

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**ESCUELA DE INFORMÁTICA**



**PREESPECIALIDAD**

Especialista en Innovación tecnológica: Industria 4.0

**FACILITADOR:**

Ing. Jorge Edwin Machado Leiva

**TEMA:**

Desarrollo de un prototipo de alerta temprana en pacientes hipertensos aplicando inteligencia artificial.

Entrega 03

**ESTUDIANTES:**

17-1673-2000 Hernandez Ortiz, Jose Alfredo

25-1014-2019 Reyes Marquez, Roberto Enrique

**PROCESO: 01-2024**

# INDICE

CONTENIDO	PAGINA
Introducción	3
Capítulo I: Especificación del proyecto	4
a. Situación actual	5
i. Antecedentes	5
ii. Descripción del problema	7
iii. Planteamiento del problema	8
iv. Hipótesis	8
b. Tema	9
c. Sistema de objetivos	10
d. Alcances	11
e. Justificación	13
f. Cronograma de actividades	15
g. Presupuesto	16
Capítulo II: Analisis y diseño de la propuesta de solución	17
a. Metodología de trabajo	18
b. Descripción de la propuesta de solución	20
c. Descripción de la tecnología a utilizar	22
d. Evaluación de las tecnologías disponibles	24
e. Diagrama arquitectónico de la solución	28
f. Descripción de los componentes de la solución	29
Capítulo III: Estrategia de implementación de propuesta de solución	37
a. Estrategia de implementación (producto nuevo)	38
b. Presupuesto de implementación	42
c. Análisis de resultados	43
Conclusiones	46
Recomendaciones	47
Bibliografía	50
Anexos	52

## INTRODUCCIÓN:

En el mundo de la medicina, existe una enorme variedad de patologías, que un médico debe atender en su diario vivir.

Por esta razón, existen especialidades médicas, que permiten clasificar estas patologías, otorgando jurisdicción y competencia sobre las mismas.

Entre estas enfermedades, existe una que es el punto de atención para el presente caso: La Hipertensión Arterial (HTA).

La HTA, se conoce como el asesino silencioso, por sus peculiares características.

La tensión arterial, puede sufrir desbalances a raíz de múltiples factores, que un médico debe considerar al tratar esta situación.

En todos los factores que intervienen en las complicaciones de la HTA: La predicción de un valor futuro.

Existen muchas condiciones que un paciente hipertenso debe respetar con el fin de mantener valores estables en la tensión arterial.

Como es de esperar, son pocos los pacientes que respetan estas condiciones, según el caso y las costumbres del paciente, el medico puede conocer si la tensión presenta tendencias a la baja rumbo a la normalización o tendencias en alza, rumbo a problemas más serios, que pueden ser mortales.

Y en otros casos tiende a mantener los valores, situación que puede ser positiva o negativa. Dependiendo del historial de TA

**CAPITULO I**  
Especificacion del proyecto

## **SITUACIÓN ACTUAL:**

### **I. ANTECEDENTES:**

#### **Que es la HTA**

La hipertensión arterial (HTA) es una enfermedad crónica en la que la presión con la que el corazón bombea sangre a las arterias es más alta de lo normal. Esto significa que la fuerza ejercida por la sangre contra las paredes arteriales es constantemente elevada. La presión arterial se mide en milímetros de mercurio (mm Hg), y en general, se considera hipertensión cuando la lectura es igual o superior a 130/80 mm Hg. A continuación, te presento las categorías generales de presión arterial:

Normal: Menos de 120/80 mm Hg.

Alta normal: Máximo de 120 a 129 mm Hg y mínimo por debajo de 80 mm Hg.

- Hipertensión de etapa 1:

Máximo de 130 a 139 mm Hg y mínimo entre 80 y 89 mm Hg.

- Hipertensión de etapa 2:

Máximo de 140 mm Hg o superior y mínimo de 90 mm Hg o superior.

- Crisis hipertensiva:

Presión arterial superior a 180/120 mm Hg, que requiere atención médica de emergencia.

La hipertensión no tratada aumenta el riesgo de problemas graves como ataques cardíacos y accidentes cerebro vasculares.

#### **Como se diagnostica.**

Aparatos para medir la TA

Existen cuatro tipos de aparatos cuya función es medir los valores de la tensión arterial, el valor de confianza varia mucho de uno a otro.

Sopena que el ultimo de mejor tecnología, su valor de confianza es mas bajo, dado la técnica que utiliza para medir estos valores.

#### **Tensiómetro de mercurio.**

Véase Anexo 1 – Tensiómetro de mercurio.

El esfigmomanómetro de mercurio es un dispositivo utilizado para medir la presión arterial de una persona. Aunque en la actualidad no sea tan común su uso debido a alternativas digitales, es importante entender su funcionamiento, ya que es uno de los

tensiómetros más exactos y confiables.

Cómo funciona:

*Brazalete neumático:*

El brazalete se coloca en la parte superior del brazo del paciente. Luego, se infla a una presión superior a la presión sanguínea sistólica en la arteria braquial.

*Liberación gradual de presión:*

La presión del brazalete se libera gradualmente a través de la válvula de alivio de la bomba de insuflación. Cuando la presión del brazalete es inferior a la presión arterial sistólica, la sangre comienza a fluir a través de la arteria parcialmente comprimida.

*Sonidos de Kortkoff:*

Las vibraciones producidas por el flujo sanguíneo generan los sonidos arteriales conocidos como sonidos de Kortkoff. Estos sonidos ayudan a determinar la presión sistólica y diastólica del paciente. Para auscultarlos, se utiliza un estetoscopio.

*Barra de mercurio:*

A medida que el brazalete se llena de aire, la barra de mercurio en el esfigmomanómetro sube en su escala. Cada pequeño salto en la barra de mercurio indica en qué rango se encuentra la presión arterial sistólica o diastólica.

### **Tensiómetro aneroide.**

Véase Anexo 2 - Tensiómetro aneroide.

Funciona de la misma forma que el tensiómetro de mercurio, con la diferencia que este dispone de una bomba de aire y un manómetro, para medir la presión.

A diferencia de la barra de mercurio, el funcionamiento es igual, con la salvedad que para conocer los valores de TA, el médico debe auxiliarse de un estetoscopio, para escuchar los sonidos *Kortkoff*

### **Tensiómetro digital.**

Véase Anexo 3 - Tensiómetro digital.

Un tensiómetro digital utiliza un método oscilométrico para medir la presión arterial.

- Colocación del brazalete:

Primero, sitúas el tensiómetro en tu brazo. El dispositivo comienza a añadir presión con aire al brazalete.

- Presión y flujo sanguíneo:

Cuando la fuerza del dispositivo supera la presión sanguínea, aplasta la arteria braquial temporalmente, interrumpiendo el flujo de sangre al antebrazo.

- Detección de sonidos:

A medida que el tensiómetro libera aire gradualmente, detecta los sonidos de Kortkoff. El primer sonido indica la presión sistólica, y el cese del sonido señala la presión diastólica.

## **Smartwatch**

Véase Anexo 4 - Smartwath

Los smartwatches que miden la presión arterial utilizan sensores y algoritmos para proporcionar estimaciones de la presión sanguínea. Aunque aún no están autorizados por la FDA en Estados Unidos, estos dispositivos pueden ser útiles para obtener indicaciones generales. Aquí tienes algunas opciones:

## **II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:**

En el salvador, existe un porcentaje de pacientes hipertensos, que se debe tomar en consideración, puesto que conocemos que es un factor que induce a otras dolencias que pueden dar como resultado, la muerte del paciente o en todo caso, calidad de vida, deficiente.

Se conoce, que el medico toma como referencia para el tratamiento del paciente, su historial de valores de tensión, así como el ultimo valor obtenido. Incluyendo los factores de riesgo, como:

- Diabetes,
- Alcoholismo,
- Tabaquismo,
- Y otros.

El histórico mas el ultimo valor obtenido, son útiles al medico, unicamente para conocer la situación actual en consecuencia planificar un tratamiento, para dar respuesta a la situación.

No es posible para el medico conocer valores futuros; que seria de suma importancia, puesto que su plan de tratamiento cambiara radicalmente si conoce estos valores.

Para el medico, es sumamente difícil, sino imposible predecir valores futuros por diversos factores.

- No posee el conocimiento para predecir valores futuros.
- El comportamiento de los pacientes es impredecible.
- Los pacientes tienden a ocultar información.
- Los valores también dependen de factores externos al paciente.

- La tendencia de valores no es predecible a simple vista.

### **III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:**

#### **Introducción al problema:**

La hipertensión, es un problema que sufre la humanidad desde tiempos muy antiguos.

Popularmente se le llama el asesino silencioso, debido a la forma en que evoluciona, generalmente es un proceso muy lento.

Sin embargo, según expertos, basta con realizar cinco tomas de tensión que presenten anomalías, para evaluar su evolución.

Puede el médico conocer que su paciente padece este problema al evaluar los cinco valores anteriores en un periodo específico.

Lo que el médico no puede saber, es que resultado obtendrá en la consulta posterior.

Puede observar y evaluar los valores anteriores al actual y evidentemente planificar un rumbo de acción.

Resultaría de gran valía si el médico pudiera predecir el próximo valor de tensión arterial de un paciente.

Estos valores presentan una tendencia.

- Tendencia a la alta.
- Tendencia a mantenerse.
- Tendencia a la baja

Según la tendencia presente, el médico puede planificar el tratamiento, es de esperar que varíe, dada la tendencia.

Resulta de gran valor para el médico, poder predecir los valores futuros. Cuestión que no puede realizar por si mismo.

Un posible valor futuro, le permitiría planificar un tratamiento anticipado, puesto que según el valor futuro obtenido, puede conocer con mayor precisión las tendencias de la patología.

### **IV. HIPÓTESIS**

La implementación de un sistema que permita predecir los valores futuros de la presión arterial en pacientes hipertensos facilitará al médico la planificación de tratamientos más efectivos, mejorando la capacidad de anticipar la evolución de la hipertensión y reduciendo el riesgo de complicaciones graves.



