

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN



Sistema experto para apoyar en la prevención de las complicaciones de la hipertensión arterial

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

AUTOR

Maria Gabriela Santillan Cabrejos

ASESOR

Maria Ysabel Aranguri Garcia

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

Chiclayo, 2025

**Sistema experto para apoyar en la prevención de las
complicaciones de la hipertensión arterial**

PRESENTADA POR

Maria Gabriela Santillan Cabrejos

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

INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

APROBADA POR

Marlon Eugenio Vilchez Rivas
PRESIDENTE

Huiler Juanito Mera Montenegro
SECRETARIO

Maria Ysabel Aranguri Garcia
VOCAL

DEDICATORIA

A mi abuelo, por darme cariño el tiempo que estuvo vivo y ser mi motivación para seguir luchando en la carrera.

A mi familia, por ser mi modelo a seguir y enseñarme el valor de la perseverancia.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme fuerzas, en los momentos de frustración y tristeza.

Al apoyo incondicional de mis padres a lo largo de mi tesis y creer en mí, incluso cuando yo dudaba de mis capacidades.

A mi asesora por apoyarme en el desarrollo de mi tesis.

Sistema experto para apoyar en la prevención de las complicaciones de la hipertensión arterial

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

tesis.usat.edu.pe

Fuente de Internet

3%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

3%

3

Gerhard Hindricks, Tatjana Potpara, Nikolaos Dagres, Elena Arbelo et al. "Guía ESC 2020 sobre el diagnóstico y tratamiento de la fibrilación auricular, desarrollada en colaboración de la European Association of Cardio-Thoracic Surgery (EACTS)", Revista Española de Cardiología, 2021

Publicación

1%

Índice

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Resumen | 6 |
| Abstract | 7 |
| Introducción..... | 8 |
| Revisión de literatura..... | 10 |
| Materiales y métodos | 13 |
| Resultados y discusión | 17 |
| Conclusiones | 27 |
| Recomendaciones | 28 |
| Referencias..... | 30 |
| Anexos | 33 |

Resumen

Este proyecto de investigación abordó la problemática de la Hipertensión Arterial, una causa principal de mortalidad a nivel mundial debido a sus complicaciones. En el departamento de Lambayeque, el diagnóstico temprano resulta una tarea compleja debido a factores como la escasez de especialistas médicos, falta de cultura de prevención y desinterés en la población por buscar atención médica. Como solución se desarrolló un sistema experto cuyo objetivo principal es apoyar en la prevención de las complicaciones de la Hipertensión Arterial. Para lograrlo se identificaron los factores de riesgo y los síntomas asociados a la Hipertensión Arterial, en base a los artículos científicos revisados y las consultas realizadas a los expertos. Posterior a ello, se evaluó el nivel de influencia de cada variable en relación con el aumento del riesgo de complicaciones relacionadas con la Hipertensión Arterial. Para el desarrollo del sistema experto se empleó la metodología de la Ingeniería del conocimiento de Jhon Durkin y se construyó un modelo de red neuronal para obtener el porcentaje del posible nivel de riesgo de un paciente de padecer la enfermedad. La interfaz del sistema se programó en PHP, mientras que la red neuronal en Python. Finalmente se evaluó el desempeño del sistema experto considerando las siguientes métricas: 94% de precisión, 100% de sensibilidad y 91% de F1-Score. Asimismo, se verificó la funcionalidad de la interfaz a través de las pruebas de caja negra, caja blanca y la característica de adecuación funcional encontrada en la norma ISO 25010:2011.

Palabras clave: sistemas expertos, redes neuronales, Hipertensión arterial

Abstract

This research project addressed the problem of arterial hypertension, a leading cause of mortality worldwide due to its complications. In the department of Lambayeque, early diagnosis is a complex task due to factors such as the scarcity of medical specialists, lack of a culture of prevention and lack of interest in seeking medical attention. As a solution, an expert system was developed whose main objective is to support the prevention of the complications of Arterial Hypertension. To achieve this, the risk factors and symptoms associated with Arterial Hypertension were identified, based on the scientific articles reviewed and consultations with experts. Subsequently, the level of influence of each variable in relation to the increased risk of complications related to arterial hypertension was evaluated. For the development of the expert system, Jhon Durkin's knowledge engineering methodology was used and a neural network model was built to obtain the percentage of a patient's possible risk level of suffering from the disease. The system interface was programmed in PHP, while the neural network was programmed in Python. Finally, the performance of the expert system was evaluated considering the following metrics: 94% accuracy, 100% sensitivity and 91% F1-Score. Likewise, the functionality of the interface was verified through black box, white box and functional adequacy characteristic tests found in the ISO 25010:2011 standard.

Keywords: Expert Systems, Neural Networks, Arterial Hypertension

Introducción

La Hipertensión Arterial es un problema sanitario de amplia prevalencia a nivel mundial, sin embargo, puede pasar desapercibida fácilmente debido a la ausencia de síntomas en la mayoría de los casos y la falta de conocimiento de la población sobre los factores de riesgo que la desencadenan. [1][2][3]. Según Sánchez [4], esto propicia el descuido en los hábitos cotidianos por parte del paciente, resultando en el deterioro de su salud a causa de la aparición de enfermedades más graves, hasta llevarlo a un desenlace fatal.

En un informe elaborado por la Organización Mundial de la salud (OMS) [5], se estimó que el 46% de los adultos hipertensos desconocían su condición, mientras que el 42% es diagnosticado y tratado. Asimismo, la Fundación Española del Corazón reveló que, aproximadamente el 43% de los adultos padecían Hipertensión Arterial y el 37.4% de aquellos casos no eran diagnosticados oportunamente.[6].

Entre los años 2020 y 2021, el 9.64% de la población colombiana, equivalente a 4.890.174 personas, fue diagnosticada con Hipertensión Arterial. De esta cifra, 413.091 corresponden a casos nuevos [7]. Por otro lado, en México, según los resultados arrojados en la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio camino 2016, uno de cada cuatro adultos padece Hipertensión Arterial, es decir, 25.5% de la población, de los cuales alrededor del 40% pasa por alto que padece esta enfermedad, afectando gravemente su estado de salud, y cerca del 60% que conoce el diagnóstico, solamente la mitad reciben un seguimiento adecuado [8].

En el Perú, el estudio realizado por la Sociedad Peruana de Cardiología, estimó prevalencias de 27.3%, 22.1% y 22.7% en las regiones Costa, Sierra y Selva, respectivamente; con un promedio nacional de 23.7. Además, se reveló que la enfermedad cardiovascular fue la responsable del 29.2% de muertes, muchas de las cuales podían evitarse [9].

Dentro de la población lambayecana se pueden observar inconvenientes que obstaculizan el diagnóstico preventivo de la Hipertensión Arterial, como el desconocimiento de la enfermedad y sus factores de riesgo, la falta de conciencia sobre las complicaciones que puede desencadenar, el desinterés de las personas por su estado de salud, la dificultad económica o despreocupación por contar con un tensiómetro para medir la presión arterial, así como el desconocimiento de su modo de uso, la poca importancia que se le da a la asistencia temprana a los centros de salud y finalmente, el número limitado de especialistas en cardiología en el caso de lugares periféricos como el Pueblo Joven de San Martín.

Ante esta realidad preocupante, como alternativa de solución se propuso un sistema experto capaz de apoyar tanto a los médicos especialistas como a los pacientes en la prevención de las complicaciones de la Hipertensión Arterial. Esta solución se justifica en la necesidad de

proporcionarle a los médicos especialistas una herramienta tecnológica que le permita detectar a tiempo casos de pacientes con un alto riesgo de padecer la enfermedad e identificar aquellos factores que lo llevaron a tal resultado. Por el lado del paciente, este sistema sirve como un especialista virtual que le permite conocer su estado de salud actual, previniendo así complicaciones a futuro. Desde una perspectiva económica, el proyecto busca reducir el gasto que supone el agravamiento de la enfermedad. De igual forma, el sistema tuvo un impacto social significativo al fomentar la conciencia sobre la importancia del autocuidado de la salud y permitir a los expertos tratar anticipadamente aquellos casos de alto riesgo, reduciendo el número de muertes por complicaciones de la enfermedad.

Al igual que la presente investigación, existieron diversos estudios que abordaron la problemática de las enfermedades cardiovasculares como la Hipertensión Arterial, las cuales optaron por emplear a los sistemas expertos como solución, aportando así en el diagnóstico oportuno y prevención de la enfermedad. Entre los más destacados se puede mencionar, por ejemplo, el trabajo de Kumar y Pintu [10], que abordó el incremento de la mortalidad relacionada con enfermedades cardíacas coronarias en países industrializados. Utilizaron un modelo difuso combinado con algoritmos genéticos que obtuvo un 89.47% de precisión, convirtiéndolo en una herramienta capaz de manejar la imprecisión y la incertidumbre en el diagnóstico. Por otro lado, el estudio ambientado en Cuba de Rodríguez et al. [11] desarrolló un sistema experto basado en casos que obtuvo una precisión del 96% en el diagnóstico de la Hipertensión Arterial. Adicionalmente, Nikolic. [12] trató de solucionar la misma problemática aplicando un sistema basado en lógica difusa con la finalidad de conocer el porcentaje de riesgo de padecer la enfermedad. Dicho modelo ayudó a reducir el tiempo de diagnóstico en el hospital, lo cual aumentó la eficiencia del tratamiento proporcionado por el médico.

