



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DESARROLLO DE UN SISTEMA EMR CON INTEGRACIÓN DE IA PARA OPTIMIZAR EL
CONTROL DE PACIENTES CON TUBERCULOSIS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN BIOMÉDICA

PRESENTADO POR:

DORIS ABIGAIL GABARRETE CARDONA 11741127

ASESOR METODOLÓGICO:

MANUEL GAMERO

CAMPUS SAN PEDRO SULA; ABRIL, 2023

AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS DE GRADO.

Señores

CENTRO DE RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACION (CRAI)
San Pedro Sula, Cortés

Estimados Señores:

La presentación del documento de tesis forma parte de los requerimientos y procesos establecidos de graduación para alumnos de pregrado de UNITEC. Yo, Doris Abigail Gabarrete Cardona, de San Pedro Sula, autor del trabajo de grado titulado: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE REGISTRO ELECTRÓNICO CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL CONTROL Y VIGILANCIA DE PACIENTES CON TUBERCULOSIS, presentado y aprobado en el año 2023, como requisito para optar al título de Profesional de Ingeniero en Biomédica, autorizo a:

Las Bibliotecas de los Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), para que, con fines académicos, pueda libremente registrar, copiar y usar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en las salas de estudio de la biblioteca y la página Web de la universidad.

Permita la consulta y la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en el artículo 19 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de los principales autores.

En fe de lo cual, se suscribe la presente acta en la ciudad de San Pedro Sula a los 28 días del mes de abril de dos mil veintitrés.

Abril de 2023



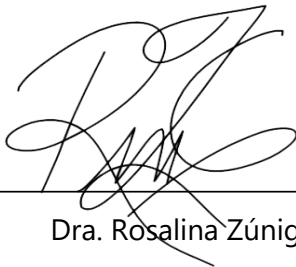
Doris Abigail Gabarrete Cardona
11741127

HOJA DE FIRMAS

Los abajo firmantes damos fe, en nuestra posición de miembro de Terna, Asesor y/o jefe Académico y en el marco de nuestras responsabilidades adquiridas, que el presente documento cumple con los lineamientos exigidos por la Facultad de Ingeniería y los requerimientos académicos que la Universidad dispone dentro de los procesos de graduación.



Ing. Manuel Gamero
Asesor metodológico



Dra. Rosalina Zúñiga
Miembro de terna



Lic. Walter Fuentes
Miembro de terna



Ing. Reyna Valle
Jefe Académico de Ingeniería en Biomédica

DEDICATORIA

Le dedico mi proyecto a Dios, quien me ha guiado siempre por el camino indicado.

A mis padres, Carlos Gabarrete y Doris Cardona, quienes han sido mi pilar durante toda mi vida, brindándome amor, comprensión y motivación en todo momento.

A mí misma como estudiante, por nunca rendirme y esforzarme hasta el final.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi profunda gratitud a Dios por guiarme, bendecirme y mostrarme su misericordia en mi camino hacia el éxito y la realización personal. Agradezco eternamente a mis padres, Carlos Gabarrete y Doris Cardona, por su amor, apoyo incondicional y valiosos consejos de nunca rendirme y seguir adelante sin importar las adversidades que se presenten en el camino. Ustedes fueron mi principal motivación, mi motor y mi fuerza para llevar a cabo cada uno de mis logros. Gracias por confiar en mí, incluso cuando yo misma no lo hacía.

A mis hermanos, Monserrat y Emanuel Gabarrete, por ser parte fundamental en mi vida. A mi abuela, María Rivera, por estar siempre pendiente de mi salud y mantenerme en sus oraciones. A mi tía, Verónica Cardona, por estar siempre dispuesta a escucharme y alentarme en cada decisión que he tomado. A Ana Orellana por su paciencia y sus cuidados.

A Eduardo Díaz, quien ha estado presente cuando más lo he necesitado, alentándome y demostrándome que soy capaz de lograr muchas cosas. A mis amigos, quienes han sido una gran fuente de apoyo y consejos durante todo este proceso. A la dra. Bessy Garmendia y a Eduardo Borjas por su ayuda durante la etapa de mi proyecto de investigación. A Lesbia García y su familia que me cuidaron y me brindaron su cariño durante mi etapa universitaria.

Finalmente, quiero agradecer a mi fiel compañero, Maru, quien ha estado conmigo en todas las noches de desvelo, brindándome paz y apoyo emocional. Su simple presencia a mi lado ha sido suficiente para no sentirme sola.

Gracias a todos por ser parte de mi vida y por ayudarme a ser quien soy hoy en día.