**TEMA:**

**Desarrollo de un prototipo de alerta temprana en pacientes hipertensos aplicando inteligencia artificial.**

## **SISTEMA DE OBJETIVOS:**

### **OBJETIVO GENERAL:**

- Desarrollar un prototipo que permita predecir valores futuros de presión arterial en pacientes con base en su historial médico. Utilizando IA

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Entrenar un modelo de aprendizaje automático para predecir la presión arterial.
- Evaluar el rendimiento del modelo de predicción.
- Desarrollar una interfaz de usuario para interactuar con el prototipo. (IDE básico)

## ALCANCES:

### INFORMACIÓN:

El Prototipo requiere unicamente los datos generales del paciente.

El registro de los datos de TA tomados por el médico durante la consulta.

Se espera que la solución tome el registro de valores de la Tensión Arterial registrados de un paciente X y pronostique un valor futuro, para ayudar al médico responsable a tomar decisiones anticipadas ante lo escenarios posible.

- Al alza.
- Se mantiene.
- A la baja.

En cualquiera de los posibles escenarios, el médico podrá tomar decisiones anticipadas para afrontar la situación del paciente, recomendando un rumbo de acción más acertado.

### TECNOLOGÍA:

#### Back End:

Para el desarrollo del back end se utilizará el lenguaje Python.

#### *Librerías de IA*

Se utilizarán las siguientes librerías:

mysql.connector:

- Esta biblioteca permite conectar Python con una base de datos MySQL. Proporciona funciones para realizar consultas, inserciones, actualizaciones y otras operaciones directamente desde un script de Python.

numpy:

- numpy es una biblioteca fundamental para realizar cálculos numéricos y trabajar con arreglos (arrays) multidimensionales en Python. Facilita operaciones matemáticas avanzadas y de álgebra lineal.

r2\_score de sklearn.metrics:

- r2\_score es una métrica que se utiliza para evaluar el rendimiento de un modelo de regresión. El valor de  $R^2$  mide qué tan bien se ajustan los valores predichos a los valores reales, variando entre 0 y 1, donde 1 indica un ajuste perfecto.

LinearRegression de sklearn.linear\_model:

- Esta clase implementa el algoritmo de regresión lineal, que se utiliza para predecir una variable dependiente (objetivo) en función de una o más variables independientes (predictores). La regresión lineal busca una relación lineal entre las variables.

#### ***Algoritmo utilizado:***

**Regresión Lineal:** Se aplicará el algoritmo de regresión lineal sobre los últimos 10 registros de TA de un paciente X, para calcular el próximo valor futuro.

### **Front End**

#### ***Lenguajes:***

PHP: Se realizará el desarrollo con tecnología PHP, utilizando diferentes técnicas de programación en lenguaje PHP.

Para desarrollar en lenguaje PHP, se requiere de tecnologías adicionales:

HTML: El Lenguaje de marcas HTML, es requerido para embeber el lenguaje PHP,

CSS: El lenguaje de estilos es requerido para el diseño UX. Específicamente el framework Bootstrap.

JavaScript: Se espera la generación de un gráfico para mostrar la tendencia de los valores de tensión arterial, para este fin se ha elegido el lenguaje JavaScript.

#### ***Servidores:***

Apache: Se requiere de un servidor que posea la tecnología para correr paginas PHP, para el presente caso se sugiere servidor Apache.

MariaDB: La base de datos se creará en lenguaje MySQL, porque tanto se sugiere el servidor de bases de datos MariaDB.

## JUSTIFICACIÓN:

La hipertensión, es conocida en el mundo de la medicina como el “asesino silencioso”.

Existen estudios que demuestran, la evolución de la hipertensión arterial, antes de revelar los primeros síntomas, cuya evolución puede estar en un rango de 10 a 20 años.

La evolución de la HTA, depende de muchos factores propios de cada individuo y puede presentar síntomas tempranos tales como:

- Dolores de cabeza intensos.
- Fatiga o confusión.
- Problemas de visión.
- Dolor en el pecho.
- Dificultad para respirar.
- Latidos cardíacos irregulares.
- Sangre en la orina.

Estos síntomas suelen asociarse con otras patologías, razón por la cual el paciente suele descuidar la tensión arterial.

El periodo de evolución tiene un rango de entre 10 y 20 años.

Cuando el paciente muestra los primeros síntomas, en el mejor de los casos, ya tiene 10 años de evolución y en el peor, 20 años.

La HTA se clasifica como enfermedad crónica, puesto que no tiene cura.

Los pacientes hipertensos tienen alto riesgo de padecer otras patologías asociadas, que pueden representar grave peligro para la vida o cuando menos afectar gravemente la calidad de vida.

Los médicos poseen el conocimiento necesario para tratar la hipertensión, pero no poseen la capacidad de pronosticar futuros valores en la tensión arterial. A esto se debe agregar que existe una tabla considerada de valores normales.

Si un valor de TA, se encuentra dentro del rango, es normal que el médico ignore la tendencia de todos los valores anteriores.

### VALORES NORMALES DE LA TENSIÓN ARTERIAL SEGÚN LA EDAD

EDAD	PRESIÓN SISTÓLICA		PRESIÓN DISTÓLICA	
	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER
<b>16 a 18</b>	105 - 135	100 - 130	60 - 86	60 - 85
<b>19 a 24</b>	105 - 139	100 - 130	62 - 88	60 - 85
<b>25 a 29</b>	108 - 139	102 - 135	65 - 89	60 - 86
<b>30 a 39</b>	110 - 145	105 - 139	68 - 92	65 - 89
<b>40 a 49</b>	110 - 150	105 - 150	70 - 96	65 - 96
<b>50 a 59</b>	115 - 155	110 - 155	70 - 98	70 - 98
<b>60 o más</b>	115 - 160	115 - 160	70 - 100	70 - 100

#### Estudios que demuestran la evolución de la HTA

1. Kannel, W. B., & McGee, D. L. (1979). Diabetes and cardiovascular risk factors: The Framingham study. *Circulation*, 59\_(1), 8-13. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.59.1.8>

2. SHEP Cooperative Research Group. (1991). Prevention of stroke by antihypertensive drug treatment in older persons with isolated systolic hypertension: Final results of the Systolic Hypertension in the Elderly Program (SHEP). *JAMA*, 265\_(24), 3255-3264. <https://doi.org/10.1001/jama.1991.03460240051027>

3. Whelton, P. K., Carey, R. M., Aronow, W. S., Casey, D. E., Collins, K. J., Dennison Himmelfarb, C., ... & Wright, J. T. (2018). 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA guideline for the prevention, detection, evaluation, and management of high blood pressure in adults: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Journal of the American College of Cardiology*, 71\_(19), e127-e248. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.11.006>

Es en este punto donde se muestra la importancia de un Sistema de Alertas Tempranas.

Si bien el médico tiene los valores de TA de cada paciente, puesto que los registra en cada consulta, estos valores están dispersos en el expediente clínico.

El sistema de Alertas Tempranas, muestra en un gráfico de tendencias, valga la redundancia, la tendencia de la tensión arterial d un paciente X, así mismo muestra una predicción del valor futuro.

Aun, cuando el paciente, no es hipertenso, pero el record de valores muestran una tendencia a la alza.

Esta tendencia será ignorada por el médico, dado que estos valores se encuentran dispersos en todo el expediente clínico.

Por el contrario, el Sistema de Alertas Tempranas, muestra el gráfico de tendencias y la predicción del valor futuro. En consecuencia el médico puede observar con mayor claridad si el paciente es hipertenso aun cuando no muestra síntomas.

En consecuencia puede tomar las providencias oportunas para trata la enfermedad.

Propuesta IA - Cronograma

AÑO 2024	JULIO	AOGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
DURACION	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5
2 Semanas	Recopilacion de datos				
	Limpieza de datos				
3 Semanas		Seleccion y entrenamiento			
		Optimizacion de hiperparametros			
2 Semanas			Evaluacion de rendimiento		
			Comparacion de rendimiento con otro modelo existente		
2 Semanas				Desarrollo de interfaz	
1 Semana					Test del prototipo
					Validacion de prototipo

**PRESUPUESTO**

EQUIPO	VALOR
ASUS SEPHIRUS	\$ 2,000.00
Horas uso por semana	10
Total semanas	10
Total horas uso	100
Valor depreciacion / hora	\$ 0.05
VALOR TOTAL DEPRECIACION	\$ 5.00

PRESUPUESTO	VALOR
EQUIPO	\$ 5.00
SOFTWARE	\$ 139.00
INSUMOS Y PERSONAL TECNICO	\$ 3,010.00
TOTAL	\$ 3,154.00

SOFTWARE	VALOR
Oracle VM Virtualbox	\$ -
Sistema Operativo Windows 10	\$ 139.00
IDE VS Code	\$ -
Servidor Python	\$ -
Servidor MariaDB	\$ -
Servidor PHP	\$ -
VALOR TOTAL	\$ 139.00

INSUMOS Y PERSONAL TECNICO	HORAS	VALOR HORA	TOTAL
Energia electrica	100	\$ 0.10	\$ 10.00
Tecnico 1	150	\$ 10.00	\$ 1,500.00
Tecnico 2	150	\$ 10.00	\$ 1,500.00
VALOR TOTAL			\$ 3,010.00



## **CAPITULO II**

### Analisis y propuesta de la solución

## **METODOLOGÍA DE TRABAJO:**

Prototipo de alerta temprana en pacientes hipertensos aplicando inteligencia artificial.

La hipertensión es una situación de salud muy compleja que requiere observación meticulosa por parte del medico y el paciente mismo.

### **1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA:**

Para un medico es un poco engorroso apreciar la tendencia de los valores de la tensión arterial de un paciente, debido a que estos se encuentran dispersos en el expediente.