Este artículo plantea como objetivo general el desarrollo de un sistema experto para apoyar en la prevención de las complicaciones de la Hipertensión Arterial. Para lograrlo, primero se identificaron aquellos factores de riesgo y síntomas relacionados a la enfermedad, analizando la literatura existente y corroborando la información encontrada con los médicos especialistas. Como resultado del proceso, se obtuvieron 10 factores de riesgo y 13 síntomas en total. Seguidamente, junto con los especialistas, se le asignaron ponderaciones a cada variable definida según su nivel de riesgo de padecimiento de la Hipertensión Arterial.

Posteriormente, se construyó el sistema experto capaz de evaluar el riesgo de complicaciones de la Hipertensión Arterial. Para ello, se trabajó con un modelo de red neuronal tipo perceptrón multicapa constituida por 5 datos de entrada (edad, sexo, IMC, otros factores y síntomas), 3 capas ocultas con 20 neuronas cada una y 4 neuronas de salida correspondientes a los niveles

de riesgo de Hipertensión Arterial (Nulo, Bajo, Medio, Alto). Finalmente se evaluó el desempeño del sistema experto considerando las siguientes métricas: 94% de precisión, 100% de sensibilidad y 91% de F1-Score. Asimismo, se verificó la funcionalidad de la interfaz mediante la adecuación funcional de la norma ISO 25010:2011, pruebas de caja negra, caja blanca y aceptación.

Revisión de literatura

Antecedentes

Para el desarrollo de esta investigación se revisaron estudios previos y conceptos relacionados que permitieron contextualizar y sustentar la relevancia de la solución tecnológica propuesta. Uno de ellos fue el trabajo elaborado por Kumar y Pintu [10], enfocado en la problemática del incremento de la mortalidad en países industrializados a efecto de la enfermedad cardíaca coronaria. Para el desarrollo de su sistema, se aplicó la lógica difusa combinada con los algoritmos genéticos, logrando así manejar la imprecisión, la incertidumbre y generar reglas efectivas para mejorar los resultados de diagnóstico. Finalmente, los autores concluyeron que el modelo seleccionado logró adaptarse fácilmente a cualquier conjunto de datos y arrojar resultados de diagnóstico más certeros, alcanzando un 89.47% de precisión.

Rodríguez et al. [11] abordaron la problemática de la Hipertensión Arterial en la población cubana de Santa Clara, evidenciándose una prevalencia del 30% en zonas urbanas. Como solución tecnológica desarrollaron un sistema experto basado en casos utilizando, además, algoritmos K-vecinos, con el objetivo de mejorar la precisión en el diagnóstico de pacientes entre 18 y 78 años. Finalmente, los autores concluyeron que el sistema experto alcanzó una precisión del 96%.

Nikolic [12] narra la problemática de los errores presentados en el diagnóstico de la Hipertensión Arterial, señalando que estos se deben a factores como la fatiga del personal médico, el descuido y la falta de experiencia. Frente a esta situación, se planteó un sistema difuso experto con el propósito de predecir utilizar el porcentaje de riesgo de padecer la enfermedad. Este se implementó, utilizando la biblioteca de código abierto JFuzzyLogic y la herramienta FIS (Fuzzy Inference System). Finalmente, la autora concluyó que el sistema difuso ayudó a reducir el tiempo de diagnóstico en el hospital, lo cual aumentó la eficiencia del tratamiento proporcionado por el médico. Además, logró brindar al paciente la protección sanitaria adecuada frente a la Hipertensión, así como elementos más completos para la investigación científica de esta enfermedad.

Por otro lado, Sánchez [13] narró la problemática del aumento del riesgo cardiovascular y otras complicaciones relacionadas en la ciudad de Santander. Frente a ello, se desarrolló un modelo de red neuronal para clasificar los niveles de presión arterial en pacientes de Ocaña – Norte de Santander. Para lograrlo se realizó una comparativa entre diferentes modelos de redes neuronales para encontrar el más adecuado para la clasificación. Para concluir, el modelo de red neuronal escogido obtuvo un 87% de precisión.

Por último, Capuñay [14] expuso el tema del infarto de miocardio agudo en personas de 30 a 75 años de edad. Para este estudio se utilizó la metodología de Ingeniería del Conocimiento de Jhon Durkin, lo que ayudó a obtener una comprensión integral de la situación problemática. Como solución, se desarrolló un sistema experto para evaluar la probabilidad de padecer un infarto agudo de miocardio, considerando los factores de riesgo más significativos. Al concluir la investigación, la autora validó los casos de los pacientes mediante reglas estructuradas, lo que arrojó el nivel de probabilidad de sufrir un infarto agudo de miocardio como resultado.

Bases teóricas

Las enfermedades cardiovasculares [15] hacen referencia a un grupo de trastornos que pueden afectar al corazón y los vasos sanguíneos. Según organizaciones como la OMS y la OPS, son las principales causas de mortalidad a nivel mundial [16][17]. Para esta investigación, se abordó una de ellas, la Hipertensión Arterial, la cual está caracterizada por el aumento de la presión en el interior de los vasos sanguíneos, también conocidos como arterias [18]. Como consecuencia de ello los vasos sanguíneos se van deteriorando progresivamente, generando a la larga enfermedades críticas como, por ejemplo, insuficiencia cardíaca, enfermedades renales, etc. [19]. La razón debajo de su elección es su alta prevalencia en la población y las dificultades que enfrentan los médicos para tratarla oportunamente a causa de su naturaleza asintomática y otros factores mencionados con anterioridad.

La inteligencia artificial es una ciencia especializada en la construcción de programas inteligentes capaces de ejecutar tareas y aprender tal como lo haría un ser humano dentro de un área determinada. [20][21]. Dentro de este campo se encuentran diversas tecnologías, de las cuales se aplicaron tanto sistemas expertos como las redes neuronales, integrándolos en una única plataforma.

Los sistemas expertos hacen referencia a un grupo de programas computacionales interactivos que aprovechan la experiencia, conocimiento y habilidades propias de uno

o varios especialistas de una determinada área, facilitando así la tarea de la toma de decisiones ante problemas complejos de una manera inteligente y oportuna [22].

Las redes neuronales representan un modelo computacional que simula la estructura y el funcionamiento de la red neuronal biológica [23]. Esto se logra por medio de una serie de algoritmos que permiten establecer relaciones entre un conjunto de datos. Además, tal como se observa en la *Fig. 1*, su arquitectura está compuesta por

- Capa de entrada: Donde se introducen los datos de la red.
- Capas ocultas: Donde se realiza el análisis y procesamiento de los datos.
- Capa de salida: Donde se obtiene el resultado.
- Pesos: Coeficientes relativos que son ajustados a medida que la red neuronal procesa y aprende de los datos.

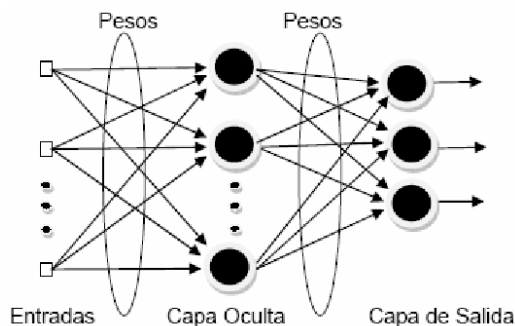


Fig. 1 Arquitectura de la red neuronal
Fuente: Extraído de [24]

Dentro del ámbito médico, se debe garantizar que las pruebas diagnósticas sean válidas y seguras, por lo cual se utilizan métricas para evaluar la tasa de precisión de las predicciones realizadas [25]. En la presente investigación, se aplicaron: la exactitud o accuracy, para evaluar la tasa de certeza de las predicciones realizadas, la sensibilidad o la proporción de los casos positivos detectados por el modelo y la especificidad o la probabilidad de que paciente sano tenga un resultado negativo [25].

Con respecto al tema de las metodologías relacionadas al desarrollo de sistemas expertos, en la *Tabla I* se mencionaron las características importantes de cada uno, realizándose una comparativa para finalmente elegir una de ellas:

TABLA I
COMPARATIVA DE LAS METODOLOGÍAS PARA PROYECTOS DE SISTEMAS EXPERTOS

| METODOLOGÍA | DOCUMENTACIÓN GENERADA | INCLUYE LA OBTENCIÓN DEL CONOCIMIENTO DEL EXPERTO | EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DEL SISTEMA EXPERTO | ¿ES ENTENDIBLE O FÁCIL DE SEGUIR? | TAMAÑO DEL EQUIPO DE DESARROLLO RECOMENDADO |
|--------------------|--|---|---|--|--|
| BUCHANAN | Mucha | Sí | No | Puede volverse complejo con la interferencia de los expertos | Mediano o grande |
| COMMONKADS | Mucha (modelos de conocimiento, casos de uso, entre otros entregables) | Sí | Si bien no se enfoca en la evaluación de la viabilidad, sí presenta ciertos aspectos relacionados a la practicidad del Sistema Basado en Conocimiento y sus beneficios dentro de un contexto determinado. | Su procedimiento es complejo y amplio No existe una guía práctica | Mediano o grande |
| JHON DURKIN | Poca | Sí | Sí | Más entendible Se cuentan con guías prácticas para aplicarla en el desarrollo del sistema experto | Pequeño |

Luego de haber analizado las tres metodologías, se decidió trabajar con la Metodología de la Ingeniería del Conocimiento de Jhon Durkin debido a la poca documentación que exige, la guía detallada de las fases que la componen y la inclusión del estudio de la viabilidad del sistema que permitió determinar su éxito.