RESUMEN

La tuberculosis (TB) es una enfermedad infecciosa que ha representado una amenaza para la salud pública, principalmente en países de desarrollo como Honduras, y la adherencia al tratamiento suele ser complicado para los pacientes debido a su largo plazo. Los sistemas de registros médicos electrónicos (EMR), la inteligencia artificial (IA) y sus ramas se han convertido en herramientas imprescindibles en el campo de la medicina para la toma de decisiones en diagnósticos, tratamientos y gestiones clínicas. En este sentido, se empleó la metodología en V para diseñar un EMR con capacidades analíticas de IA, con el objetivo de permitir a los profesionales de la salud llevar una gestión óptima de los pacientes con TB durante el tratamiento. La investigación tuvo un enfoque mixto con un diseño preexperimental y un alcance descriptivo. Durante la investigación, se identificó que la papelería ha sido la principal fuente de registros médicos en los centros de salud de la región de San Pedro Sula, Honduras. Además, la falta de infraestructura tecnológica en los centros de salud y habilidades informáticas deficientes por parte del personal de salud han sido barreras para la integración de herramientas digitales. El sistema ha sido desarrollado con una interfaz intuitiva y evaluado con datos de pacientes con TB, mostrando resultados favorables en el registro de pacientes. La implementación de técnicas de IA, como el aprendizaje automático, analizaron los datos registrados, visualizando patrones y tendencias de síntomas presentados durante el tratamiento. Aunque el código implementado no logró realizar predicciones de evolución, su capacidad para analizar la información disponible es prometedora para futuras investigaciones de TB. Por ello, se ha sugerido identificar posibles mejoras que se puedan realizar al EMR, incluyendo la incorporación de nuevas funcionalidades de IA y pruebas más rigurosas para evaluar la efectividad del sistema en los centros de salud.

Palabras claves: EMR, inteligencia artificial, tuberculosis, informática biomédica, salud pública.

ABSTRACT

Tuberculosis (TB) is an infectious disease that has represented a threat to public health, mainly in developing countries such as Honduras, and adherence to treatment is often complicated for patients due to its long duration. Electronic medical record (EMR) systems, artificial intelligence (AI) and its branches have become essential tools in the medical field for decision making in diagnosis, treatment, and clinical management. In this sense, the V methodology was used to design an EMR with AI analytical capabilities, with the aim of enabling health professionals to optimally manage TB patients during treatment. The research had a mixed approach with a pre-experimental design and descriptive scope. During the research, it was identified that paperwork has been the main source of medical records in health centers in the region of San Pedro Sula, Honduras. In addition, the lack of technological infrastructure in the health centers and poor computer skills on the part of health personnel have been barriers to the integration of digital tools. The system has been developed with an intuitive interface and evaluated with TB patient data, showing favorable results in patient registration. The implementation of AI techniques, such as machine learning, analyzed the recorded data, visualizing patterns and trends of symptoms presented during treatment. Although the implemented code failed to perform evolution predictions, its ability to analyze the available information is promising for future TB research. Therefore, it has been suggested to identify possible improvements that can be made to the EMR, including the incorporation of new AI functionalities and more rigorous testing to evaluate the effectiveness of the system in health centers.

Keywords: EMR, artificial intelligence, tuberculosis, health informatics, public health.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	3
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	5
2.3 JUSTIFICACIÓN	6
2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	8
2.4.1 PREGUNTA GENERAL.....	8
2.4.2 PREGUNTAS ESPECÍFICAS.....	8
2.5 OBJETIVOS	9
2.5.1 OBJETIVO GENERAL	9
2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
III. ESTADO DEL ARTE.....	10
3.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	10
3.1.1 MACROENTORNO.....	10
3.1.1.1 TUBERCULOSIS A NIVEL INTERNACIONAL.....	10
3.1.1.2 ADOPCIÓN DE EMR EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.....	13
3.1.2 MICROENTORNO	15
3.1.2.1 TUBERCULOSIS EN HONDURAS.....	15
3.1.2.1 TELEMEDICINA E INFORMÁTICA MÉDICA EN HONDURAS	17
3.2 CONCEPTUALIZACIÓN	18
3.2.1 TUBERCULOSIS	18

3.2.2	TIPOS DE TB.....	19
3.2.3	EMR.....	20
3.2.4	INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	21
3.2.5	RAMAS DE LA IA.....	22
3.2.5.1	ÁRBOLES DE DECISIÓN.....	22
3.2.5.2	DATA MINING.....	23
3.2.5.3	DEEP LEARNING (DL).....	23
3.2.5.4	MACHINE LEARNING (ML).....	24
3.2.5.5	REDES NEURONALES ARTIFICIALES (ANN).....	26
3.3	TEORÍAS DE SUSTENTO.....	27
3.3.1	BASES TEÓRICAS.....	27
3.3.1.1	PRINCIPIOS DE LA INFORMÁTICA MÉDICA.....	27
3.3.1.2	ARQUITECTURA DE SOFTWARE.....	30
3.3.1.3	FUNDAMENTOS DE LA IA.....	33
3.3.1.4	INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL ÁMBITO SANITARIO.....	35
3.3.2	METODOLOGÍAS APLICADAS POR OTROS INVESTIGADORES.....	37
3.3.2.1	SISTEMA DE CÓDIGO ABIERTO Y TECNOLOGÍAS DE ESCANEEO.....	37
3.3.2.2	GENERACIÓN DE DATOS SINTÉTICOS PARA EL ENTRENAMIENTO DE ML.....	38
3.3.2.3	MONITOREO DE CÓDIGO GEOGRÁFICO Y ANÁLISIS DE INCIDENCIA.....	40
3.4	MARCO LEGAL.....	41
IV.	METODOLOGÍA.....	45
4.1	CONGRUENCIA METODOLÓGICA.....	45
4.2	ENFOQUE.....	45