La presente solución sera capaz de presentar una tabla con todo el historial del paciente, así mismo una tabla con los últimos 10 registros de TA.

En base a esta tabla, se presentara un gráfico de tendencias, que permitirá apreciar la evolución del paciente.

Con los últimos 10 registros, se espera que la solución sea capaz de predecir un valor futuro de TA.

Ya se menciono antes, que el medico no es capaz de predecir valores futuros, información valiosa para considerar un tratamiento en pacientes hipertensos o bien con tendencia a la HTA

Ademas es de considerar, que existe una tabla que contempla los valores normales, dentro de un rango ya comprobado. El problema consiste, que aun dentro de los rangos normales para la edad y sexo del paciente, puede existir tendencia a la HTA.

La solución, deberá analizar toda la información del paciente en cuanto a sexo, edad, factores de riesgo e histórico de valores, para predecir valores futuros.

### **2. RECOPIACIÓN DE DATOS:**

Obtener conjuntos de datos históricos de tensión arterial. Estos datos deben incluir al menos 10 mediciones previas de tensión arterial por paciente.

Cuando el paciente solicita consulta médica, por normativa se le toma los valores de signos vitales, entre los cuales figura la tensión arterial.

Para el pronostico de valores futuros, se recomienda el histórico de los últimos 10 valores de TA

Los datos de los pacientes, se obtienen en forma secuencial, cada que este requiere consulta médica.

### **3. PREPROCESAMIENTO DE DATOS:**

Los datos son obtenidos por el modelo desde la base de datos original.

El modelo analiza la información y realiza la carga y transformación de los mismos en tiempo

real.

#### **4. SELECCIÓN DEL MODELO DE IA:**

El modelo idóneo para el presente caso, es: MODELO REENTRENABLE, con un algoritmo de REGRESIÓN LINEAL.

Por la naturaleza misma de los datos, estos cambian constantemente de un paciente a otro:

Valores de tensión,

Factores de riesgo,

Sexo,

Edad.

Todos estos valores cambian de un paciente a otro, razón por la cual el modelo está continuamente en entrenamiento.

## DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN:

### VISIÓN GENERAL DE LA SOLUCIÓN:

Se ha mencionado, que la Hipertensión Arterial, también se le conoce como “El asesino silencioso”.

Esto, debido a los efectos en la salud del paciente, cuya evolución está en rango de 10 a 20 años, antes de manifestar los primeros síntomas

La solución esta diseñada, para recibir los valores de TA (Sístole y Diástole), de un paciente x, así mismo recibirá los factores de riesgo que sufre todo paciente determinados en rango de 0 a 3 (cero a tres)

Considerando el historial de los últimos 10 valores de TA, mas los valores de los factores de riesgo del paciente, la solución tendrá la capacidad de calcular y predecir valores futuros de TA.

### ENFOQUE METODOLÓGICO:

La solución está planificada para el uso de médicos generales.

Se desarrollará para ambiente web, pero correrá en un servidor local.

Se utilizarán las siguientes tecnologías:

- MariaDB: Base de datos.
- MySQL: Gestión de la base de datos.
- HTML: Lenguaje de marcas para diseñar el IDE.
- PHP: Lenguaje de lado del servidor para la funcionalidad.
- CSS: Lenguaje de estilos para UX.
- Bootstrap: Framework CSS para UX.
- JavaScript: Lenguaje para diseño y presentación de los gráficos.
- Python: Lenguaje para manipular las librerías de IA y predecir valores futuros.

### RECURSOS NECESARIOS:

Para el desarrollo de la solución se requiere:

- 2 Computadoras.
- Sistemas Operativos (Windows o Linux).
- Servidores: Apache y MariaDB.

- IDE para el desarrollo: Visual Code.
- 2 Desarrolladores.

### **IMPACTO ESPERADO:**

Se ha mencionado, que el médico, no posee la habilidad para predecir los valores futuros en un paciente hipertenso.

Se espera, que la solución aporte el conocimiento necesario para modificar el tratamiento en el paciente con la finalidad de impactar en su calidad de vida.

Ya se ha mencionado, que cada que el paciente requiere de consulta médica, se le toman los valores de los signos vitales y se registran en el expediente, entre ellos la TA.

Para que el médico pueda evaluar la situación actual del paciente, debe revisar todo el expediente, o cuando menos los últimos 10 registros de TA.

La solución muestra todo el registro en orden cronológico, en caso el médico desee consultarlo.

En la predicción muestra el registro de los último 10 valores; un gráfico de tendencias para evaluar la evolución del paciente y la predicción del próximo valor futuro.

Debe tomarse en cuenta, que dependiendo de la predicción puede que el médico pretenda mantener la predicción o disminuirla. La predicción es un dato que pueda ser o no beneficioso para el paciente.

La evolución del paciente presentarse de la siguiente forma:

- Alta con tendencia a aumentar.
- Alta con tendencia a disminuir.
- Alta con tendencia a mantenerse en los niveles.
- Baja con tendencia a subir.
- Baja con tendencia a disminuir.
- Baja con tendencia a mantenerse.

En todos los casos, es el médico quien decide si quiere que la predicción se cumpla o no se cumpla.

La predicción es un valor que muestra las posibilidades en la evolución de la TA, factor muy importante para el médico, puesto que le sirve de parámetro para evaluar y modificar el tratamiento en curso, si lo hubiere.

### **CRONOGRAMA:**

Ver Anexo a - Cronograma

## DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA:

Se propone un prototipo que posea la capacidad de analizar los últimos diez valores de la toma de tensión arterial de un paciente X. Que sea capaz de predecir el valor futuro, sean estos Sístole y Diástole.

La solución deberá funcionar bajo las siguientes premisas:

### PLATAFORMA:

La solución es independiente del sistema operativo, en entorno local, Windows, Linux, Mac.

### ENTORNO:

Local:

La solución deberá correr en entorno local en un servidor APACHE. En caso sea necesario puede utilizarse cualquier otro servidor que posea la capacidad de correr tecnología PHP.

### BACK END:

El Back End se desarrolla en lenguaje Python.

### SE UTILIZARÁN LAS LIBRERÍAS:

- `mysql.connector`

Es un módulo de Python que permite conectar aplicaciones Python con bases de datos MySQL. Proporciona una interfaz para ejecutar consultas SQL, gestionar transacciones, y manipular datos almacenados en una base de datos MySQL.

- `sklearn.linear_model`

Es un submódulo de la biblioteca scikit-learn en Python que proporciona implementaciones de varios modelos de regresión lineal y otros modelos relacionados. Estos modelos se utilizan para realizar predicciones sobre datos continuos o categóricos basándose en una relación lineal entre las variables independientes (predictores) y la variable dependiente (respuesta).

- `sklearn.metrics`

Es un módulo de la biblioteca scikit-learn en Python que proporciona un conjunto amplio de funciones y herramientas para evaluar el rendimiento de modelos de aprendizaje automático. Este módulo es esencial para validar, comparar, y entender la efectividad de diferentes modelos mediante el cálculo de diversas métricas de evaluación.

- `numpy`

Es una biblioteca de Python que proporciona estructuras de datos y funciones para trabajar con arrays y matrices de manera eficiente. Su principal objeto es el 'ndarray', una matriz multidimensional que permite realizar operaciones matemáticas y científicas rápidas y eficaces. 'NumPy' facilita tareas como la manipulación de datos, operaciones matemáticas y estadísticas, y es compatible con otras bibliotecas científicas en Python. Es una herramienta esencial para el análisis numérico y el cálculo científico.

## **FRONT END:**

El Front End, se desarrollará en lenguaje PHP, con las tecnologías relacionadas que se necesiten sean estas HTML, CSS y JavaScript y frameworks de CSS que se necesiten como BootStrap

## **BASES DE DATOS:**

La base de datos será MySQL (MariaDB)

Los servidores se proponen Servidor Apache para el IDE y Servidor MySQL para la base de datos.

## ANÁLISIS DE TECNOLOGÍA DISPONIBLE:

### LOS LENGUAJES DISPONIBLES PARA CREAR LA SOLUCIÓN:

- **R:** Ideal para análisis estadístico y visualización de datos, y tiene capacidades robustas para machine learning.
- **JavaScript (Node.js):** Adecuado para aplicaciones web, y tiene soporte para machine learning a través de TensorFlow.js.
- **Java:** Es un lenguaje de programación sólido con buena integración en aplicaciones empresariales.
- **C# (con .NET):** Ideal para aplicaciones de escritorio y tiene soporte para machine learning con ML.NET.
- **Julia:** Lenguaje de alto rendimiento para el análisis numérico y computación científica.

### LENGUAJES SELECCIONADOS PARA REALIZAR LA SOLUCIÓN:

#### PHP (Front End)

**PHP** es un lenguaje de programación interpretado del lado del servidor y de uso general que se adapta especialmente al desarrollo web.

#### Razones para elegir PHP:

- Por su flexibilidad y amplia compatibilidad con bases de datos. PHP se integra fácilmente con sistemas de gestión de bases de datos como MySQL, lo que facilita el manejo de grandes volúmenes de datos de pacientes, como historiales de tensión arterial, factores de riesgo y otros registros médicos. Además, PHP es ampliamente soportado en la mayoría de los servidores web, lo que permite una implementación y escalabilidad efectivas en entornos de producción clínica.
- Facilita un desarrollo ágil y rápido gracias a su sintaxis sencilla y a la gran cantidad de frameworks y herramientas disponibles.
- Es altamente compatible con diferentes sistemas operativos y servidores web, lo que permite una integración fácil con nuestra infraestructura existente.
- Es adecuado para proyectos de diferentes tamaños, desde aplicaciones pequeñas hasta grandes sistemas empresariales, brindando flexibilidad para crecer y adaptarse a futuras necesidades.

**HTML:** Acrónimo en inglés de HyperText Markup Language, hace referencia al lenguaje de marcado utilizado en la creación de páginas web. Este estándar que sirve de referencia del software que interactúa con la elaboración de páginas web en sus diferentes versiones.