Materiales y métodos

Tipo de investigación

De acuerdo con lo revisado en la literatura de Frascati [26], se determinó que el tipo de investigación elaborado sea Aplicada, dado que buscaba aprovechar los conocimientos científicos adquiridos de los expertos a una problemática específica de manera práctica.

Población y muestra

La población objeto de estudio estuvo constituida por los pacientes del Hospital Belén de Lambayeque que esperan en consultorio externo, equivalente a aproximadamente 100 individuos. Dicho dato sirvió para el cálculo de la muestra, aplicando la fórmula de una población finita [27]:

$$n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * P * Q}$$

Donde:

$N = Población$

$Z = 95\% - 1.96$ (coeficiente de confianza)

P y $Q = 0.5$ (Porcentaje de ocurrencia de un suceso)

$e = 0.05$ (coeficiente de error)

Reemplazando las variables en la fórmula anterior se obtuvo lo siguiente:

$$n = \frac{(1.96)^2 * 0.5 * 0.5 * 100}{(100 - 1) * 0.05^2 + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = 100 \text{ individuos}$$

Métodos de investigación

En el presente estudio, según lo investigado en [28], se decidió emplear el método inductivo debido a que busca obtener conclusiones en base a hechos particulares observados:

TABLA II.
MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

| Método | Descripción |
|---------------------------|--|
| Inductivo | Método que me sirvió para el planteamiento de la propuesta de solución tecnológica en el contexto de la Hipertensión Arterial, obteniendo conclusiones en base a hechos particulares como entrevistas a los médicos. |
| Revisión de la literatura | Búsqueda selectiva de antecedentes y bases teóricas para contextualizar mi problemática y recopilar aquella información que me sirvió para el desarrollo de la solución tecnológica |
| Implementación | Se pondrá en ejecución la propuesta de solución |

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la *Tabla III* se exponen las técnicas e instrumentos que sirvieron para la recolección de los datos

TABLA III.
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

| Técnicas | Instrumentos | Elementos de la población | Propósito |
|------------|--------------------------------------|---------------------------|---|
| Entrevista | Guía de entrevista (Ver Anexo N° 02) | Médicos especialistas | Recopilar información acerca de los factores de riesgo y síntomas más frecuentes de la Hipertensión Arterial Conocimiento de la problemática a solucionar. |

| | | | |
|---------------------|---|--|--|
| Análisis documental | Bases de datos académicas (Pubmed, Proquest, ScienceDirect) | Artículos relacionados con el área de medicina, (publicados español y open Access en el idioma | Obtener información relevante que complemente la opinión de los expertos |
| | Artículos científicos y libros en línea | Estudios de cardiología relacionados a tecnologías de información como soporte | |
| Cuestionario | Formulario de preguntas impreso (Ver Anexo N°2) | Pacientes del Hospital Belén | Obtener información relevante sobre los datos clínicos de pacientes. |

Procedimientos

Para el desarrollo del sistema experto se siguieron las 6 fases correspondientes a la metodología de Jhon Durkin [29]: Determinación del problema, Adquisición del conocimiento, Diseño, Pruebas, Documentación y Mantenimiento. Las tareas realizadas en cada iteración se mencionan a continuación:

#1: Determinación del problema

- Identificación del problema de estudio
- Realizar el análisis de la viabilidad de sistema propuesto.

#2 Adquisición del conocimiento

- Entrevista a los especialistas en cardiología para identificar los factores de riesgo y los síntomas más frecuentes de la enfermedad.
- Elegir los factores de riesgo y síntomas más relevantes que puedan entrar a la base del conocimiento del sistema experto.
- Determinar el nivel de influencia de cada factor de riesgo y síntomas con el riesgo de padecer la enfermedad, asignándoles pesos.
- Elaborar los casos suficientes basados en la información de pacientes para el aprendizaje del sistema experto.

#3: Diseño

- Elegir la tecnología que más se ajuste para la obtención de los resultados del sistema.
- Elegir las herramientas para la programación del sistema experto.
- Elegir la plataforma en la cual se implementará el sistema experto.
- Desarrollar el prototipo del sistema experto.
- Diseñar las interfaces del sistema experto.

#4: Pruebas

- Elaboración de las pruebas de caja negra y caja blanca.
- Validación de la eficiencia del sistema experto con la ayuda del cardiólogo que realizará el chequeo al paciente.

#5: Documentación

- Describir la secuencia de pasos al momento de ingresar al sistema.
- Explicar el funcionamiento de la red neuronal.

#6: Mantenimiento

- Elaborar un plan de mantenimiento.
- Determinar las posibles modificaciones del sistema experto para asegurar su desempeño óptimo a futuro.
- Definir a los responsables del mantenimiento.

Producto acreditable

Dentro del diseño del sistema experto, se consideraron dos módulos importantes: Paciente y Especialista, cuyas interfaces fueron programadas en el lenguaje de programación PHP.

Con respecto a su arquitectura, en la siguiente imagen se exponen los componentes que la conforman:

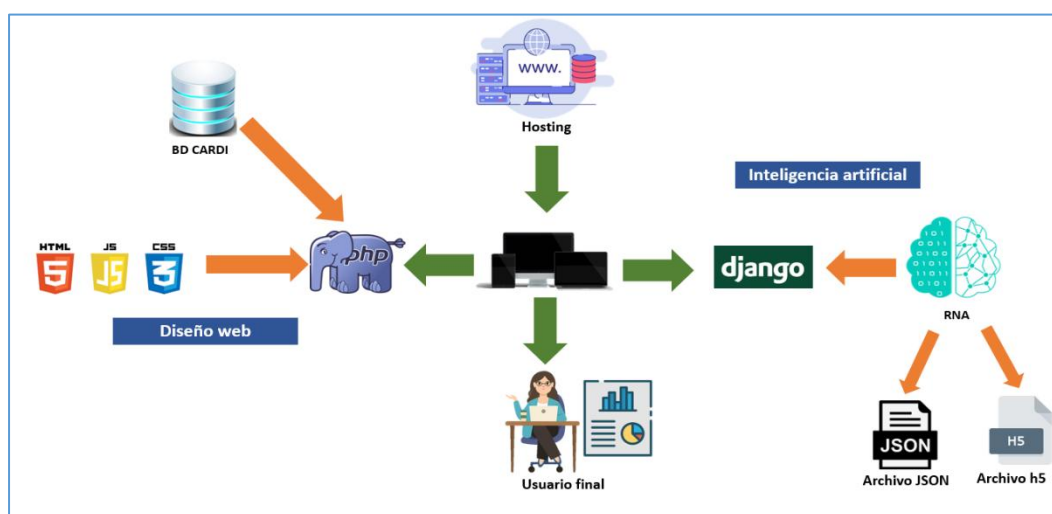


Fig. 1 Arquitectura del sistema experto

Fuente. Elaboración propia

Finalmente, su infraestructura tecnológica estuvo conformada por una laptop de 16 GB. A su vez se construyó una arquitectura tipo MVC (Modelo – Vista - Controlador).

Consideraciones éticas

Dado que en el sistema se registrarán datos de pacientes reales, se ejercerá un cuidado meticuloso en el tratamiento de estos datos y en la protección de la privacidad del paciente en cuestión. Cabe resaltar que los registros obtenidos no serán divulgados ni utilizados para otro fin que no sea el académico.

Las medidas consideradas para garantizar la confidencialidad de los datos y la comodidad del paciente fueron las siguientes:

- Seguridad de la información.
- Salvaguarda de los datos registrados.
- Mantenimiento de la confidencialidad de la información recopilada.

Finalmente, las pruebas realizadas buscarán no poner en riesgo la salud de la muestra considerada para esta investigación.

Resultados y discusión

En base a la metodología utilizada

Fase #1: Determinación del problema

En esta fase se detalló la motivación detrás de la ejecución del presente estudio, el cual es la problemática del diagnóstico temprano de la Hipertensión Arterial debido a factores como: la escasa cultura preventiva, dado a la desinformación sobre los factores de riesgo, síntomas y complicaciones que podrían generarse a futuro si la enfermedad no es prevenida, la lejanía de algunos pobladores al centro de salud, la inaccesibilidad a los tensiómetros y la despreocupación de las personas por acudir tempranamente al sistema de salud.

Luego de ello, se elaboró un estudio de la viabilidad del producto, a través de las tablas de ponderación diseñadas por Jhon Durkin [29]. Dentro de ellas se evalúan diferentes temas de importancia de cualquier proyecto de sistemas expertos, según la experiencia del autor. A estos temas se les adjudicó puntajes que representaban la importancia que tuvieron durante el desarrollo del sistema experto. Dichas ponderaciones (valor total) fueron sumadas y comparadas con el peso total de los temas, obteniéndose un puntaje de 8.12, reflejando la viabilidad del producto propuesto.