4.3	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	46
4.3.1	VARIABLES DEPENDIENTES.....	46
4.3.2	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	47
4.3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	47
4.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS	50
4.4.1	SELECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	50
4.4.2	COMPUTADORA.....	50
4.4.3	GENEXUS.....	51
4.4.4	MICROSOFT VISUAL BASIC.....	51
4.4.5	SERVIDOR DE BASE DE DATOS SQL (SSMS).....	51
4.4.6	PYTHON	52
4.4.7	MICROSOFT FORMS	52
4.4.8	MINITAB.....	53
4.5	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	53
4.6	METODOLOGÍA DE ESTUDIO	55
4.6.1	REVISIÓN DOCUMENTAL RETROSPECTIVA.....	55
4.6.2	RECOLECCIÓN DE DATOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS.....	57
4.6.3	DESARROLLO DE SOFTWARE: MODELO EN V.....	57
4.6.3.1	REQUISITOS DEL SISTEMA	58
4.6.3.2	ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	60
4.6.3.3	DISEÑO DEL SISTEMA: DESARROLLO DE MÓDULOS Y COMPONENTES	61
4.6.3.4	DISEÑO DEL SISTEMA: INTERFAZ Y PROTOTIPO.....	61
4.6.3.5	IMPLEMENTACIÓN DE IA	62

4.6.3.6	EJECUCIÓN DE PRUEBAS	62
4.6.3.7	REGISTRO DE DATOS	63
4.6.3.8	VALIDACIÓN DEL MODELO IA	63
4.7	METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN	64
4.8	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	65
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	66
5.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	66
5.1.1	ANÁLISIS DE LAS BASES DE DATOS DE PACIENTES CON TB	66
5.1.2	RESULTADOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS.....	73
5.1.2.1	ANÁLISIS DE DATOS CUALITATIVOS.....	73
5.1.2.1	ANÁLISIS DE DATOS CUANTITATIVOS.....	79
5.2	DESARROLLO DEL SISTEMA EMR CON IA.....	86
5.2.1	ARQUITECTURA DEL SISTEMA: NIVEL BASE.....	86
5.2.2	DESARROLLO DE COMPONENTES	87
5.2.3	INTERFAZ GRÁFICA Y PROTOTIPADO.....	90
5.2.4	CODIFICACIÓN EN PYTHON.....	92
5.2.5	PRUEBAS DEL SISTEMA	94
5.2.6	REGISTRO DE DATOS	99
5.2.7	VALIDACIÓN DEL MODELO	100
VI.	CONCLUSIONES	103
VII.	RECOMENDACIONES.....	105
VIII.	APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN	106
IX.	EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL/TRABAJO FUTURO	107

X. BIBLIOGRAFÍA.....	108
XI. ANEXOS.....	121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tendencia mundial de casos incidentes de MDR 2015–2021	12
Ilustración 2. Árbol de decisión	22
Ilustración 3. Arquitectura de un modelo de aprendizaje profundo.....	24
Ilustración 4. Flujo de trabajo de aprendizaje supervisado.....	25
Ilustración 5. Diferencias entre el ML supervisado y no supervisado	25
Ilustración 6. ANN.....	26
Ilustración 7. Elementos del método MVC.....	32
Ilustración 8. Arquitectura de microservicios	32
Ilustración 9. Diseño de estudio para la generación de datos.....	38
Ilustración 10. Flujo de trabajo de ML supervisado y no supervisado.....	39
Ilustración 11. Centros de notificación de TB en Nigeria entre los años 2017 y 2020	40
Ilustración 12. Clasificación de variables	46
Ilustración 13. Modelo en V	58
Ilustración 14. Funcionamiento básico del sistema.....	59
Ilustración 15. Niveles para el diseño del sistema EMR.....	60
Ilustración 16. Distribución de casos TB por género	68
Ilustración 17. Resultados de VIH según tipo de TB.....	69
Ilustración 18. Poblaciones de riesgo.....	71

Ilustración 19. Condiciones de egreso de pacientes según TB.....	73
Ilustración 20. Registros médicos utilizados por el personal de salud.....	75
Ilustración 21. Actualización frecuente de la información médica del paciente por parte del profesional de salud.....	76
Ilustración 22. Frecuencia con la que se presentan problemas en el acceso a los registros médicos	80
Ilustración 23. Nivel de comodidad del personal de salud en el uso de herramientas tecnológicas	81
Ilustración 24. Nivel de conocimiento tecnológico de los profesionales de salud.....	82
Ilustración 25. Disposición para trabajar con un sistema EMR con IA.....	83
Ilustración 26. Nivel de confianza en el sistema EMR con IA.....	84
Ilustración 27. Transacciones.....	87
Ilustración 28. Estructura de la tabla de pacientes.....	87
Ilustración 29. Workpanels	88
Ilustración 30. Menú del sistema.....	89
Ilustración 31. Reporte general de pacientes.....	89
Ilustración 32. Interfaz de la tabla de registro de pacientes.....	90
Ilustración 33. Selección de lenguaje y servidor	91
Ilustración 34. Compilación del programa	91
Ilustración 35. Inicio de sesión en el prototipo del sistema.....	92
Ilustración 36. Diagrama de flujo del código	93
Ilustración 37. Tabla para registro de pacientes.....	94
Ilustración 38. Identidad del paciente.....	95
Ilustración 39. Registro de paciente.....	95