**CSS:** es un lenguaje de diseño gráfico para definir y crear la presentación de un documento estructurado escrito en un lenguaje de marcado.

**Bootstrap:** Es un framework multiplataforma o conjunto de herramientas de código abierto para diseño de sitios y aplicaciones web.

**JavaScript:** Es un lenguaje de programación interpretado, dialecto del estándar ECMAScript. Se define como orientado a objetos, basado en prototipos, imperativo, débilmente tipado y dinámico.

## **PYTHON (BACK END)**

Python es un lenguaje de alto nivel de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en la legibilidad de su código. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta parcialmente la orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional.

### **Razones para elegir Python:**

- Cuenta con una extensa colección de bibliotecas y frameworks que facilitan el desarrollo de modelos de machine learning y aplicaciones de inteligencia artificial además de ser el más popular para este tipo de trabajos.
- Es conocido por su sintaxis clara y legible, lo que acelera el desarrollo y reduce la probabilidad de errores, facilitando tanto el desarrollo como el mantenimiento del código.
- Se integra fácilmente con otros lenguajes y tecnologías, permitiendo una comunicación fluida entre diferentes componentes del sistema, y es compatible con múltiples plataformas y sistemas operativos.
- Es adecuado para proyectos de diferentes tamaños y es altamente flexible, permitiendo adaptarse a las necesidades cambiantes del proyecto y escalar conforme se requiera.

### **Librerías por utilizar:**

- **mysql.connector:** Es una librería de Python que proporciona una interfaz para conectar aplicaciones Python con bases de datos MySQL. Permite ejecutar consultas SQL, gestionar transacciones y trabajar con bases de datos MySQL de manera eficiente.
- **sklearn.linear\_model:** Es un modelo de regresión lineal simple de la librería scikit-learn, utilizada para problemas de aprendizaje supervisado en machine learning.
- **sklearn.metrics:** Es un módulo de la biblioteca 'scikit-learn' en Python que proporciona un conjunto de herramientas para evaluar el rendimiento de modelos de aprendizaje automático. Incluye métricas para clasificación, regresión, agrupamiento y evaluación de modelos de varios tipos, como precisión, recall, F1 score, matriz de confusión, error cuadrático medio (MSE), coeficiente de determinación ( $R^2$ ),

entre otros. Estas herramientas son esenciales para validar y comparar la eficacia de diferentes modelos y algoritmos.

- **numpy:** Es una librería fundamental para computación numérica en Python, utilizada para trabajar con arrays multidimensionales y realizar operaciones matemáticas de alto rendimiento.

#### **Potenciales servidores por utilizar:**

- Gunicorn (Green Unicorn): Un servidor HTTP WSGI para aplicaciones Python.
- Microsoft IIS: Un servidor web y servidor de aplicaciones desarrollado por Microsoft, compatible con Windows.
- Amazon Web Services (AWS) Elastic Beanstalk: Un servicio de orquestación que despliega, gestiona y escala aplicaciones web automáticamente.
- Google Cloud Platform (GCP) App Engine: Un servicio PaaS que permite desplegar aplicaciones web sin necesidad de gestionar la infraestructura.

#### **Servidor por utilizar:**

- Apache HTTP Server:

El servidor HTTP Apache es un servidor web HTTP de código abierto, para plataformas Unix, Microsoft Windows, Macintosh y otras, que implementa el protocolo HTTP/1.1.

#### **Razones para elegir Apache:**

- Es un software de código abierto, lo que significa que no hay costos asociados con licencias.
- Es conocido por su configuración intuitiva y sencilla.
- Funciona en una variedad de sistemas operativos.
- Soporta una amplia gama de módulos y plugins

#### **Servidores de bases de datos a considerar:**

- **Oracle Database:** Una base de datos relacional comercial robusta y ampliamente utilizada.
- **Microsoft SQL Server:** Una base de datos relacional desarrollada por Microsoft.
- **MongoDB:** Una base de datos NoSQL orientada a documentos que utiliza JSON-like documents.
- **SQLite:** Una base de datos ligera y autónoma, de código abierto, que no requiere un servidor separado.

**Base de datos por utilizar:**

- MariaDB

Es un sistema de gestión de bases de datos derivado de MySQL con licencia GPL.

**Motivos para elegir MariaDB:**

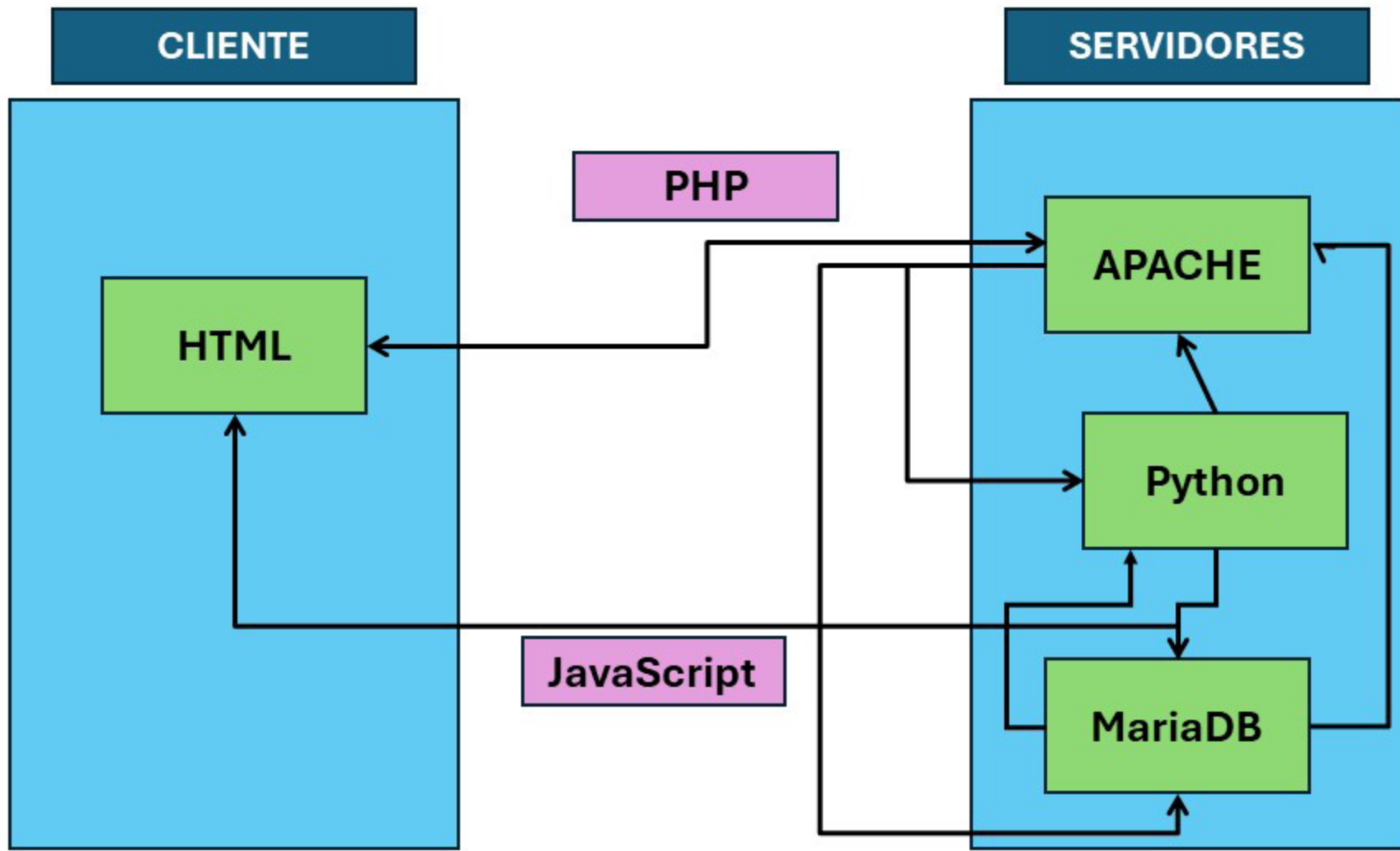
- Es un software de código abierto y no requiere costos de licencia.
- Incluye varias optimizaciones y mejoras de rendimiento en comparación con MySQL.
- Puede utilizar las mismas herramientas, bibliotecas y frameworks que se usan con MySQL.
- Puede manejar grandes volúmenes de datos y es adecuada para aplicaciones que necesitan escalar horizontalmente.

Por consiguiente el lenguaje a utilizar para manipular los datos de la base de datos es:

**SQL.**

**SQL** es un lenguaje específico de dominio, diseñado para administrar, y recuperar información de sistemas de gestión de bases de datos relacionales.

## DIAGRAMA ARQUITECTONICO



## **DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA SOLUCIÓN**

## DESCRIPCIÓN:

La solución está diseñada para funcionar en un servidor local.

Está diseñada para un único usuario, razón por la que no prima inicio de sesión.

No se permite la modificación de información, situación que en caso ocurriera, no afecta en la calidad de vida del paciente.