Por último, se elaboró el plan del proyecto, el cual se dividió en cinco etapas que incluyen la investigación bibliográfica de los factores de riesgo y síntomas útiles para la base de conocimiento del sistema experto; selección de las herramientas de

programación adecuadas como PHP para la interfaz web y Python para la construcción de la red neuronal, entrevistas con los médicos especialistas para corroborar los factores de riesgo y síntomas hallados en los artículos; diseño del sistema experto empleando redes neuronales, mencionando además que se probaron distintas arquitecturas, comprobándose que el modelo compuesto por 3 capas ocultas con 20 neuronas cada una era el que obtenía una mejor precisión del 96%. Finalmente, se realizaron las pruebas necesarias con la muestra de individuos calculada para comprobar la efectividad del sistema experto al calcular la probabilidad de los niveles de riesgo de Hipertensión Arterial.

Fase #2: Adquisición del conocimiento

En esta fase se recopiló información a partir de fuentes bibliográficas confiables y de la entrevista a los médicos especialistas sobre los factores de riesgo y síntomas más representativos de la enfermedad. Dichos datos se presentan en la *Tabla IV*:

TABLA IV.
DATOS RECOLECTADOS EN LA INVESTIGACIÓN

| Datos recolectados | |
|----------------------------------|---------------------------|
| Factores de riesgo | Síntomas |
| Edad | Dolor de cabeza |
| Sexo | Mareos |
| IMC | Hemorragia subconjuntival |
| Antecedentes familiares directos | Hemorragia nasal |
| Diabetes Mellitus | Náuseas y vómitos |
| Sedentarismo | Sensación de calor |
| Consumo alto de grasas | Enrojecimiento de la cara |
| Consumo alto de sal | Zumbido de oído |
| Estrés | Dolor de pecho |
| Tabaquismo | Desmayos |
| | Visión borrosa |
| | Ansiedad |
| | Palpitaciones |

Dentro del análisis de cada variable se consideraron los siguientes puntos:

- En la variable *Edad*, se consideraron 3 grupos: 18-30, 31-50 y 51-70. Debido a que se descubrió que el riesgo de padecer Hipertensión Arterial puede aumentar a partir de los 50 años, al primer grupo etario se le adjudicó 1 punto; al segundo, 2 y al tercero 3 puntos

- En el factor *Sexo*, a la población masculina se le adjudicó un 1 punto debido a que este grupo tiene mayor riesgo de padecer Hipertensión arterial hasta la edad de los 70 años.
- En el factor del *Índice de Masa Corporal*, a “peso normal”, se le asignó 0 puntos, representando que el cuidado del peso es importante para no presentar riesgo de la enfermedad. Por el contrario, “obesidad” obtuvo 4 puntos, dado que su riesgo de padecer la enfermedad es mayor.
- A la presencia de la *Diabetes Mellitus* y los *Antecedentes Familiares Directos* con Hipertensión Arterial se les asignó el mismo valor de 5 puntos, representando su importancia a la hora de determinar el nivel de riesgo de la enfermedad.
- En el caso del *Tabaquismo*, su valor correspondiente fue de 2 puntos.
- A cada síntoma se le asignó 1 punto de valor debido a que sirvieron de apoyo para el cálculo de la probabilidad de riesgo, a pesar de que estas pueden reflejar la presencia de múltiples enfermedades y a la característica asintomática que puede tener la enfermedad.

Fase #3: Diseño

En esta fase se presentan las interfaces más importantes diseñadas para el sistema experto HTA EXPERT:



Fig. 2. Inicio de sesión al sistema experto web
Fuente. Elaboración propia

HTA EXPERT

Registro de Usuario

Tipo Documento: N° Documento:

Nombres: Apellidos:

Género: Fecha de nacimiento:

Residencia: Correo electrónico:

Contraseña: Verificar contraseña:

Acepto el tratamiento de mi información médica con motivos de incrementar estudios sobre HTA.

Figura 3. Registro de pacientes

Fuente. Elaboración propia

Registro de cardiólogos ×

Tipo Documento: N° Documento:

Nombres y Apellidos: Género:

Correo electrónico: N° Celular:

Contraseña: Verificar Contraseña:

Figura 4. Registro de cardiólogos

Fuente. Elaboración propia

Fase 1

Fase 2

Evaluación de los Factores de Riesgo

Calculando el IMC (Índice de masa corporal)

Ingrese su Peso en kg

Ingrese su talla en m

Su IMC es...





| IMC | Nivel de Peso |
|--------------------|----------------|
| Por debajo de 18.5 | Bajo peso |
| 18,5 a 24,9 | Peso saludable |
| 25,0 a 29,9 | Sobrepeso |
| 30,0 o más | Obesidad |


Fig. 5. Interfaz Fase 1 del test - Evaluación de los factores de riesgo

Fuente. Elaboración propia


Evaluación de los Síntomas



 Dolor de cabeza



 Zumbido de oídos


 Náuseas y vómitos


 Sensación de calor



 Mareos



 Hemorragia nasal


 Ansiedad


 Desmayos


 (No label)


 (No label)


 (No label)



 (No label)

Fig. 6. Interfaz Fase 2 del test - Evaluación de los síntomas

Fuente. Elaboración propia



Fig. 7. Interfaz de resultados arrojados por la red neuronal

Fuente. Elaboración propia

Fase #4: Pruebas

Para verificar el funcionamiento correcto del sistema experto desarrollado y detectar cualquier fallo en la codificación, se realizaron las respectivas pruebas de caja negra, caja blanca y de aceptación.

Fase #5: Documentación

Funcionamiento del sistema experto:

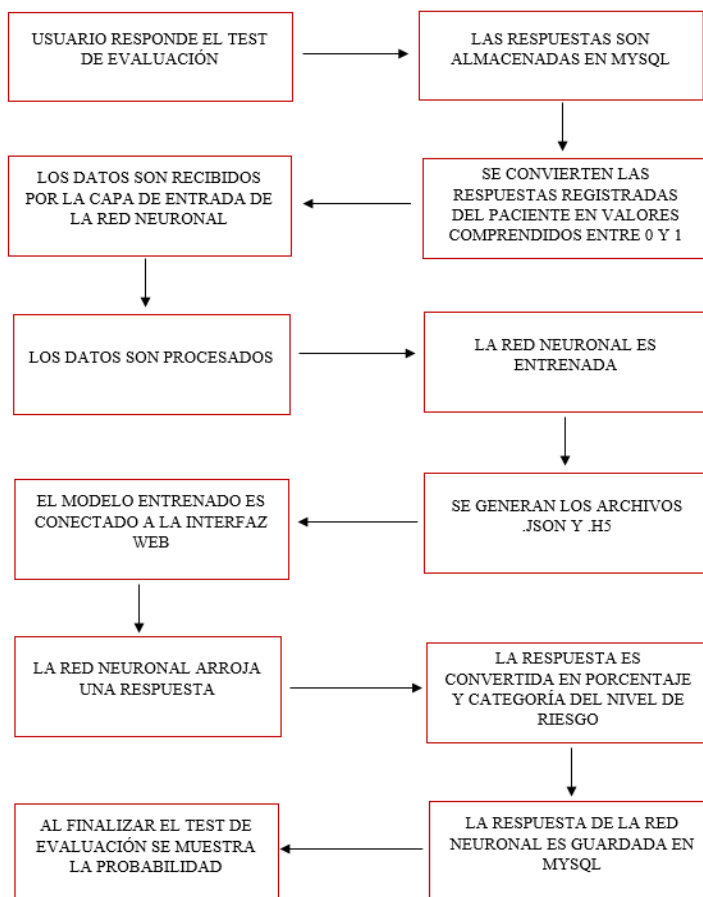


Fig. 7. Diagrama del funcionamiento del sistema

Fuente. Elaboración propia

Como se muestra en la Fig. 7, el funcionamiento del sistema experto inició con el proceso del test de evaluación, en el cual el paciente respondió las preguntas referentes a sus síntomas y factores de riesgo. Dichas respuestas fueron enviadas a la base de datos PHPMyAdmin y convertidas en rangos de 0 a 1, de tal forma sean tomadas por la capa de entrada de la red neuronal a través del servidor de Django, el cual debió ser activado desde la consola para cargar el modelo entrenado. Dentro del proceso de entrenamiento, se generaron dos archivos (.json y .h5) que contienen la arquitectura y los pesos de la red neuronal, las cuales sirvieron para conectar el modelo entrenado con la aplicación web. Finalmente, la salida es mostrada por la interfaz de resultados del sistema experto

en porcentaje y etiqueta de acuerdo a la categoría de nivel de riesgo que le corresponde al paciente.