Ilustración 40. Registro de historial médico del paciente.....	96
Ilustración 41. Trabajar con historial de paciente.....	96
Ilustración 42. Historial médico de paciente.....	97
Ilustración 43. Diagnóstico, Tratamiento y Evolución del paciente	98
Ilustración 44. Reporte de un paciente.....	99
Ilustración 45. Registro de la muestra calculada de pacientes.....	100
Ilustración 46. Evolución del paciente de acuerdo con las dosis registradas en 5 meses.....	101
Ilustración 47. Frecuencia de síntomas.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de participantes en el foro por país	13
Tabla 2. Marco legal aplicable.....	41
Tabla 3. Matriz metodológica.....	48
Tabla 4. Operacionalización de variables.....	49
Tabla 5. Extracción de datos	56
Tabla 6. Cronograma de actividades	65
Tabla 7. Casos de TB clasificados por género	67
Tabla 8. VIH por tipo de TB.....	69
Tabla 9. Población de riesgo.....	70
Tabla 10. Condiciones de egreso de pacientes según TB.....	72
Tabla 11. Profesionales de la salud que han trabajado con EMR.....	74
Tabla 12. Registros médicos utilizados.....	74

Tabla 13. Actualización de información del paciente por parte del profesional de salud	75
Tabla 14. Problemas identificados en los registros médicos del paciente.....	77
Tabla 15. Personal de la salud con acceso a computadoras	77
Tabla 16. Acceso a internet en los centros de salud.....	78
Tabla 17. Infraestructura tecnológica	78
Tabla 18. Percepción del personal de salud sobre el EMR con IA para pacientes con TB	78
Tabla 19. Factores que influyeron en aceptar el posible uso de un sistema EMR con IA	79
Tabla 20. Análisis de variables para la implementación de un sistema EMR con IA	85
Tabla 22. Matriz bibliográfica del estado del arte	125

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para calcular población finita.....	53
Ecuación 2. Tamaño muestral.....	54

SIGLAS

ANN	Artificial Neural Network
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CIE	Clasificación Internacional de Enfermedades
DICOM	Digital Imaging and Communication in Medicine
DM	Diabetes Mellitus
DOT	Direct Observed Treatment
DR TB	Drug-Resistant Tuberculosis
EHR	Electronic Health Record
EMR	Electronic Medical Record
HL7	Health Level Seven
HTA	Hipertensión arterial
IA	Inteligencia artificial
IHSS	Instituto Hondureño de Seguridad Social
LTBI	Latent Tuberculosis Infection
MERM	Medication Event Reminder-Monitor
MILO	Machine Intelligence Learning Optimizer
ML	Machine Learning
NLTK	Natural Language Toolkit
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud

RELAC SIS	Red Latinoamericana y del Caribe para el Fortalecimiento de los Sistema de Información de Salud
SESAL	Secretaría de Salud
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SSMS	SQL Server Management Studio
TB	Tuberculosis
TNF	Tumor Necrosis Factor
XDR TB	Extensively Drug-Resistant Tuberculosis

I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de la información han tenido un reciente auge en la prestación de servicios de atención médica, donde el uso de sistemas electrónicos para el manejo de datos clínicos se ha vuelto cada vez más común y necesario. En este contexto, los sistemas de EMR y aplicaciones de apoyo, como el uso de la inteligencia artificial para el diagnóstico predictivo y el control del tratamiento, se han convertido en instrumentos imprescindibles para los profesionales de la salud, porque les permiten acceder de manera rápida y segura a la información de los pacientes.

Sin embargo, en países como Honduras existen ciertas limitaciones para la integración de herramientas digitales, como la falta de infraestructura de tecnología en los centros de salud y de recursos económicos, y las deficientes habilidades informáticas de los profesionales de salud, lo que podría ser desfavorable para la transición digital. Además, los registros físicos en papel siguen siendo la fuente principal, lo que genera una inhibición para el diagnóstico y el tratamiento, porque se presenta un elevado riesgo de errores u omisiones para llevar el correcto control de pacientes y enfermedades, tales como la tuberculosis (TB).

La TB es una enfermedad infecciosa que afecta principalmente los pulmones y representa una amenaza sanitaria, especialmente en países en vías de desarrollo. La TB puede ser tratada y curada, pero requiere un tratamiento a largo plazo y un seguimiento médico constante. Sin embargo, la adherencia al tratamiento de TB puede resultar en una carga significativa para los pacientes y los profesionales de la salud.

El proyecto de investigación se enfocará en la situación de TB y en las limitaciones actuales que presentan los centros de salud de la región de San Pedro Sula, Honduras. En este sentido, se desarrollará un sistema de registro médico electrónico (EMR) con capacidades analíticas de inteligencia artificial (IA) para mejorar la gestión de pacientes con TB. Esta solución tecnológica permitirá a los profesionales de la salud mejorar el seguimiento y control de pacientes con TB, y en última instancia, mejorar la atención médica proporcionada.

