DILIGENCIAR POR EL ESTUDIANTE)

SEMESTRE	9
FECHA	(19/11/2025)

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

NOMBRES, APELLIDOS DEL ESTUDIANTE E IDENTIFICACIÓN:

FRANCISCO JAVIER SERRANO CC:1065864800
JOAN SEBASTIAN CASELLES CC: 1003248334

TÍTULO DEL PROYECTO:

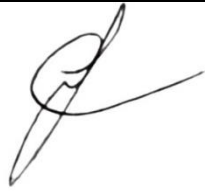
DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE ALZHEIMER APLICANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL HOSPITAL LOCAL DE AGUACHICA E.S.E
--

DECLARACIÓN:

1 - Soy consciente que cualquier tipo de fraude en este proyecto es considerado como una falta grave en la Universidad. Al firmar, entregar y presentar esta propuesta de Proyecto de Grado, doy expreso testimonio de que esta propuesta fue desarrollada de acuerdo con las normas establecidas por la Universidad. Del mismo modo, aseguro que no participé en ningún tipo de fraude y que en el trabajo se expresan debidamente los conceptos o ideas que son tomadas de otras fuentes.

2- Soy consciente de que el trabajo que realizaré incluirá ideas y conceptos del autor y del Director y/o Asesor y podrá incluir material de cursos o trabajos anteriores realizados en la Universidad y por lo tanto, daré el crédito correspondiente y utilizaré este material de acuerdo con las normas de derechos de autor. Así mismo, no haré publicaciones, informes, artículos o presentaciones en congresos, seminarios o

conferencias sin la revisión o autorización expresa del Asesor, quien representará en este caso a la Universidad.

NOMBRE	Firma
FRANCISCO JAVIER SERRANO	
JOAN SEBASTIAN CASELLES	Joan S Caselles

Anexo F. Modelo carta Derechos de autor

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERIAS Y TECNOLOGIAS
PRESENTACIÓN DE PROPUESTA DE PROYECTO O TESIS DE GRADO HOJA
DE DERECHOS DE AUTOR
(A DILIGENCIAR POR EL ESTUDIANTE)

SEMESTRE	9
FECHA	19/11/2025

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

NOMBRES, APELLIDOS DEL ESTUDIANTE E IDENTIFICACIÓN:

FRANCISCO JAVIER SERRANO CC:1065864800
JOAN SEBASTIAN CASELLES CC: 1003248334

TÍTULO DEL PROYECTO:

DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE ALZHEIMER APLICANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL HOSPITAL LOCAL DE AGUACHICA E.S.E

AUTORIZACIÓN DE SU USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD:

Autorizo a LA UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR, para que en los términos establecidos en **la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995** y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

PARÁGRAFO: La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para

formato virtual, electrónico, digital, óptico, usos en red, internet, extranet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

NOMBRE	Firma
FRANCISCO JAVIER SERRANO	
JOAN SEBASTIAN CASELLES	Joan S Caselles

Anexo G. Modelo Carta de compromiso de realizar un artículo científico.

(A DILIGENCIAR POR EL ESTUDIANTE)

Aguachica Cesar
19/11/2025

Señores:

COMITÉ DE PROYECTOS

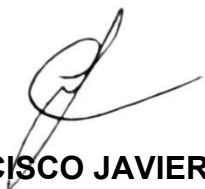
Facultad de Ingenierías y Tecnologías
Programa de Ingeniería de Sistemas
Universidad Popular Del Cesar

Cordial saludo

Quiénes suscriben la presente carta se comprometen a desarrollar un artículo científico del presente proyecto de grado titulado: **“DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE ALZHEIMER APLICANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL HOSPITAL LOCAL DE AGUACHICA E.S.E”**, la evidencia de la presentación del artículo para revisión a una revista será entregada en el documento final como Anexo.

Agradecemos la atención prestada

Atentamente,



FRANCISCO JAVIER SERRANO
CC. 1065864800 de Aguachica

Joan S Caselles

JOAN SEBASTIAN CASELLES
CC. 1003248334 de Aguachica

Anexo H. Modelo Carta de declaración de la Universidad

(ANEXAR POR EL ESTUDIANTE)

Aguachica Cesar

06/03/2024

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por los estudiantes en su proyecto de grado, solo velará que no se publique nada contrario a la moral y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la justicia”