Programación de la red neuronal:

En este apartado se describieron los pasos a seguir para programar la red neuronal:

```
def entrenar ():
training = pd.read_csv("-----", sep=";")
```

Explicación del código:

Se realiza la lectura del archivo .csv que contiene los registros de pacientes.

```
columnsI = ["x0", "x1", "x2", "x3", "x4"]
x_input = training[list(columnsI)].values
columnsO = ["T0", "T1", "T2", "T3"]
y_target = training[list(columnsO)].values
```

Explicación del código:

Del archivo .csv se extraen los datos que formarán parte de la capa de entrada y salida de la red neuronal.

```
model = Sequential()
model.add(Dense(20, input_dim=5, activation='relu',
kernel_regularizer=regularizers.l1_l2(l1=0.001,
l2=0.001)))
model.add(Dense(20, activation='relu',
kernel_regularizer=regularizers.l1_l2(l1=0.001,
l2=0.001)))
model.add(Dense(20, activation='relu'))
model.add(Dropout(0.3))
model.add(Dense(4, activation='sigmoid'))
```

Explicación del código:

Dentro de la estructura de la red neuronal se definen elementos como:

- **Capa de entrada:** Conformada por 5 nodos en relación con los datos de entrada definidos anteriormente.
- **Capas ocultas:** Para aumentar la tasa de precisión de la red neuronal, se definieron 3 capas ocultas de 20 nodos cada una.
- **Función de activación:** Se definió la función de Activación ReLu para cada capa oculta y, Sigmoide para la capa de salida.
- **Capa de salida:** La capa de salida de este modelo cuenta con 4 nodos que representan los 4 niveles de riesgo de padecimiento de la Hipertensión Arterial.

Fase #6: Mantenimiento

En esta fase se elaboró un plan de mantenimiento, con el propósito de identificar y corregir posibles errores, así como actualizar interfaces o módulos de acuerdo a las necesidades que tengan los médicos especialistas del Hospital Belén con el paso del tiempo. En dicho plan se establecieron plazos para la revisión periódica de la aplicación HTA EXPERT. Asimismo, se asignó la responsabilidad de las tareas de mantenimiento a la autora de la investigación, quien estará a cargo de implementar las modificaciones suficientes. El plan de mantenimiento se puede encontrar documentado en el *Anexo 4*, mientras que las posibles modificaciones y tareas previstas se presentan en el *Anexo 5*

En base a los objetivos de la investigación

OE1: Identificar los factores de riesgo y síntomas, relacionados a la hipertensión arterial, para la prevención de sus complicaciones

Para el cumplimiento del primer objetivo, se consultó la literatura existente en las diferentes bases de datos, determinándose 10 factores de riesgo y 13 síntomas, las cuales fueron corroboradas por los médicos especialistas en una entrevista presencial.

Los datos obtenidos sirvieron para la elaboración de cuestionarios destinados a los pacientes del hospital, con el fin de recolectar datos clínicos y el desarrollo del test de evaluación del sistema experto.

OE2: Determinar, en base al conocimiento del experto, el nivel de influencia de cada una de las variables que intervienen en la generación de las complicaciones de hipertensión arterial.

Para el cumplimiento del segundo objetivo se organizó una entrevista presencial con los médicos especialistas del hospital Belén, en el cual se obtuvo la siguiente información con respecto al grado de impacto de las variables involucradas en la ocurrencia de complicaciones de la Hipertensión Arterial:

- Con respecto a la edad, el riesgo de un paciente de padecer Hipertensión Arterial comienza a incrementar entre los 50 y 70 años.
- En el factor sexo, la población masculina presentan un mayor riesgo de prevalencia de Hipertensión Arterial en comparación con la femenina.
- El factor IMC, la población de sobrepeso y obesidad obtienen una mayor probabilidad de padecer Hipertensión Arterial.
- El factor Diabetes Mellitus influye significativamente en el padecimiento de la enfermedad, siendo el factor no modificable de

mayor puntuación, al igual que los antecedentes familiares directos (padres, abuelos, hermanos).

- La falta de actividad física o sedentarismo está estrechamente asociada a problemas como la obesidad y las enfermedades cardiovasculares.
- Finalmente, se evidenció que el tabaco aumenta considerablemente el riesgo de padecer Hipertensión Arterial.

OE3: Crear el sistema experto que permita evaluar la posibilidad de riesgo de complicaciones de Hipertensión Arterial

Después de investigar distintos modelos de sistemas expertos aplicados al diagnóstico de enfermedades, se tomó la decisión de emplear redes neuronales debido a su capacidad de reconocer patrones y de adaptarse conforme se le proporcione más información de datos clínicos de pacientes que se encuentren en un determinado riesgo de desarrollar la enfermedad.

Para la capa de entrada, los datos recopilados en el **objetivo 1** se dividieron en 5 grupos: edad, sexo, IMC, suma de las ponderaciones de otros factores relacionados a lo marcado por el paciente, y suma de los síntomas. Cabe resaltar que cada uno fue interpretado por la red neuronal con valores normalizados en un rango de 0 a 1. Por otro lado, la capa de salida estuvo conformada por 4 neuronas, las cuales hacían referencia a los niveles de riesgo clasificados (Ninguno, Bajo, Medio, Alto).

A continuación, se realizaron pruebas en Google Colab, comparando el rendimiento de tres arquitecturas de redes neuronales. Los valores obtenidos en cada modelo se registraron en el *Anexo 6*.

OE4: Probar la funcionalidad del sistema experto, considerando las características de adecuación funcional, usabilidad y fiabilidad de la norma ISO: 25010: 2011

Una vez desarrollado el sistema experto, se verificó su idoneidad en base a la adecuación funcional, la cual consiste en evaluar el nivel de satisfacción del sistema a los requerimientos o necesidades de los usuarios. Para ello, se tomó como referencia el modelo propuesto por [30], adaptándolo al contexto del presente estudio.

Durante la evaluación, se analizó el nivel de cumplimiento de las tres subcaracterísticas que conforman la adecuación funcional (Complejidad funcional, Corrección funcional y Pertinencia funcional), obteniéndose

finalmente un porcentaje de 96.05%, evidenciando que el sistema experto diseñado alcanzó el nivel máximo requerido para cumplir con dicha característica de la norma ISO:25010-2011. A continuación, se exponen los resultados alcanzados en la *Tabla V*

TABLA V.
TABLA DE CONTEO "ADECUACIÓN FUNCIONAL"

| Descripción | Cantidad de (x) | Multiplicador | Sub Total |
|--|-----------------|---------------|-----------|
| Cantidad de (x) de la escala Muy Alto | 16 | x4 = | 68 |
| Cantidad de (x) de la escala Alto | 3 | x3 = | 9 |
| Cantidad de (x) de la escala Bajo | 0 | x2 = | 0 |
| Cantidad de (x) de la escala Muy Bajo | 0 | x1 = | 0 |
| Cantidad de (x) de la escala No Cumple | 0 | x0 = | 0 |
| Total (TC) = | | | 73 de 76 |
| Multiplicador a porcentaje (MP) = 76/100 | | | 0.76 |
| Porcentaje de cumplimiento 01 (PC) = Total TC/MP = | | | 96.05 |

Discusión

Kumar y Pintu [10], mencionaron la problemática de la enfermedad cardíaca coronaria, implementando como alternativa de solución, un sistema experto que incorporaba modelos difusos y algoritmos genéticos con el objetivo de alcanzar la precisión en el diagnóstico del nivel de riesgo de la patología en estudio. Una característica destacable que comparte con el presente estudio, es el descubrimiento de la correlación entre el incremento de la edad del paciente y el sexo masculino con el avance de grado de riesgo de la patología. En cuanto a los resultados obtenidos, el sistema experto difuso logró un 71.38% de precisión, siendo superado por el modelo de red neuronal desarrollado en este reporte que obtuvo 94%. Asimismo, los porcentajes de sensibilidad alcanzados en los dos modelos fueron diferentes, siendo la red neuronal la que mejores resultados evidenció con un 100%.

Rodríguez [11] y Nikolic [13] abordaron la problemática de la Hipertensión Arterial planteando modelos de sistemas expertos distintos; uno basado en casos y otro con lógica difusa. Se tomaron como referencia estas investigaciones debido a que lograron identificar los parámetros de entrada más representativos de la Hipertensión Arterial, abarcando factores que para este estudio también fueron relevantes como la edad, el

sexo, los factores genéticos, el índice de masa corporal (IMC) y el tabaquismo. Sin embargo, a diferencia de los autores anteriores, esta investigación no se clasificó los datos de manera categórica, sino que se utilizaron rangos numéricos definidos en base a bibliografías y la experiencia de los expertos consultados (cardiólogos). Además, se dejaron de lado datos como la glucosa, la frecuencia cardíaca y la presión arterial, puesto que el objetivo principal del sistema desarrollado no es diagnosticar sino determinar en base a los factores de riesgo y síntomas de la enfermedad, el posible nivel de riesgo de padecerla con la finalidad de prevenir su avance.

Por otro lado, Sánchez [14] propuso como alternativa de solución un modelo de red neuronal clasificar de los niveles de la Hipertensión Arterial. Durante su ejecución probó distintas arquitecturas para evaluar la precisión de cada una, concluyendo al final que aquel modelo compuesto por dos capas ocultas con 100 neuronas cada una fue el modelo ideal para clasificar los niveles de la enfermedad, logrando un 87% de precisión. Así, como en el anterior estudio en el presente caso se optó por la arquitectura constituida por 3 capas ocultas con 20 neuronas en cada una, con la cual se obtuvo un 94% de precisión.