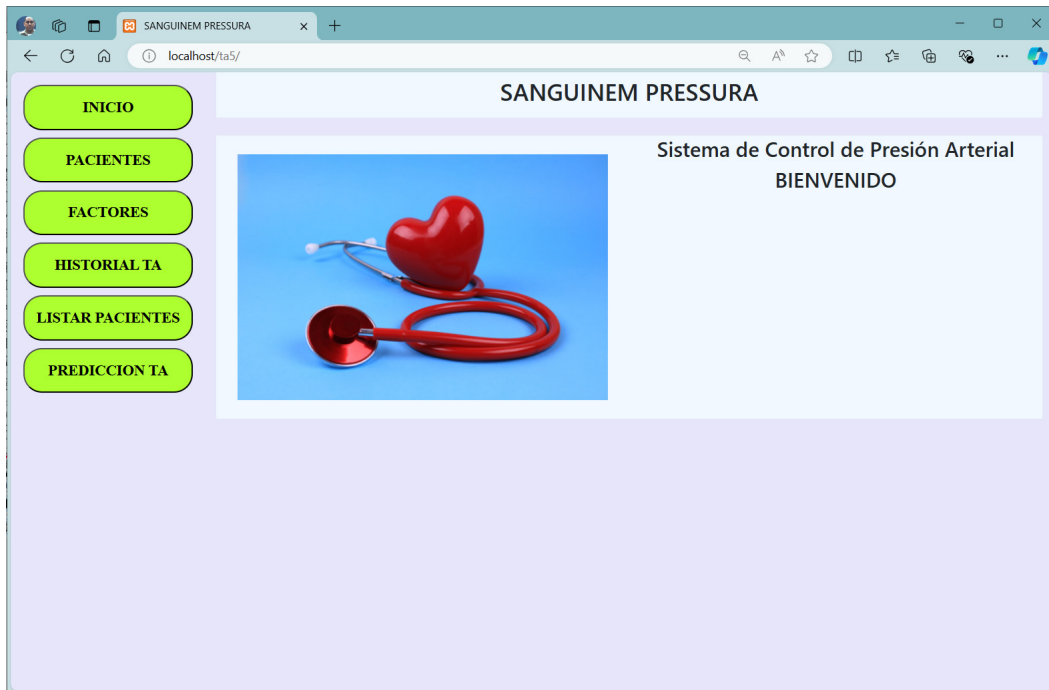
## TECNOLOGÍA UTILIZADA:

### LENGUAJES:

<b>HTML</b>	Lenguaje marcas para la organización y presentación de la información.
<b>CSS</b>	Lenguaje utilizado para la experiencia del usuario (UX)
<b>PHP</b>	Lenguaje utilizado para la administración de la base de datos.
<b>JavaScript</b>	Lenguaje utilizado para la creación del gráfico de tendencias presentado en el pronóstico de TA
<b>Python</b>	Lenguaje utilizado para calcular el pronóstico de TA, así como la comprobación del modelo.

### SERVIDORES:

Apache	Servidor web para correr la solución.
MySQL	Sistema de gestión de bases de datos para administrar MariaDB
Python	Lenguaje utilizado para administrar los procesos de IA



## INICIO:

Pantalla de bienvenida.

## PACIENTES:

Dispone de dos subrutinas:

- Validar paciente.
- Agregar paciente.

### VALIDAR PACIENTE:

Valida un paciente por el numero de DUI, para modificar factores de riesgo, agregar valores de tensión arterial y pronostico de TA futuro.

El ultimo paciente validado, permanece en memoria hasta una nueva validación.

### AGREGAR PACIENTE:

Agrega un nuevo paciente a la base de datos. Requiere los datos:

- DUI, (Campo numérico)
- Nombre, (Campo de texto)
- Apellido, (Campo de texto)
- Sexo, (Select)
- Fecha de nacimiento. (Date)



The screenshot shows a web application interface for managing hypertension patients. On the left is a sidebar with navigation buttons: INICIO, PACIENTES, FACTORES, HISTORIAL TA, LISTAR PACIENTES, and PREDICCIÓN TA. The main area is titled 'FACTORES DE RIESGO EN PACIENTES HIPERTENSOS'. It displays patient information in a table and a form for updating risk factors.

DUI	NOMBRE	APELLIDO	SEXO	F / NACIMIENTO	INGRESO	EDAD
2	JUANA	TIGRIS	FEMENINO	1980-12-10	2024-08-01	43

HISTORIA:   
OBESIDAD:   
SEDENTARISMO:   
ALCOHOLISMO:   
TABAQUISMO:   
DIABETES:   
COLESTEROL:

0 = Sin Riesgo  
1 = Riesgo Leve  
2 = Riesgo Moderado  
3 = Riesgo Alto

**ACTUALIZAR**

## FACTORES:

Muestra los datos generales del ultimo paciente validado.

Muestra los factores de riesgo para un paciente hipertenso o en riesgo de padecer hipertensión.

Estos valores se agregan automáticamente al crear un nuevo paciente, todos con valor de cero.

Estos datos, solamente se permite su actualización, en rango de cero (0) a tres (3) que representan el factor de riesgo para la salud de la tensión arterial, si bien existen otros, estos son los más significativos

Conforme cambia el estilo de vida del paciente se puede actualizar en los valores dentro del rango

INICIO

PACIENTES

FACTORES

HISTORIAL TA

LISTAR PACIENTES

PREDICCIÓN TA

HISTORIAL TA

PACIENTE

DUI	NOMBRE	APELLIDO	SEXO	F / NACIMIENTO	INGRESO	EDAD
2	JUANA	TIGRIS	FEMENINO	1980-12-10	2024-08-01	43

DUI	SISTOLE	DIASTOLE	INGRESO
2	127	85	2024-08-23
2	130	90	2024-08-23
2	160	110	2024-08-01
2	140	90	2024-08-01
2	150	100	2024-08-01
2	120	80	2024-07-24
2	140	90	2024-07-24
2	160	120	2024-07-24
2	150	100	2024-07-24
2	130	90	2024-07-24
2	120	80	2024-07-24
2	130	90	2024-07-24
2	150	100	2024-07-24
2	130	100	2024-07-23
2	130	100	2024-07-23
2	130	100	2024-07-23
2	120	80	2024-07-23

1 2

SISTOLE:

DIASTOLE:

AGREGAR TA

CANCELAR

VALORES NORMALES DE LA TENSION ARTERIAL SEGUN LA EDAD

EDAD	PRESIÓN SISTÓLICA		PRESIÓN DISTÓLICA	
	HOMBRE	MUJER	HOMBRE	MUJER
16 a 18	105 - 135	100 - 130	60 - 86	60 - 85
19 a 24	105 - 139	100 - 130	62 - 88	60 - 85
25 a 29	108 - 139	102 - 135	65 - 89	60 - 86
30 a 39	110 - 145	105 - 139	68 - 92	65 - 89
40 a 49	110 - 150	105 - 150	70 - 96	65 - 96
50 a 59	115 - 155	110 - 155	70 - 98	70 - 98
60 o más	115 - 160	115 - 160	70 - 100	70 - 100

## HISTORIAL TA:

Muestra los datos generales del último paciente validado.

Muestra el historial de las tomas de valores de TA.

Muestra la tabla de rangos de valores normales por sexo y edad para Sístole y Diástole.

Captura valores de Sístole y Diástole, para la presente consulta. Y lo agrega al registro del historial.

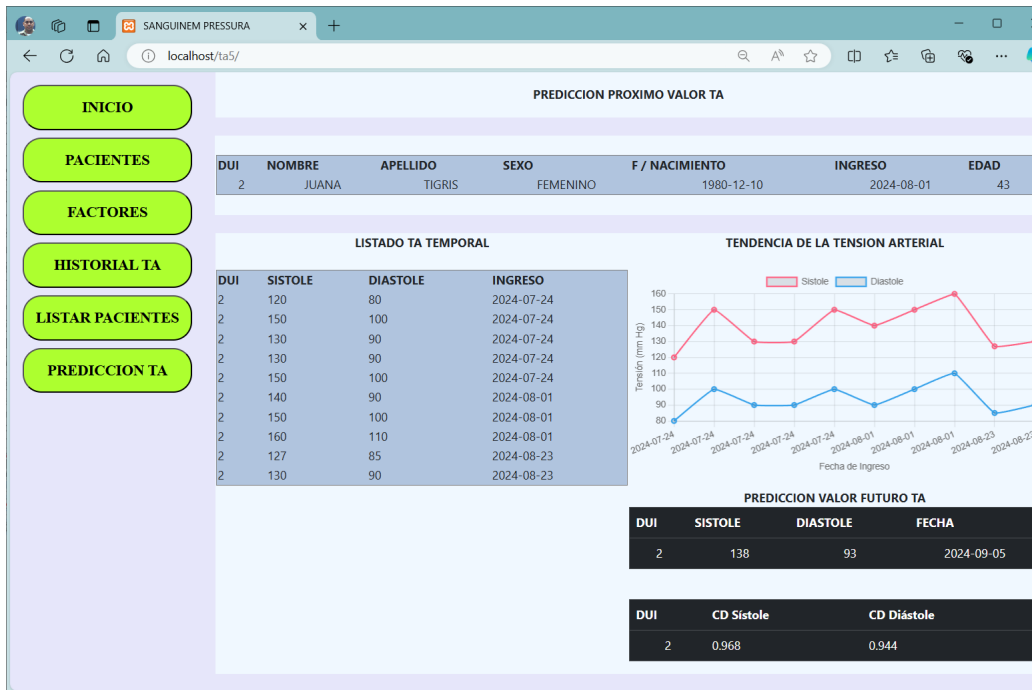
34

DUI	NOMBRE	APELLIDO	SEXO	NACIMIENTO	INGRESO	EDAD
1	LUIS	PASTEUR	MASCULINO	1950-10-10	2024-08-01	73
2	JUANA	TIGRIS	FEMENINO	1980-12-10	2024-08-01	43
3	JULIA	MARTINEZ	FEMENINO	1990-01-01	2024-08-01	34
4	FELIZ	EL GATO	MASCULINO	1950-01-01	2024-08-01	74
5	ARMANDO	MOLINA	MASCULINO	1951-10-23	2024-08-01	72
6	PEDRO	PARAMO	MASCULINO	1980-11-11	2024-08-01	43
7	ANA MARIA	PELUFO	FEMENINO	1960-12-01	2024-08-01	63
8	MARIA	FELIX	FEMENINO	1980-10-10	2024-08-06	43
9	PEDRO	DOMINGUEZ	MASCULINO	2023-11-14	2024-08-09	0
10	MARIA	DEL PILAR	FEMENINO	2019-02-04	2024-08-09	5
11	DAMARIS	ORTIZ	FEMENINO	2019-06-03	2024-08-12	5
12	ORTENSIA	JIMENEZ	FEMENINO	1960-11-23	2024-08-12	63
100	JOSE ALFREDO	HERNANDEZ ORTIZ	MASCULINO	1971-07-25	2024-09-03	53

LISTADO GENERAL DE PACIENTES:

Muestra el listado general de pacientes.