El documento constará de once capítulos. En el capítulo II se abordará el problema de TB en Honduras. En el capítulo III se revisará la literatura y los trabajos previos relacionados con TB, el manejo de EMR y de IA en la atención médica. En el capítulo IV se describirán las metodologías aplicadas para llevar a cabo el proyecto. En el capítulo V se presentarán los resultados del proyecto, incluyendo el análisis de los datos recolectados. En los capítulos VI y VII se presentarán las conclusiones, las limitaciones, fortalezas y las recomendaciones para futuras investigaciones. En los capítulos VIII y IX se discutirá la aplicabilidad y mejora de la solución tecnológica en otros contextos. Finalmente, los capítulos X y XI incluirán la lista de referencias bibliográficas y otros materiales relevantes durante el proyecto.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se buscará identificar el problema de tuberculosis (TB) en Honduras, se establecerán los objetivos y las preguntas de investigación que permitirán abordar de manera efectiva el problema de la TB. Además, se justificará la necesidad de investigar este problema, explicando su importancia y las razones por las cuales se considera necesario abordarlo en el contexto de Honduras. Todo ello con el fin de sentar las bases para el desarrollo de una investigación rigurosa y efectiva en la lucha contra la TB en Honduras.

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Desde hace unas décadas la industria médica ha tenido una transformación tecnológica debido al auge de la informática médica; además, la crisis del coronavirus ha destacado la importancia de una atención médica electrónica ágil, completa y precisa, así como la necesidad de un enfoque inteligente en la atención sanitaria que involucre diversos datos médicos y fisiológicos para diagnosticar enfermedades (Alshehri y Muhammad, 2021). De esa forma, el empleo de la informática médica en las políticas de protección y los sistemas de monitoreo pueden ayudar a identificar posibles afecciones de salud de manera temprana y permitir la planificación de medidas adecuadas, como la simultánea supervisión de los tratamientos y la preparación de nuevas evaluaciones.

Un claro ejemplo son los sistemas de registro médico electrónicos (EMR, por sus siglas en inglés), que han progresado hasta el punto de mejorar la integridad y la puntualidad de la vigilancia de las enfermedades en los pacientes, con lo que se ha logrado recopilar cada vez más información para los programas de salud. Lee y Kim (2021) indicaron que “con el desarrollo de la IA se destaca el uso de datos médicos a gran escala y la necesidad de tratamientos personalizados e individualizados. Por lo tanto, es fundamental un mayor uso de la IA para recopilar datos de EMR” (p. 282). Esto indicaría que la extracción de los datos es prometedora para el análisis predictivo del diagnóstico y el tratamiento de enfermedades específicas, entre ellas, la TB.

Por su parte, Robbiati et al. (2022) manifestaron que los programas de TB deben promover el uso de plataformas digitales, pues estos pueden fortalecer la vigilancia y el seguimiento, la gestión de programas y la atención de los pacientes en los establecimientos de salud de Luanda, Angola. Para ello, desarrollaron una EMR con el propósito de mejorar la gestión de los pacientes con TB, por lo que se analizaron los flujos de pacientes con TB y recolectaron los datos establecidos por los centros de salud. Asimismo, entrevistaron a 40 empleados de dos centros de salud de Luanda para incorporar sus sugerencias en el desarrollo del sistema, de modo que la EMR pudiera ser ampliada a otros servicios de TB de la red de Angola, para fortalecer la vigilancia nacional de TB.

Igualmente, Manyazewal et al. (2022) diseñaron un ensayo controlado aleatorio híbrido en 10 centros de atención médica en Etiopía para evaluar si una terapia autoadministrada observada por un monitor de recordatorio de eventos de medicación digital (MERM) es efectiva para pacientes con TB en comparación con una terapia observada directamente (DOT) en un centro de atención médica de Etiopía. El ensayo se realizó en pacientes mayores de 18 años con TB pulmonar sensible a medicamentos confirmada bacteriológicamente; así, la DOT observada con el MERM se asoció con una calidad de vida, con una mejor salud y con costos más bajos en comparación con el DOT estándar. Esto demostró que las tecnologías de salud digital centradas en el paciente podrían tener el potencial para superar las barreras estructurales de la terapia antituberculosa.

Por otra parte, Évora et al. (2017) desarrollaron modelos de redes neuronales artificiales (ANN, por sus siglas en inglés) para apoyar el diagnóstico de detección de TB farmacorresistente (DR TB) y extensamente farmacorresistente (XDR TB) en el Instituto Estadual Ary Parreiras (IEAP), de la Secretaría de Estado de Río de Janeiro (SES-RJ), y en el Centro de Referencia Hélio Fraga (CRPHF), de la Fundación Oswaldo Cruz de Río de Janeiro (Fiocruz-RJ). Esto, con el fin de disminuir el retraso en el diagnóstico, el tratamiento empírico y aumentar el manejo adecuado de esos pacientes en el sistema de salud. Para el desarrollo del modelo se utilizaron datos clínicos e históricos de los pacientes, con lo que se generaron modelos predictivos con tasas de sensibilidad que alcanzaron hasta el 95,7% y mantuvieron la especificidad en el 86,5%.