Con respecto al trabajo realizado por Capuñay [15], se pudieron encontrar coincidencias en algunos factores identificados, tales como la edad, el sexo, los antecedentes familiares, la ausencia o presencia de la Diabetes Mellitus y el tabaquismo. Sin embargo, la base de conocimiento elaborado por la autora no contempló los síntomas, como si lo identificó el presente estudio, donde a cada uno de ellos se le asignó un valor de 1, permitiendo así, aumentar la precisión del modelo. Respecto al factor “actividad física”, al contrario de Capuñay que consideró una respuesta cerrada (Sí/No), esta investigación maneja categorías como 3 a más veces por semana, 1 vez por semana y Nunca, con la finalidad de construir una pregunta más específica asignando pesos a cada caso.

Conclusiones

1. Las revisiones de las fuentes bibliográficas y la propia experiencia de los médicos especialistas, permitieron identificar los factores de riesgo relevantes y, además, establecieron la importancia de incluir a los síntomas relacionados a la Hipertensión Arterial. Dichos factores de riesgo revisados fueron: edad, sexo, Índice de Masa Corporal (IMC), sedentarismo, estrés, consumo excesivo de sal y grasas, tabaquismo, así como aquellos relacionados a los antecedentes familiares directos con Hipertensión Arterial y el antecedente personal de Diabetes Mellitus.

Por otro lado, síntomas de Hipertensión Arterial considerados fueron: cefalea, tinnitus (zumbido de oído), mareos, náuseas y vómitos, enrojecimiento del rostro, desmayos, hemorragia nasal, hemorragia subconjuntival, dolor de pecho, ansiedad, palpitaciones, sensación de calor y visión borrosa.

2. Con el apoyo de los médicos especialistas se pudo determinar el nivel de influencia de cada una de las variables en relación con el aumento de nivel de riesgo potencial de enfermedad de los pacientes. Las ponderaciones establecidas fueron determinadas por el impacto de los factores de riesgo en la patología, permitiendo colocarle una puntuación, así, los antecedentes familiares directos y la diabetes Mellitus tenían un puntaje de 5 cada uno, a la obesidad se le adjudicó un puntaje de 4, la edad (50 – 70 años puntaje de 3), el sedentarismo al igual que los hábitos inadecuados de alimentación y el estrés se le adjudicó un puntaje de 3 cada uno, contrario al tabaquismo que se le dio 2 puntos.
3. Se ejecutó exitosamente un sistema experto que le revela al paciente su posible nivel de riesgo de presentar la enfermedad, considerando las respuestas registradas en el test de evaluación en base a los factores de riesgo y síntomas que presente. Por otro lado, les permitió a los expertos identificar los factores modificables permitiéndole a los médicos realizar las orientaciones de adquirir estilos de vida saludables y así aminorar las potencialidades que tienen estos factores. Luego de las pruebas realizadas con la herramienta HTA EXPERT, se halló lo siguiente: De 100 personas que constituye la muestra calculada, 25% salieron con riesgo alto en la prueba (25); 25%, con riesgo medio (25); 20%, con riesgo bajo y 30% sin riesgo.
4. Para la creación del sistema experto que permita evaluar el nivel de riesgo de un paciente de padecer Hipertensión Arterial, se escogieron las redes neuronales debido a su capacidad de aprender en base a historias clínicas y reconocer patrones de factores de riesgo y síntomas del paciente. Además, se realizó una comparativa entre distintos modelos de redes neuronales de acuerdo a métricas como la precisión, sensibilidad y especificidad, determinándose que el modelo de 3 capas ocultas con 20 neuronas cada una fue el ideal para la predicción del potencial riesgo, puesto que obtuvo una exactitud del 96.25%, 94% de precisión, 100% de sensibilidad y 91% de F1-Score.
5. El sistema experto desarrollado fue validado mediante un modelo de evaluación del nivel de cumplimiento de la Adecuación Funcional establecida en la norma ISO

25010, considerando sus subcaracterísticas: Completitud Funcional, Corrección Funcional y Pertinencia funcional, obteniéndose como resultado un 96.05%, reflejando que el producto acreditable propuesto alcanzó el nivel máximo de cumplimiento de la característica de calidad.

Recomendaciones

- 1.** Debido a las limitaciones de tiempo para la ejecución del proyecto, este estudio se enfocó exclusivamente en la identificación del riesgo potencial de los pacientes de presentar Hipertensión Arterial basado en los factores de riesgo y síntomas de la enfermedad, dejando de lado otras funcionalidades como el seguimiento y el tratamiento personalizado para pacientes hipertensos. Por tal motivo, para futuras investigaciones, se recomienda expandir el alcance del sistema experto desarrollado para abarcar estas áreas, agregando un valor significativo a la investigación referente a la temática de las enfermedades cardiovasculares.
- 2.** Para futuras investigaciones, se recomienda que el test de evaluación basado en los factores de riesgo y síntomas de la Hipertensión Arterial implementado en el sistema experto, se lleve a cabo a través de una aplicación puramente móvil para facilitar su acceso a la población.
- 3.** Como complemento del sistema experto implementado, se recomienda utilizar otras tecnologías que faciliten la interconexión de las historias clínicas electrónicas de los pacientes con los diferentes niveles de atención en salud
- 4.** Debido a que la inteligencia artificial es un campo amplio, se sugiere aplicar otros modelos de sistemas expertos, como, por ejemplo: modelos difusos, basado en casos, basado en reglas, etc. para la identificación de factores de riesgo y enfermedades diversas, colaborando significativamente con el sistema de salud.


Referencias

- [1] Lira C., «IMPACTO DE LA HIPERTENSIÓN ARTERIAL COMO FACTOR DE RIESGO CARDIOVASCULAR», *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 26, n.º 2, pp. 156-163, mar. 2015, doi: 10.1016/j.rmclc.2015.04.004.
- [2] A. Vidalón, «Hipertensión Arterial: una introducción general», *Acta Médica Peruana*, vol. 23, n.o 2, pp. 67-68, may 2006, Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1728-59172006000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- [3] Organización Mundial de la Salud, «Sitio web de la Organización Mundial de la Salud,» 25 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hypertension>. [Último acceso: 31 Marzo 2022].
- [4] M. Sánchez, «MANEJO DE CASOS DE HIPERTENSIÓN ARTERIAL QUE HAN INCIDIDO EN EVENTO CEREBRAL HEMORRÁGICO EN EL HOSPITAL JOSE MARÍA VELASCO IBARRA EN LA CIUDAD DEL TENA AUTOR»
- [5] «Día Mundial de la Hipertensión Arterial», Portal de Salud de la Junta de Castilla y León. Accedido: 2 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.saludcastillayleon.es/AulaPacientes/es/dias-mundiales-relacionados-salud/dia-mundial-hipertension-arterial-165f7d>
- [6] Organización Médica Colegial de España, 5 Abril 2022. [En línea]. Available: <http://www.medicosypacientes.com/articulo/casi-un-43-de-la-poblacion-adulta-es-hipertensa-en-espana>. [Último acceso: 3 Abril 2022].
- [7] República de Colombia, «Cuenta Alto Costo,» 2022. [En línea]. Available: <https://cuentadealtocosto.org/general/dia-mundial-de-la-hipertension-arterial-2022/#:~:text=En%20el%20C3%BA%20periodo%20auditado,casos%20nuevos%20en%20la%20cohorta>. [Último acceso: 9 Septiembre 2023].
- [8] Gobierno de México, «Sitio web del Gobierno de México,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.insp.mx/avisos/5398-hipertension-arterial-problema-salud-publica.html>. [Último acceso: 31 Marzo 2022].
- [9] Ministerio de Salud, «Guía de práctica clínica para la prevención y control de la enfermedad hipertensiva en el primer nivel de atención,» 2011, Lima, 2009.
- [10] P. Kumar y S. Chandra, « Adaptive weighted fuzzy rule-based system for the risk level assessment of heart disease» *Springer Science*, vol. 48, pp. 1740-1754, 2017.
- [11] S.Rodríguez, E.Rodríguez, C. Hernández, Y.Carvajal, G.Cardoso, y I.Martínez, «Sistema experto basado en casos para el diagnóstico de la hipertensión arterial», n.o 60, sep. 2011.

- [12] J. Nikolic, «SISTEMA DIFUSO HIPERTENSION ARTERIAL.pdf», jun. 2021.
- [13] K. Sánchez, «APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR THE CLASSIFICATION,» Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, vol. 1, n° 41, p. 6, 2023.
- [14] N. Capuñay, «Desarrollo de un sistema experto para ayudar en la prevención de infarto agudo de miocardio en personas de 30 a 75 años,» Chiclayo, 2021.
- [15] A. Segura y J. Marrugat, «Epistemiología cardiovascular,» de Libro de la salud cardiovascular, Barcelona, 2008, p. 101.
- [16] Organización Mundial de la Salud, «Enfermedades cardiovasculares,» 17 Mayo 2017. [En línea]. Available: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)). [Último acceso: 18 Septiembre 2023].
- [17] Organización Panamericana de la Salud, «Las enfermedades del corazón siguen siendo la principal causa de muerte en las Américas,» 29 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.paho.org/es/noticias/29-9-2021-enfermedades-corazon-siguen-siendo-principal-causa-muerte-americas>. [Último acceso: 19 Septiembre 2023].
- [18] Organización Mundial de la Salud, «Sitio web de la Organización Mundial de la Salud,» 16 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/hypertension#:~:text=Panorama%20general,es%20tomarse%20la%20tensi%C3%B3n%20arterial>. [Último acceso: 18 Septiembre 2023].
- [19] G. Bakris, «MANUAL MSD: Versión para el público general,» Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.msmanuals.com/es-pe/hogar/trastornos-del-coraz%C3%B3n-y-los-vasos-sangu%C3%ADneos/hipertensi%C3%B3n-arterial/hipertensi%C3%B3n-arterial>. [Último acceso: 18 Septiembre 2023].
- [20] L. Barrera, «Fundamentos históricos y filosóficos de la Inteligencia Artificial,» Revista Científica de Investigación e Innovación para el Desarrollo Social, vol. 1, n° 1, pp. 87-92, 2012.
- [21] BBVA Foundation, «Marvin Minsky, padre de la Inteligencia Artificial, premio fundación BBVA fronteras del Conocimiento en Tecnologías de la Información y la Comunicación,» 2013.
- [22] «Network Digital 360,» 19 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.innovaciondigital360.com/i-a/sistemas-expertos-que-son-su-clasificacion-como-funcionan-y-para-que-se-utilizan/>. [Último acceso: 16 Mayo 2022].