El listado se puede organizar ascendente o descendente por todos los rubros.



## PREDICCIÓN PRÓXIMO VALOR TA:

### MUESTRA:

- Datos generales del paciente sujeto de predicción del valor futuro de TA
- Registro de los últimos 10 valores de TA
- Gráfico de tendencias de los últimos 10 valores de TA.
- Predicción del valor futuro de TA.
- (Temporal) Muestra los datos de comprobación de la predicción utilizando  $r^2$

### BACK END

- Existen cinco tablas temporales que almacenan la información requerida para el análisis y predicción: tmpaciente, tmpension, tmpfactores prediccion y tmpcd.
- Se limpian las tablas temporales.
- Se agrega la nueva información correspondiente al paciente validado en las tablas temporales.
- Se ejecuta el archivo python responsable de la predicción

**CAPITULO III**  
Estrategia de implementacion de propuesta de solución

## **ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN:**

La presente solución, es un producto nuevo en El Salvador, en especial en el ámbito de la medicina general.

Representa un activo de alto valor para el diagnóstico y predicción de la Hipertensión Arterial.

La solución está diseñada para un único usuario y correr en un servidor local

### **1. PLANIFICACIÓN DEL PROCESO**

#### **Desarrollo:**

La solución se encuentra completa y funcional, se previó originalmente un tiempo de desarrollo, que se superó con creces.

Esta debía ser funcional a noviembre del año 2024, sin embargo, al momento presente se encuentra funcional con posibilidades de escalar si fuera necesario.

#### **Pruebas:**

No se puede tener acceso a información real de los pacientes de una clínica médica, por normativa legal, que impide la visualización de esta información por personal no médico.

Sin embargo, se ha implementado en una Pc de la Clínica el Divino Niño de la colonia Santa Lucía en Ilopango.

Los resultados en la evaluación han sido satisfactorios.

#### **Despliegue:**

Se requiere de una Pc con los requisitos mínimos siguientes para su funcionamiento.

- Procesador de doble núcleo, como un Intel Core i3 o AMD Ryzen 3
- Memoria RAM: 4 GB de RAM (recomendado 8 GB para mayor fluidez).
- Espacio: 40 GB de disco duro disponible.

#### **Mantenimiento:**

Se proyecta una visita mensual durante los primeros 6 meses, para auditoría de la solución, durante los siguientes 6 meses, la visita será por demanda del usuario.

#### **Cronograma:**

La instalación completa de la solución con los servidores requeridos, se puede realizar en un tiempo máximo de 2 horas, y será por demanda del usuario final, quien dispondrá

de su tiempo para dicho proceso.

**Recursos:**

- 1 Técnico capacitado en la instalación de servidores: Apache, MariDB y Python.
- 2 La fuente de la solución.
- 3 Los servidores: Apache, MariDB y Python.

## **2. DESARROLLO E INTEGRACIÓN**

La solución está desarrollada por módulos independientes, que se integran entre si y permiten un mejor control en el mantenimiento y actualizaciones futuras.

## **3. PRUEBAS**

Se ha testado cada uno de los componentes de la solución, de forma independiente, obteniendo el resultado esperado. Los componentes:

**Pacientes:**

Agrega nuevos pacientes a la base de datos.

Valida la existencia de un paciente y lo captura para los procesos de TA.

**Factores:**

Muestra los valores de los factores de riesgo y permite la actualización de la información.

**Historial TA:**

Muestra una tabla con el record de los valores de TA del paciente.

Captura los datos de TA del paciente y los agrega a la tabla.

**Listar Pacientes:**

Muestra un listado de todos los pacientes en la base de datos.

**Prediccion TA:**

Muestra los datos generales del paciente.

Muestra el registro de los últimos 10 valores de TA.

Muestra el gráfico de tendencias para evaluar el estado de la TA del paciente

Muestra la tabla con la predicción del valor futuro de TA:

Todos los módulos funcionan sin problemas, se integran eficientemente.

#### **4. DESPLIEGUE**

Verificación de requisitos mínimos en equipo local

- Instalación de servidor XAMPP, con Apache y MariaDB
- Instalación de servidor Python.
- Carga de la base datos.
- Carga de la solución en el servidor Apache.

#### **5. CAPACITACIÓN Y DOCUMENTACIÓN**

Capacitación de usuario final. La solución es ligera e intuitiva, diseñada para la fácil comprensión de todo usuario.

La documentación y manual de usuario, se realizará si esta fuere necesaria. Hasta el momento se ha observado que el usuario domina fácilmente la solución con una sola sesión de capacitación, en un tiempo de 20 a 30 minutos.

#### **6. MONITOREO Y SOPORTE**

Se capacitará al usuario para que tome capturas de pantalla en caso de ocurrir un error y lo envíe inmediatamente al administrador.

Se realizará visita para corregir el error dentro del tiempo estipulado, según acuerdo con el usuario.

#### **7. MANTENIMIENTO Y ACTUALIZACIONES**

Se realizará visita programada durante los primeros 6 meses y posteriormente visita bajo demanda durante los siguientes 6 meses.

Si la solución sufre alguna actualización durante el primer año, se instalará libre de cargos para el usuario.

Posterior, se puede realizar actualizaciones bajo demanda la cual tendrá un costo, dependiendo de los requerimientos del usuario.

Las futuras actualizaciones, no son acumulativas, será independientes para cada modulo y tendrán un valor estándar para todos los usuarios, según la inversión realizada para desarrollar las actualizaciones.

#### **8. DESPLIEGUE PILOTO:**



La solución es nueva, y no existe antecedente en El Salvador, en especial en las clínicas privadas de la medicina general.

Se realizará la implementación y se establecerá un canal para que el usuario pueda realizar consultas y solventar inquietudes que puedan aparecer.

## PRESUPUESTO DE LA IMPLEMENTACIÓN

RUBRO	COSTO (USD)
Transporte (área metropolitana de San Salvador)	30.00
Técnico	100.00
<b>TOTAL</b>	<b>130.00</b>
Servidor XAMPP	0.00
Servidor Python	0.00
Configuración de servidores	50.00
<b>TOTAL</b>	<b>50.00</b>
Instalación de solución	500.00
Capacitación 1 usuario	0.00
Manual de usuario (1 pdf)	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>500.00</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>680.00</b>

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS:**

### **1. EVALUACIÓN DE OBJETIVOS:**

Se ha desarrollado un prototipo de solución de alertas tempranas en pacientes hipertensos.

La aplicación es capaz de predecir el valor futuro en la tensión arterial de un paciente X.

Es necesario considerar que la tensión arterial evoluciona acorde a ciertos factores que pueden o no considerarse en la lógica de la aplicación, así como otros factores que son exclusivos del conocimiento del médico.

La solución es para uso exclusivo de medios generales, y corre en un servidor Apache local.

### **2. ANÁLISIS DE RENDIMIENTO:**

La solución se ha testeado en una computadora portátil con las siguientes características:

- Procesado: AMD Ryzen 7 3750H
- Radeon Vega Mobile Gfx 2.30 GHz
- RAM 16Gb

### **3. EXPERIENCIA DEL USUARIO (UX):**

La interfaz es intuitiva, simple y de fácil uso.

No presenta mensajes confusos.

No es posible para el usuario, modificar la información, a excepción de los factores de riesgo, que pueden variar con el tiempo. Con la finalidad de garantizar la fiabilidad de los cálculos.

### **4. ERRORES Y PROBLEMAS:**

No se ha presentado problema alguno durante la implementación.

### **5. IMPACTO EN EL NEGOCIO:**

El usuario experto ha manifestado:

La solución representa una mejora significativa en el diagnostico de pacientes hipertensos y no hipertensos en riesgo de padecer HTA, al disponer de un reporte que muestre el histórico de las tomas de TA y el gráfico de tendencias que facilita la interpretación de la información histórica de TA.

La mejora en la eficiencia operativa es significativa.

Considerando las características propias de la HTA; Con la presentación del gráfico, se puede apreciar la evolución de la TA.

Si el paciente muestra en un record de 10 tomas de presión, seis valores anormales, y en la predicción se aprecia un séptimo valor anormal, es suficiente para iniciar un tratamiento. Aun cuando el paciente no sea hipertenso aun, puesto que se debe tomar en cuenta el tiempo de evolución de la enfermedad.

Al observar el registro de tensión del paciente, en una misma tabla y las tendencias en el gráfico, agregando a estos el valor de predicción, es más eficiente valor el riesgo que representa para el paciente.

Si bien se cuenta con un registro físico, que se alimenta en cada consulta requerida por el paciente, el tener toda la información en un único reporte, facilita la toma de decisiones y ajuste o inicio del tratamiento.

## **6. FEEDBACK DE LOS STAKEHOLDERS:**

No se ha entrevistado pacientes.

El usuario experto opina, que su calidad operativa se ve positivamente afectada, ya que representa una herramienta que aporta mucho valor, contribuyendo a decisiones más acertadas y diagnosticar en tiempo.

Manifiesta, que al encontrar un valor anormal para el rango de edad y sexo, es necesario hacer un seguimiento de 7 días, tomando los valores de TA a la misma hora y bajo las mismas condiciones de riesgo.

Si el 60% de esos valores se presentan anormales; el paciente se considera en alto riesgo de HTA, aun cuando los valores estén dentro del rango para sus sexo y edad, pero si se aprecian anomalías en el patrón, con certeza el paciente está en evolución de HTA y debe aplicarse un tratamiento inmediatamente.

## **7. RECOMENDACIONES PARA MEJORAS:**

En el momento presente la solución está diseñada para correr en un servidor local y mono usuario, por lo que no requiere autenticación.