De forma similar, Deelder et al. (2022) implementaron Python para el desarrollo de un enfoque de árbol de decisiones personalizado, llamado Treesist-TB, que realiza la predicción de la resistencia a los medicamentos de la TB mediante la extracción y la evaluación de variantes genómicas en múltiples estudios de laboratorio. El algoritmo se aplicó por primera vez a medicamentos de primera línea, donde se identificaron variantes genómicas de codificación de resistencia plausibles con alta capacidad predictiva.

En suma, las investigaciones mencionadas demuestran que una combinación de sistemas digitales para la recopilación de datos médicos con ramas de IA podría mejorar significativamente las prácticas clínicas, la gestión de datos, los flujos de trabajo del sistema de salud y los servicios médicos brindados a pacientes con TB.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La implementación de métodos digitales para fortalecer la vigilancia en pacientes con TB en países como Honduras se ha visto limitada debido a la falta de acceso a información; esto demuestra las deficiencias de infraestructura tecnológica en los centros de salud nacionales y la falta de recursos requeridos para desarrollar e implementar modelos de información (González, 2021). Esto conlleva a un retroceso en los procesos internos en el sistema de salud nacional, pues los registros médicos se deben llevar manualmente y no están exentos de errores humanos, y por eso existe el riesgo de un mal análisis de diagnóstico, lo que afecta al paciente en el control de su tratamiento, debido a la pérdida u omisión de datos.

Aunado a esto, se debe considerar que los médicos atienden una gran cantidad de pacientes diariamente y deben monitorear constantemente que los pacientes con TB asistan a su tratamiento diario. Barros et al. (2021) mencionaron que, para mejorar la adherencia al tratamiento, el personal de salud se centra en la educación de salud a través de charlas donde se informa al paciente sobre la enfermedad y, en casos extremos, se realizan visitas domiciliarias a los pacientes ausentes para que retomen el tratamiento. Así se crean una carga de trabajo y un consumo de tiempo para el personal de atención médica.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La TB sigue siendo un importante desafío de salud pública en Honduras, con una tasa de incidencia estimada de 30/100 000 habitantes en el 2020 (OMS, 2021), y una de las principales barreras para el control de la TB es la interrupción del tratamiento por parte de los pacientes.

Culqui et al. (2012) señalaron que esta es una barrera que se relaciona con el desarrollo de la farmacorresistencia, la diseminación de la infección y los incrementos en los costos; pero también se indica que algunas de las posibles causas del abandono del tratamiento son la larga duración que este implica (de 6 a 24 meses), el alto número de pastillas que el paciente debe tomar diariamente, los efectos secundarios que se llegan a presentar y la desinformación sobre la enfermedad (p. 151). De igual forma, la no adherencia conlleva a consecuencias graves para la salud del paciente, siendo motivo de preocupación para las organizaciones médicas.

El monitoreo y la evaluación tienen que ser regulares y sistemáticos para asegurar la rendición de cuentas. Los procesos de examen conjunto han de incluir la recolección y validación de datos, además de evaluaciones independientes. Han de usar información cuantitativa y cualitativa y contar con la participación de las personas atendidas. Debe introducirse progresivamente el uso de herramientas digitales y definir adecuadamente sistemas que permitan mejorar el rendimiento y el impacto y darles el apoyo necesario. (OMS, 2016, p. 7)

Honduras cuenta con un modelo de atención integral para pacientes con TB a nivel nacional. La Secretaría de Salud de Honduras [SESAL] (2022) adaptó e implementó en el 2017 la estrategia "Fin a la Tuberculosis" en los niveles del sistema de salud pública, incluido el Instituto Hondureño de Seguridad Social (IHSS), con lo que se obtuvieron resultados positivos de tratamiento por encima del 85%. A pesar de que la incidencia de TB ha mejorado, esto sigue siendo un problema silencioso a nivel nacional que no puede ser descuidado. En el 2021 se reportaron 2089 casos de TB a nivel nacional, y para el primer trimestre de 2022 se reportaron más de 400 casos nuevos. El aumento de TB en Honduras fue debido a que "la pandemia de COVID ralentizó considerablemente el progreso en la lucha contra la TB" (Agencia EFE, 2022).

Con respecto al apoyo de herramientas digitales, en una visita a la oficina de coordinación del programa de TB en la región metropolitana de salud en San Pedro Sula, se manifiesta que, a pesar de que se ha llevado un buen control de TB en los últimos años, los centros de salud llevan los registros de los pacientes y medicamentos manualmente, lo que puede conllevar a un riesgo por pérdida de la información, de manera que los datos en los registros de la región podrían ser inexactos. En ese orden de ideas, es necesario incentivar la implementación de programas de registros médicos con el objetivo de incrementar la calidad de servicio a través del acceso rápido de información.

Adicionalmente, la integración de un sistema digital para la recopilación, la extracción, el análisis y el uso de datos serían esenciales para el control eficaz y eficiente de enfermedades como la TB. De esta manera, los profesionales de la salud de los centros de atención médica podrían tener acceso a un informe de datos precisos y de alta calidad para la toma de decisiones de diagnóstico, tratamiento y monitoreo de los pacientes. Además, fortalecer la vigilancia a través de sistemas digitales aseguraría un control y una correcta organización en el sistema público hondureño.