- [23] «Datacentric,» 19 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.datacentric.es/blog/insight/red-neuronal-artificial-aplicaciones/>. [Último acceso: 18 Septiembre 2023].
- [24] E. García, «Introducción a las redes neuronales de,» España, 2019.
- [25] J. Casas y E. Guzmán, «Regresión logística dicotómica versus Red Neuronal para predecir la depresión en adultos mayores en el Hospital Provincial Belén 2019,» Lambayeque, 2020.
- [26] OECD, Manual de Frascati 2015: Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental, España: Editorial MIC, 2018, p. 447.
- [27] S. Aguilar-Barojas, «Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud».
- [28] F. Rodríguez, «Generalidades acerca de las técnicas de investigación cuantitativa,» Sistema Nacional de Investigación Unitec, vol. 2, nº 1, pp. 1-31, 2007.
- [29] G. Alvaro, «Ingeniería del conocimiento según Jhon Durkin».
- [30] E. Figueroa, «Modelo basado en normas ISO/IEC 25000 para asegurar la calidad de plataformas e-learning en centros de capacitación superior,» Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, 2019.

Anexos

ANEXO N° 01. CONSTANCIA DE APROBACIÓN DEL PRODUCTO ACREDITABLE DE LA ENTIDAD DONDE SE EJECUTÓ LA TESIS

Lambayeque, sábado 28 de octubre del 2023

HOSPITAL BELÉN DE LAMBAYEQUE

CONSTANCIA DE APROBACIÓN DEL PRODUCTO ACREDITABLE

Por medio de la presente, le informo que el producto acreditable SISTEMA EXPERTO PARA PREVENIR LAS COMPLICACIONES DE LA HIPERTENSIÓN, desarrollado por la estudiante MARÍA GABRIELA SANTILLÁN CABREJOS, identificada con el DNI 72224935 y código universitario 181CV76813 de la Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, fue aplicado en los pacientes que acudían a los diferentes consultorios médicos del Hospital "Belén" de Lambayeque.

Durante dicha prueba el sistema mostró un buen funcionamiento y uso adecuado por parte de los participantes, además evidenció la probabilidad del nivel de riesgo de presentar Hipertensión Arterial. Además, nos permitió detectar aquellos pacientes con mayor riesgo de presentar la enfermedad, y así realizar la intervención oportuna por parte de los médicos especialistas.

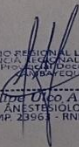
Por ello, me es grato comunicar que se aprueba el cumplimiento y los objetivos planteados en el producto acreditable presentado por la estudiante.

Así mismo, se determinó el correcto desempeño en base a la información de prueba empleada por el estudiante para realizar las predicciones de potenciales pacientes con la enfermedad de Hipertensión Arterial.

Se exhorta a la estudiante a seguir desarrollando herramientas tecnológicas que permitan seguir apoyando al sistema de salud en su tarea de protección, prevención, diagnóstico y orientación de la población.

Agradeciendo de antemano su atención a la presente y me despido expresando mi estima personal.

Atentamente,


GOBIERNO REGIONAL LAMBAYEQUE
GERENCIA REGIONAL DE SALUD
HOSPITAL PROVINCIAL DE SALUD "BELÉN"
LAMBAYEQUE
Dr. Felmo Ulco Anhuamán
ANESTESIOLOGO
C.M.P. 23963 - R.N.E. 9491

ANEXO N° 2: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Cuestionario

PREGUNTAS PARA LLENAR LA DATA DE PACIENTES CON HIPERTENSIÓN ARTERIAL

I. Datos del paciente.

a. NOMBRES Y APELLIDOS: Chavez Pinedo Maria Isabel (950)

b. D.N.I.: 17572317

c. FECHA DE NACIMIENTO: 14/10/1947

d. LUGAR DE RESIDENCIA: Trujillo

e. CORREO: _____

f. TALLA: 1.58 cm. PESO: 52 Kg SEXO: M F

II. PREGUNTAS RELACIONADAS CON LA HIPERTENSIÓN ARTERIAL

FACTORES DE RIESGO

a. ¿Usted tiene un familiar o familiares que padezcan de Hipertensión Arterial? SÍ NO

i. Seleccione: Mamá Papá Abuelos Hermandos

b. ¿Usted padece de Diabetes Mellitus? SÍ NO

c. ¿Usted realiza actividad física o se mantiene activo en su día a día? SÍ NO

d. ¿Usted tiene buen manejo de su estrés? SÍ NO

e. En su dieta diaria, ¿consume exceso de grasas? SÍ NO

f. ¿Usted consume exceso de sal? SÍ NO

g. ¿Usted fuma? SÍ NO

SÍNTOMAS

a. Dolor de cabeza SÍ NO

b. Zumbido de oído SÍ NO

c. Mareos SÍ NO

d. Náuseas y vómitos SÍ NO

e. Ansiedad SÍ NO

f. Enrojecimiento del rostro SÍ NO

g. Hemorragia nasal SÍ NO

h. Sensación de calor SÍ NO

i. Desmayos SÍ NO

j. Palpitaciones en el corazón SÍ NO

k. Hemorragia subconjuntival SÍ NO

l. Visión borrosa SÍ NO

m. Dolor en el pecho SÍ NO

Fig. 13. Encuesta realizada a los pacientes
Fuente. Elaboración propia

PREGUNTAS PARA LLENAR LA DATA DE PACIENTES CON HIPERTENSIÓN ARTERIAL

La presente encuesta tiene como objetivo determinar la posibilidad de presentar Hipertensión Arterial, basado en la determinación de factores de riesgo y síntomas. La cual generará una base de datos que serán analizados por Inteligencia Artificial (Redes Neuronales Artificiales).

Esta encuesta colaborará en la tesis denominada "Sistema experto para apoyar en la prevención de las complicaciones de la Hipertensión Arterial", para optar el título de Ingeniera de Sistemas y Computación de la USAT - Chiclayo.

Estos datos serán utilizados para fines académicos y no serán divulgados a otras personas ajenas a este test, con el fin de respetar su privacidad.

Quedo agradecida por el apoyo brindado.

Este formulario recoge automáticamente los correos de todos los encuestados. [Cambiar configuración](#)

Fig. 8. Encuesta virtual realizada a los pacientes mediante Google Forms
Fuente. Elaboración propia

Análisis documental

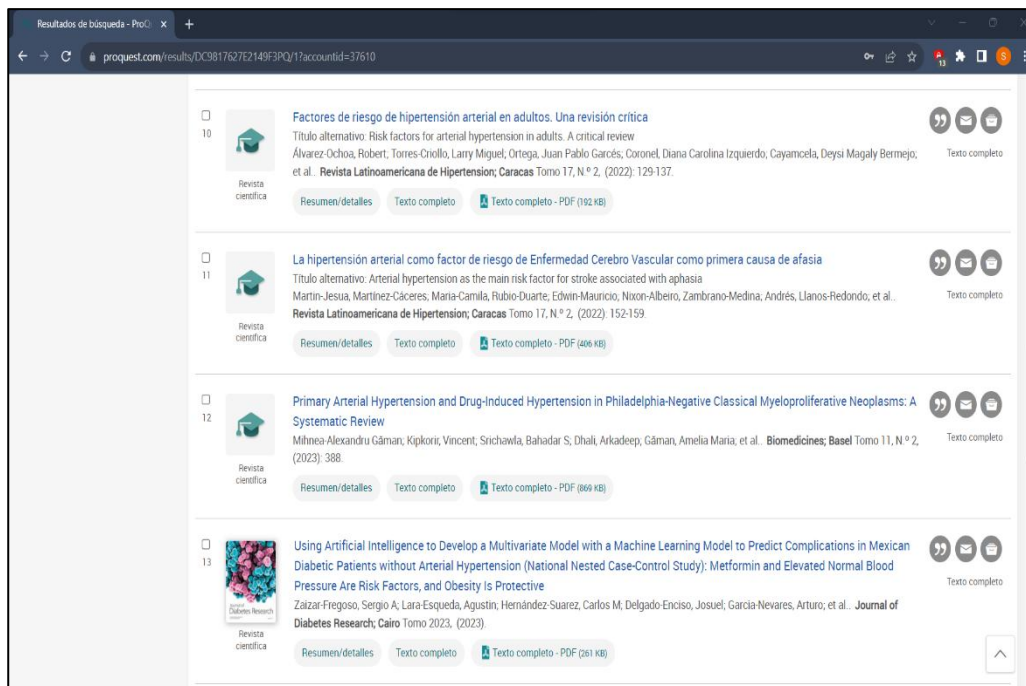


Fig. 9. Búsqueda de artículos sobre la Hipertensión Arterial en la base de datos ProQuest