Se considera, para un futuro escalado, agregar rutinas de autenticación para multi usuarios y en consecuencia corra en un servidor remoto, en la nube.

## **8. REPORTES:**

La solución presenta 3 reportes:

- Listado General de pacientes:

Despliega un listado de los pacientes, se puede ordenar ascendente o descendente en

todos los rubros: DUI, Nombre, Apellido, Sexo, Fecha de Nacimiento, Fecha de Ingreso y Edad.

- Historial de TA:

Histórico de los valores de TA de un paciente X; se puede ordenar de forma ascendente o descendente por fecha de ingreso.

- Predicción:

Muestra la tabla del registro de los últimos 10 valores de TA.

El gráfico de tendencias para evaluar el patrón de la tensión del paciente.

Tabla con la predicción de los valores futuros de TA.

Nota: La tabla que muestra los resultados del análisis de la predicción para conocer la fiabilidad, utilizando  $r^2$  es temporal, el medico no requiere esta informatizan.

## **CONCLUSIONES:**

### **EL DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ALERTA TEMPRANA EN PACIENTES HIPERTENSOS APLICANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL.**

Ha significado una herramienta de alto valor para el control y diagnóstico de la hipertensión.

Si se considera la evolución de esta enfermedad, la cual presenta patrones que pueden ser omitidos por algunos médicos, debido a los rangos considerados normales y que aun dentro de los rangos normales puede existir anomalías que revelen el riesgo de padecer HTA.

Según el usuario experto, que al observa un paciente durante una semana, tomando sus valores de TA, a la misma hora y bajo las mismas condiciones de riesgo, si este presenta valores anormales, aun dentro de los rangos normales para su edad y sexo, se entiende que tiene un alto riesgo de hipertensión incluso se puede considerar que ya es hipertenso.

La presente solución, representa una herramienta de alto valor, para observar los datos de TA de un paciente presentados en un informe más eficiente.

Dado que en caso de no estar presente la solución, es necesario consultar el expediente físico para comparar dichos valores, cosa que puede resultar trabajosa en algunos casos.

### **LA SOLUCIÓN APORTA VALOR A LA OPERATIVIDAD DEL MÉDICO.**

Se construyó un prototipo funcional que, utilizando técnicas de aprendizaje automático, puede procesar el historial médico de los pacientes y generar predicciones sobre los valores futuros de presión arterial (sístole y diástole). El uso de IA en este contexto no solo ofrece una mayor precisión en la estimación de posibles fluctuaciones en la presión arterial, sino que también abre la puerta a una herramienta preventiva en el campo de la medicina general, permitiendo a los profesionales anticipar posibles episodios hipertensivos y ajustar tratamientos a tiempo.

### **ENTRENAR UN MODELO DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA PREDECIR LA PRESIÓN ARTERIAL.**

Se entrenaron varios modelos de regresión, como MLP (Perceptrón Multicapa), Random Forest, XGBoost y SVR, aplicados a los datos históricos de tensión arterial y factores de riesgo asociados. Durante el proceso, se identificaron y ajustaron las variables relevantes, lo que permitió mejorar la precisión de las predicciones. Si bien hubo desafíos, como obtener coeficientes de determinación negativos en las primeras fases, estos problemas se resolvieron mediante ajustes en los modelos y en los datos, logrando un nivel aceptable de rendimiento para la predicción de los valores de sístole y diástole.

### **EVALUAR EL RENDIMIENTO DEL MODELO DE PREDICCIÓN.**

El rendimiento del modelo fue evaluado utilizando métricas estándar como el coeficiente de

determinación ( $R^2$ ). Aunque inicialmente se encontraron dificultades con valores negativos, lo que indicaba un mal ajuste del modelo, la posterior optimización de los parámetros y la adecuación de los datos permitieron obtener mejores resultados. Los modelos finales ofrecen predicciones razonablemente precisas, especialmente en el caso de pacientes con historiales extensos de presión arterial, lo que sugiere que el prototipo es viable para un uso práctico en el monitoreo de la salud. Desarrollar una interfaz de usuario para interactuar con el prototipo.

El desarrollo de una interfaz de usuario básica (IDE) permitió la interacción con el prototipo de manera accesible. Esta interfaz permite la entrada de datos médicos y ofrece visualizaciones claras de los resultados, incluyendo la tabla de los últimos 10 registros de presión arterial, gráficos de tendencia, y la tabla de predicciones futuras. Aunque es una versión inicial, cumple con el objetivo de permitir que los médicos puedan ingresar los datos de sus pacientes y recibir predicciones de forma rápida y eficiente, lo que es crucial para la adopción del prototipo en entornos clínicos.

El prototipo de predicción de presión arterial basado en IA es funcional y cumple con las expectativas en cuanto a la capacidad de prever futuros episodios hipertensivos. El entrenamiento de los modelos fue satisfactorio tras la resolución de algunos problemas iniciales, y la interfaz desarrollada facilita la interacción del usuario con la herramienta. A largo plazo, este prototipo tiene el potencial de evolucionar en una herramienta médica valiosa que contribuya a una mejor gestión y prevención de la hipertensión arterial en los pacientes.

## **RECOMENDACIONES:**

### **1. MEJORAR LA CALIDAD Y CANTIDAD DE LOS DATOS**

- Aumentar el tamaño del conjunto de datos: La precisión de los modelos de aprendizaje automático generalmente mejora con más datos. Obtener un conjunto de datos más grande y diverso, que incluya diferentes perfiles de pacientes, edades, géneros y condiciones médicas, contribuirá a mejorar las predicciones.
- Normalizar los datos: Verificar que los datos de entrada estén normalizados o estandarizados puede mejorar significativamente el rendimiento del modelo. Diferentes rangos de variables, como factores de riesgo y medidas de presión arterial, pueden impactar el aprendizaje si no se ajustan correctamente.

### **2. OPTIMIZACIÓN DE LOS MODELOS DE IA**

- Explorar más algoritmos: Aunque se utilizaron varios algoritmos de regresión, es recomendable probar otros modelos de predicción, como redes neuronales recurrentes (RNN) o LSTM (Long Short-Term Memory), que son más efectivos para datos secuenciales como los historiales médicos.
- Tuning de hiperparámetros: Realizar un ajuste más fino de los hiperparámetros de los modelos

actuales (Random Forest, XGBoost, etc.) usando técnicas de búsqueda, como Grid Search o Random Search, podría aumentar la precisión del modelo.

- Evaluar modelos con validación cruzada: Implementar técnicas como la validación cruzada k-fold para asegurarse de que los modelos no estén sobreajustados a un conjunto de datos específico y sean más generalizables.

### **3. MEJORAR LA INTERFAZ DE USUARIO**

- Hacer la interfaz más amigable: Mejorar el diseño de la interfaz gráfica para que sea más intuitiva y fácil de usar por profesionales médicos con distintos niveles de experiencia tecnológica. Agregar elementos visuales claros y destacables para los resultados críticos de salud puede mejorar la experiencia de usuario.
- Incorporar alertas automáticas: Añadir un sistema de notificaciones o alertas cuando los valores de presión arterial predichos superen umbrales peligrosos, para que los médicos puedan actuar preventivamente ante posibles crisis hipertensivas.
- Incluir opciones de personalización: Permitir a los médicos ajustar algunos parámetros según el perfil del paciente, como las fechas de las predicciones, los factores de riesgo a tomar en cuenta, o generar reportes personalizados.

### **4. MONITOREO CONTINUO Y ACTUALIZACIÓN DEL MODELO**

- Actualizar el modelo con nuevos datos: Establecer un proceso de actualización automática del modelo a medida que se recopilan más datos de pacientes. El aprendizaje continuo mejorará la precisión con el tiempo, especialmente para pacientes con cambios en su estado de salud o hábitos de vida.
- Implementar monitoreo en tiempo real: Permitir la integración del prototipo con dispositivos portátiles o wearables (como relojes inteligentes que monitorean la presión arterial), lo que permitiría al prototipo hacer predicciones en tiempo real y proveer un monitoreo continuo.

### **5. SEGURIDAD Y PROTECCIÓN DE DATOS**

- Asegurar la protección de los datos del paciente: Dado que se está manejando información médica sensible, es esencial implementar estrictos protocolos de seguridad de la información (cifrado de datos, autenticación multifactorial, etc.) para cumplir con las normativas de privacidad.
- Auditorías y logs: Registrar todas las interacciones con el prototipo para asegurar que los datos de los pacientes sean tratados correctamente y evitar manipulaciones no autorizadas.

### **6. REALIZAR PRUEBAS CLÍNICAS**

- Validación en un entorno clínico real: Una vez que el prototipo esté completamente desarrollado, es fundamental realizar pruebas en un entorno clínico real con pacientes, médicos y otros



profesionales de la salud. Esto no solo ayudará a refinar la precisión del modelo, sino también a obtener retroalimentación valiosa sobre el uso práctico de la herramienta.

- Colaborar con profesionales de salud: Trabajar junto a médicos especialistas en hipertensión y cardiólogos para ajustar el prototipo y asegurarse de que las predicciones y recomendaciones generadas sean clínicamente útiles y aplicables.

## **7. ESCALABILIDAD DEL SISTEMA**

- Optimizar el rendimiento del sistema: A medida que el prototipo crezca en términos de número de usuarios y datos procesados, es recomendable asegurar que el sistema sea escalable. Evaluar la posibilidad de migrar el sistema a una infraestructura en la nube para mejorar su capacidad de procesamiento y almacenamiento.
- Adaptar el prototipo para diferentes plataformas: Desarrollar versiones móviles o web del prototipo, lo que permitirá una mayor accesibilidad para los médicos y pacientes desde distintos dispositivos.