En relación con la problemática expuesta, se debe apuntar al desarrollo de un sistema EMR que facilite el acceso, la recuperación, la búsqueda y la manipulación de datos junto con herramientas inteligentes que puedan realizar un análisis predictivo y un seguimiento del tratamiento de TB. Así, una EMR inteligente en los centros de salud sería utilizada por los profesionales de la salud como un apoyo para el seguimiento remoto de los pacientes con TB.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

2.4.1 PREGUNTA GENERAL

¿Cómo se puede mejorar la gestión del tratamiento en pacientes con TB mediante un sistema de registro médico electrónico con integración de inteligencia artificial?

2.4.2 PREGUNTAS ESPECÍFICAS

1. ¿Cuál es la situación actual del manejo clínico electrónico de pacientes con TB en la región metropolitana de salud en San Pedro Sula, según los datos disponibles?
2. ¿Cuáles son las características o tendencias comunes de la enfermedad de TB en los pacientes registrados con TB de los centros de salud de San Pedro Sula?
3. ¿Qué estrategias se pueden implementar para el seguimiento clínico de pacientes con TB?
4. ¿Cómo el empleo de datos de pacientes con TB puede desarrollar un sistema con capacidades analíticas de AI?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de registro médico electrónico (EMR) con empleo de lenguaje de programación GeneXus y Python con capacidades analíticas de inteligencia artificial para mejorar el seguimiento y control de los pacientes con tuberculosis.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar la situación actual asociada al manejo de registros médicos electrónicos en los centros de salud de la región metropolitana de salud en San Pedro Sula, mediante la recopilación y evaluación de datos relevantes de pacientes con TB.
2. Identificar características y tendencias comunes de la enfermedad de TB a través del análisis de los registros médicos de pacientes con TB del año 2022 provenientes de los centros de salud de la región metropolitana de salud en San Pedro Sula.
3. Establecer una metodología que permita la creación de un sistema EMR con principios de IA orientado hacia el seguimiento y el control clínico de pacientes con TB.
4. Diseñar un sistema con capacidades analíticas de IA que permita el análisis predictivo de la evolución del tratamiento del paciente con TB, empleando los datos obtenidos de la región metropolitana de salud.

III. ESTADO DEL ARTE

En esta sección de la investigación se llevará a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva con el objetivo de proporcionar una base teórica sólida para el proyecto. Se iniciará con un análisis detallado de la situación actual de la tuberculosis y su control, se examinarán los factores que han contribuido a la incidencia de la TB, así como los desafíos asociados con su diagnóstico y tratamiento. Asimismo, se analizarán las características y ventajas de los sistemas EMR y su aplicación en el ámbito de la atención médica, así como el potencial de la IA para mejorar el diagnóstico, tratamiento y gestiones clínicas. Además, se analizarán metodologías aplicadas para implementación de herramientas tecnológicas y de IA en el control de la TB en otros países.

3.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

A continuación, se llevará a cabo un análisis tanto a internacional como nacional de la incidencia de TB y cómo se ha sido controlada, tanto en términos de diagnóstico como tratamiento. También, se darán detalles sobre la implementación de sistemas EMR en América Latina y se profundizará en las aplicaciones de informática médica en el territorio hondureño.

3.1.1 MACROENTORNO

A continuación, se evaluarán los factores externos que influyen en la situación de la enfermedad a nivel internacional. Este análisis permitirá comprender la complejidad de la situación de la tuberculosis y establecer un contexto más amplio para la toma de decisiones en el desarrollo de estrategias y soluciones efectivas para el control y tratamiento de la enfermedad.

3.1.1.1 Tuberculosis a nivel internacional

A pesar de los esfuerzos internacionales, la TB todavía es un problema de salud pública a nivel mundial, y predomina en algunos países en vías de desarrollo, donde existe una alta prevalencia de infecciones por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) o el síndrome de la inmunodeficiencia adquirida (SIDA), y una atención de salud desfavorable con recursos menguantes.

De acuerdo con un informe de la Organización Panamericana de la Salud [OPS] (2022), se reportaron aproximadamente 10 millones de personas con TB a nivel mundial en el 2020, con un estimado de 1,5 millones de muertes, donde 214 000 tenían VIH. Por otro lado, se reportaron alrededor de 291 000 casos de TB solo en el continente americano y 27 000 muertes, las cuales aumentaron por la TB en 3000, en comparación con los datos del 2019; ello, debido a la pandemia por COVID-19. Esto implicó un aumento en la tasa de morbilidad y mortalidad, así como en los costos de los programas de control de la TB en cada país.

En respuesta a la continua carga de TB, se han realizado esfuerzos globales para controlar y eliminar la enfermedad. La Asamblea General de las Naciones Unidas (2015) adoptó los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que incluían el fin de la epidemia de TB como una de sus metas. En el mismo año, la OMS (2015) lanzó la estrategia "End TB", cuyo objetivo fue poner fin a la epidemia de TB para 2035. En suma, esta estrategia establece un enfoque integral para el control de la TB que incluye la identificación y el tratamiento de casos, el desarrollo y el despliegue de nuevas herramientas y tecnologías, y la participación de las comunidades y poblaciones afectadas.