Fuente. Elaboración propia

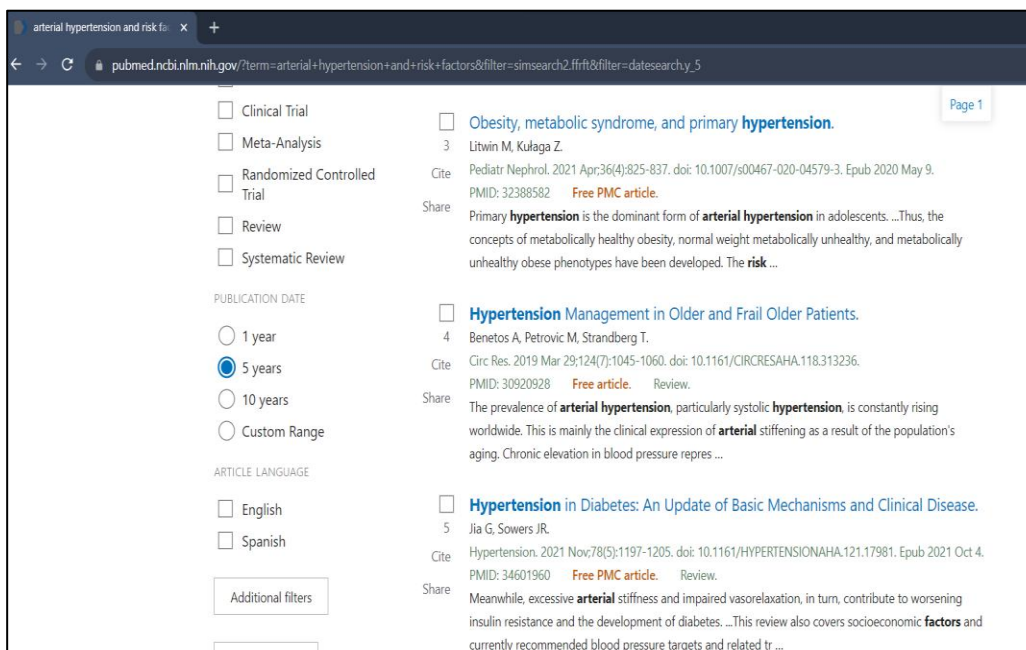


Fig. 16. Búsqueda de artículos sobre la Hipertensión Arterial en la base de datos médica PubMedFuente. Elaboración propia

Entrevista

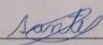
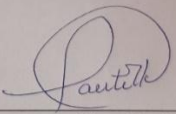
| GUÍA DE ENTREVISTA PARA CONOCER LA PROBLEMÁTICA | | | |
|--|---|---|---------------|
| NOMBRE DEL CANDIDATO | Dr. Juan Santillán Martín | | REALIZADO POR |
| FECHA DE LA ENTREVISTA | 16-06-2022 | HORA DE LA ENTREVISTA | 10:00 a.m. |
| María Gabriela Santillán Cabrejos | | | |
| NOMBRE DEL PROYECTO | | | |
| SISTEMA EXPERTO PARA APOYAR EN LA PREVENCIÓN DE LAS COMPLICACIONES DE LA HIPERTENSIÓN ARTERIAL | | | |
| Según su experiencia, ¿qué dificultades enfrentan los médicos especialistas en cardiología a la hora de querer identificar casos de pacientes hipertensos para prevenir las complicaciones de la enfermedad? | Para nosotros los médicos nos resulta difícil detectar a tiempo casos de pacientes hipertensos o con alto riesgo de padecer Hipertensión Arterial, debido a que generalmente la población no acude al médico hasta que la enfermedad está más avanzada. Otro problema, es el desconocimiento de las personas sobre su propia condición, ya que en muchos casos, no se presentan síntomas, lo que fomenta un descuido en sus hábitos cotidianos deteriorando a la larga su salud. | | |
| ¿Qué otros problemas considera relevantes para complementar la problemática? | Bueno, para complementar el contexto de la problemática, se pueden mencionar otros inconvenientes como: <ul style="list-style-type: none"> - El número limitado de especialistas en lugares de atención de zonas periféricas como la posta médica de San Martín. - La falta de recursos económicos por parte de la población para adquirir un tensiómetro. - La poca cultura de prevención dentro de la población. - El desconocimiento de los factores de riesgo que pueden desencadenar la enfermedad, sus síntomas y sus complicaciones. | | |
| ¿Por qué cree usted que se necesitaría de la tecnología para dar solución a esta problemática? | Pues, en el campo de la medicina, no está de más contar con una aplicación u otra solución tecnológica que nos ayude a detectar a aquellos pacientes con mayor riesgo de padecer la enfermedad o que ya la tengan para así darnos la oportunidad de brindarles las recomendaciones correspondientes, de acuerdo a su resultado y los factores de riesgo modificables que pudimos identificar. | | |
|  Firma del entrevistador: María Gabriela Santillán Cabrejos | |  Firma del colaborador Dr. Juan Armando Santillán Martín Médico especialistas del Hospital Belén - Lambaveque | |

Fig. 17. Guía de entrevista al médico encargado
Fuente. Elaboración propia

**ANEXO N° 03. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS DIFERENTES
MODELOS PROBADOS DE RNA**

TABLA VI.
RESUMEN DE LOS DIFERENTES MODELOS PROBADOS DE RNA

| Parámetros | N° entradas | Accuracy | Sensibilidad | Especificidad | AUC-ROC |
|--|-------------|----------|--------------|---------------|---|
| DROP_RATE = 0.3 N° Hidden Layers = 3 FIRST_HIDDEN_NEURONS = 20 SECOND_HIDDEN_NEURONS = 20 THIRD_HIDDEN_NEURONS = 20 N° EPOCHS = 900 | 5 | 96.25% | 100% | 100% | Categoría "Alta" = 87.5% Categoría: "Baja" = 94.6% Categoría "Media" = 98% Categoría "Ninguna" = 90.20% |
| DROP_RATE = 0.5 N° Hidden Layers = 2 FIRST_HIDDEN_NEURONS = 16 SECOND_HIDDEN_NEURONS = 16 N° EPOCHS = 900 | 5 | 76.25% | 0% | 0% | Categoría "Alta" = 50% Categoría "Baja" = 84.6% Categoría "Media" = 84% Categoría "Ninguna" = 50% |
| DROP_RATE = 0.3 N° Hidden Layers = 3 FIRST_HIDDEN_NEURONS = 20 SECOND_HIDDEN_NEURONS = 16 N° EPOCHS = 1000 | 5 | 87.50% | 0% | 99% | Categoría "Alta" = 87.5% Categoría "Baja" = 88.6% Categoría "Media" = 91% Categoría "Ninguna" = 66% |

ANEXO N° 4. PLAN DE MANTENIMIENTOTABLA VII.
PLAN DE MANTENIMIENTO

| MES | RESPONSABLE | |
|------------|-----------------------------------|---|
| Enero | | |
| Febrero | María Gabriela Santillán Cabrejos | X |
| Marzo | | |
| Abril | | |
| Mayo | | |
| Junio | | |
| Julio | María Gabriela Santillán Cabrejos | X |
| Agosto | | |
| Septiembre | | |
| Octubre | | |
| Noviembre | María Gabriela Santillán Cabrejos | X |
| Diciembre | | |

ANEXO N° 5. MODIFICACIONES PROBABLES DEL SISTEMA EXPERTO

TABLA VIII.
MODIFICACION PROBABLE ACTUALIZACIÓN DE LAS INTERFACES DEL PROGRAMA HTA EXPERT

| MODIFICACIONES PROBABLES DEL SISTEMA | |
|---|---|
| Actualización de las interfaces del programa HTA Expert | |
| TAREA | DESCRIPCIÓN |
| 1 | En esta tarea se llevarán a cabo modificaciones en el diseño de las interfaces de HTA EXPERT, tanto en las páginas de bienvenida como en el test, con el propósito de ofrecer una experiencia visual acorde a las tendencias actuales de diseño web, más amigable y sin comprometer la claridad en el manejo de los diferentes módulos para el usuario. |

TABLA IX.
MODIFICACIÓN PROBABLE ACTUALIZACIÓN DE LAS INTERFACES DEL PROGRAMA HTA EXPERT

| MODIFICACIONES PROBABLES DEL SISTEMA | |
|--------------------------------------|---|
| Optimizar el modelo de red neuronal | |
| TAREA | DESCRIPCIÓN |
| 1 | En esta tarea se realizará una nueva evaluación al rendimiento de la red neuronal, considerando métricas como la precisión y la sensibilidad para detectar algún fallo durante el proceso de entrenamiento. |
| 2 | En esta tarea se actualizarán las versiones de las librerías utilizadas en la construcción del modelo (Numpy y TensorFlow). |