## **8. DOCUMENTACIÓN Y FORMACIÓN**

- Proveer documentación detallada: Asegurarse de que el prototipo esté bien documentado para facilitar su implementación y uso. Esto incluye tanto la documentación técnica para los desarrolladores como manuales de usuario para los médicos.
- Capacitación para los usuarios: Organizar sesiones de formación para médicos y otros profesionales de la salud que utilicen el prototipo, asegurando que comprendan cómo interpretar las predicciones y tomar decisiones adecuadas basadas en ellas.

## **BIBLIGRAFIA:**

### **1. MYSQL-CONNECTOR-PYTHON (MYSQL CONNECTOR)**

Oracle Corporation. (2024). MySQL Connector/Python Developer Guide (Version 8.0). Oracle Corporation. <https://dev.mysql.com/doc/connector-python/en/>

### **2. NUMPY**

Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., ... & Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>

### **3. SCIKIT-LEARN (METRICS: R2\_SCORE AND LINEARREGRESSION)**

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825-2830. <https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>



## **ANEXOS:**

**Anexo “a” - Cronograma.**

**Anexo “b” - Matriz de congruencia.**

## Anexo “b”

### MATRIZ DE CONGRUENCIA

ASPECTO	DESCRIPCIÓN
Capítulo I: Especificación del proyecto	
a. Situación actual	<p>Las normas de salud exigen al médico, que registre los datos de los signos vitales del paciente en el expediente, cada que requiera consulta médica. Incluye la TA.</p> <p>Para consultar el histórico de TA del paciente, debe revisar todo el expediente.</p> <p>No tiene capacidad para predecir valores futuros.</p>
i. Antecedentes	<p>La hipertensión arterial (HTA) es una condición médica crónica en la que la presión de la sangre en las arterias se eleva de manera persistente. Esto obliga al corazón a trabajar más de lo normal para bombear sangre a través de los vasos sanguíneos.</p>
ii. Descripción del problema	<p>En el salvador, existe un porcentaje de pacientes hipertensos, que se debe tomar en consideración, puesto que conocemos que es un factor que induce a otras dolencias que pueden dar como resultado, la muerte del paciente o en todo caso, calidad de vida, deficiente.</p> <p>Se conoce, que el medico toma como referencia para el tratamiento del paciente, su historial de valores de tensión, así como el ultimo valor obtenido. Incluyendo los factores de riesgo, como:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Diabetes,</li><li>• Alcoholismo,</li><li>• Tabaquismo,</li><li>• Y otros.</li></ul>
iii. Planteamiento del problema	<p>La evolución de la HTA, puede presentarse en un rango de 10 a 20 años, y el médico debe ser muy minucioso para detectarla.</p> <p>Puesto que puede presentar tendencia a la HTA, aun cuando sus valores se encuentren dentro del rango normal para su sexo y edad; puede darse un tendencia anormal que conduzca a la HTA, situación que el médico no puede apreciar a simple vista.</p>
b. Tema	<p>Desarrollo de un prototipo de alerta temprana en pacientes hipertensos aplicando inteligencia artificial.</p>

c. Sistema de objetivos

**OBJETIVO GENERAL:**

Desarrollar un prototipo que permita predecir valores futuros de presión arterial en pacientes con base en su historial médico.  
Utilizando IA

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

Entrenar un modelo de aprendizaje automático para predecir la presión arterial.

Evaluar el rendimiento del modelo de predicción.

Desarrollar una interfaz de usuario para interactuar con el prototipo.  
(IDE básico)

d. Alcances

La solución es mono usuario.

Correrá en servidor local.

Recibe datos generales del paciente.

Recibe datos de TA del paciente.

Recibe datos de factores de riesgo del paciente.

Presenta un grafico de tendencias.

Presenta la predicción de un valor futuro de TA.

e. Justificación	<p>La hipertensión, es conocida en el mundo de la medicina como el “asesino silencioso”.</p> <p>Existen estudios que demuestran, la evolución de la hipertensión arterial, antes de revelar los primeros síntomas, cuya evolución puede estar en un rango de 10 a 20 años.</p> <p>La evolución de la HTA, depende de muchos factores propios de cada individuo y puede presentar síntomas tempranos tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dolores de cabeza intensos.</li> <li>• Fatiga o confusión.</li> <li>• Problemas de visión.</li> <li>• Dolor en el pecho.</li> <li>• Dificultad para respirar.</li> <li>• Latidos cardíacos irregulares.</li> <li>• Sangre en la orina.</li> </ul> <p>Estos síntomas suelen asociarse con otras patologías, razón por la cual el paciente suele descuidar la tensión arterial.</p>
f. Cronograma de actividades	Organización de las actividades a realizar.
g. Presupuesto	Capital y recursos invertidos para el desarrollo de la solución.

Capítulo II:  
Análisis y diseño de la  
propuesta de solución

a. Metodología de trabajo	<p>La solución recopila los datos necesarios, relacionados con la TA del paciente.</p> <p>Los procesa para encontrar un valor futuro de TA.</p>
---------------------------	---

b. Descripción de la propuesta de solución	<p>Se ha mencionado, que la Hipertensión Arterial, también se le conoce como “El asesino silencioso”.</p> <p>Esto, debido a los efectos en la salud del paciente, cuya evolución está en rango de 10 a 20 años, antes de manifestar los primeros síntomas.</p> <p>La solución está diseñada, para recibir los valores de TA (Sístole y Díastole), de un paciente x, así mismo recibirá los factores de riesgo que sufre todo paciente determinados en rango de 0 a 3 (cero a tres)</p> <p>Considerando el historial de los últimos 10 valores de TA, más los valores de los factores de riesgo del paciente, la solución tendrá la capacidad de calcular y predecir valores futuros de TA.</p>
c. Descripción de la tecnología a utilizar	<p><b>FRONT END</b></p> <p>HTML, CSS, PHP, JavaScript.</p> <p>La solución está diseñada para correr en entorno web</p> <p><b>BACK END</b></p> <p>Las librerías de IA responsables de realizar los cálculos de predicción y evaluación de los resultados corren en Python</p> <p><b>BASE DE DATOS</b></p> <p>MariaDB</p>
d. Evaluación de las tecnologías disponibles	<p>Existen lenguajes como R ó C++ que pueden utilizarse para desarrollar soluciones enfocadas en IA, también se considera Python, muy eficiente para el desarrollo de soluciones basadas en IA.</p> <p>Existen gestores de bases de datos muy eficientes como SQL Server, Firebase y Amazon Aurora.</p> <p>También existe MariaDB, que resulta muy eficiente tanto para gestionar bases de datos remotas como locales.</p>
e. Diagrama arquitectónico de la solución	Diagrama de la estructura de la solución.
f. Descripción de los componentes de la solución	La solución es modular, detalle de la función de cada módulo.
Capítulo III: Estrategia de implementación de propuesta de solución	
a. Estrategia de implementación (producto nuevo)	Detalle de la estrategia para preparar los equipos para la instalación de la solución.



b. Presupuesto de implementación	<p>Detalle de los costos de implementación de la solución.</p> <p>Tómese en cuenta que el costo de implementación, no necesariamente refleja el valor de la inversión por parte del cliente.</p>
c. Análisis de resultados	<p>Se ha desarrollado un prototipo de solución de alertas tempranas en pacientes hipertensos.</p> <p>La aplicación es capaz de predecir el valor futuro en la tensión arterial de un paciente X.</p> <p>Es necesario considerar que la tensión arterial evoluciona acorde a ciertos factores que pueden o no considerarse en la lógica de la aplicación, así como otros factores que son exclusivos del conocimiento del médico.</p> <p>La solución es para uso exclusivo de medios generales, y corre en un servidor Apache local.</p>
Conclusiones	<p>Ha significado una herramienta de alto valor para el control y diagnóstico de la hipertensión.</p> <p>Si se considera la evolución de esta enfermedad, la cual presenta patrones que pueden ser omitidos por algunos médicos, debido a los rangos considerados normales y que aun dentro de los rangos normales puede existir anomalías que revelen el riesgo de padecer HTA.</p> <p>Según el usuario experto, que al observa un paciente durante una semana, tomando sus valores de TA, a la misma hora y bajo las mismas condiciones de riesgo, si este presenta valores anormales, aun dentro de los rangos normales para su edad y sexo, se entiende que tiene un alto riesgo de hipertensión incluso se puede considerar que ya es hipertenso.</p> <p>La presente solución, representa una herramienta de alto valor, para observar los datos de TA de un paciente presentados en un informe más eficiente.</p> <p>Dado que en caso de no estar presente la solución, es necesario consultar el expediente físico para comparar dichos valores, cosa que puede resultar trabajosa en algunos casos.</p>

Recomendaciones	Mejorar la calidad y cantidad de los datos Optimización de los modelos de IA Mejorar la interfaz de usuario Monitoreo continuo y actualización del modelo Seguridad y protección de datos Realizar pruebas clínicas Escalabilidad del sistema Documentación y formación
Bibliografía	1. mysql-connector-python (MySQL Connector) Oracle Corporation. (2024). MySQL Connector/Python Developer Guide (Version 8.0). Oracle Corporation. <a href="https://dev.mysql.com/doc/connector-python/en/">https://dev.mysql.com/doc/connector-python/en/</a> 2. NumPy Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., ... & Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. <i>Nature</i> , 585(7825), 357–362. <a href="https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2">https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2</a> 3. Scikit-learn (Metrics: r2_score and LinearRegression) Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. <i>Journal of Machine Learning Research</i> , 12, 2825-2830. <a href="https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html">https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html</a>
Anexos	Anexo a - Cronograma Anexo b - Matriz de congruencia

Anexo “a” - Cronograma

AÑO 2024	JULIO	AOGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
DURACION	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4	FASE 5
2 Semanas	Recopilacion de datos				
	Limpieza de datos				
3 Semanas		Seleccion y entrenamiento			
		Optimizacion de hiperparametros			
2 Semanas			Evaluacion de rendimiento		
			Comparacion de rendimiento con otro modelo existente		
2 Semanas				Desarrollo de interfaz	
1 Semana					Test del prototipo
					Validacion de prototipo