La región de las Américas (Norteamérica, Latinoamérica y el Caribe) fue la primera en cumplir la meta definida para el 2015 por los Objetivos de Desarrollo del Milenio de disminuir en 50 % la mortalidad y la incidencia de la tuberculosis (TB) en comparación con 1990. (Torres-Duque et al., 2018, p. 1)

Además de estos esfuerzos globales, los países individuales también han implementado sus propios programas e iniciativas para controlar la TB. Por ejemplo, en India, el Programa Nacional Revisado de Control de la Tuberculosis (RNTCP) ha logrado reducir la incidencia de la TB y mejorar los resultados del tratamiento (Verma et al., 2013). En China, el Gobierno ha implementado un programa integral de control de la TB que incluye la expansión del acceso a diagnósticos y tratamientos, así como una mayor inversión en investigación y desarrollo (Huang et al., 2019).

De la misma manera, en la última década se han producido importantes avances en el diagnóstico y el tratamiento de la TB; pero, pesar de estos avances, persisten importantes desafíos para su prevención y control. La aparición de cepas de la bacteria MDR ha complicado el tratamiento y el manejo de la enfermedad en los últimos años. Abraham et al. (2020) mencionaron

que se considera una resistencia primaria en las personas que están infectadas por la cepa resistente a los antibióticos de primera línea, pero que no han usado quimioterapia antituberculosa; por otro lado, se le denomina resistencia adquirida si se desarrolla una resistencia debido a la insuficiencia del tratamiento. Asimismo, la resistencia a los antibióticos de TB es el resultado de una mutación de varios genes cromosómicos, la cual altera la interacción requerida entre cada medicamento antituberculoso y su objetivo.

Las cepas de TB resistentes a los medicamentos que surgen en entornos hospitalarios y comunitarios exhiben diferentes niveles de resistencia a los medicamentos, como resistencia a la rifampicina (RR), MDR y resistencia extensa a los medicamentos (XDR). (Singh et al., 2020, p. 1547)

En suma, las consecuencias de una farmacorresistencia son significativas, porque, además de dificultar el tratamiento, también aumentan el riesgo de transmisión a otras personas. Un informe de la OMS (2022) indicó que a nivel mundial hubo alrededor de 450 000 casos incidentes de MDR en 2021, un 3,1% en 2020 (Ilustración 1), y la principal explicación de este aumento es la alta tasa de TB que hubo entre 2020 y 2021, que ocurrió como resultado del impacto de la pandemia por COVID-19. Asimismo, se estimó que ocurrieron 191 000 muertes por una MDR en 2021.

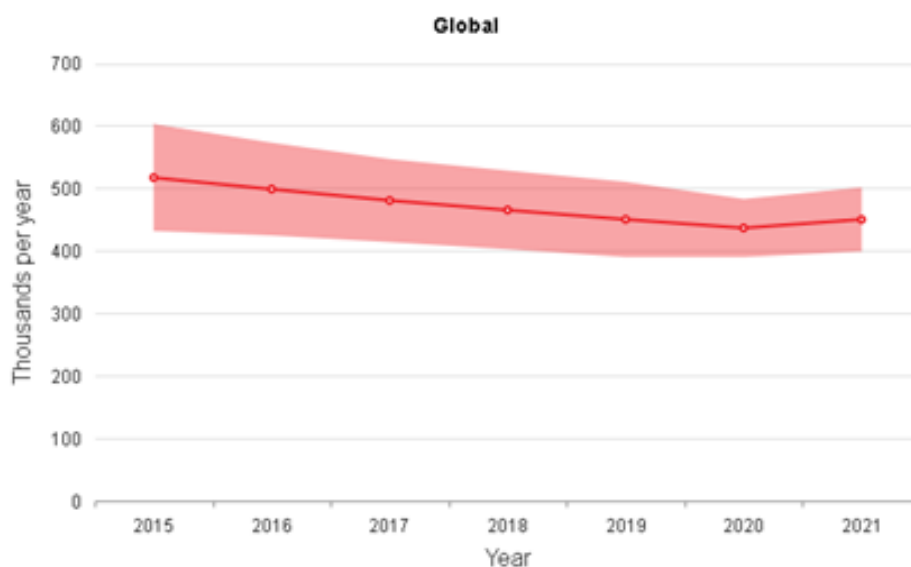


Ilustración 1. Tendencia mundial de casos incidentes de MDR 2015–2021

Fuente: (OMS, 2022)

En consecuencia, para hacer frente a la amenaza de una resistencia, es importante centrarse tanto en la prevención como en el tratamiento, así como asegurarse de que los pacientes reciban un tratamiento adecuado y oportuno, y apoyarlos durante el proceso, donde se incluyen el acceso a la atención y la educación. Esto ayudará a reducir el riesgo de transmisión y garantizará que los pacientes puedan recuperarse de la manera más rápida y efectiva posible.

1.1.1.2 Adopción de EMR en América Latina y el Caribe

Numerosas organizaciones de atención médica se esfuerzan por diseñar e implementar sistemas EMR en los puntos de atención para recopilar, almacenar y mostrar la información del paciente, porque se ha demostrado que estos sistemas pueden reducir errores médicos, aumentar la eficacia de los servicios de atención médica, y reducir los costos en dicha atención. A pesar del alto potencial y del enfoque generalizado en los EMR, especialmente en países en desarrollo, su uso general y su tasa de adopción son comparativamente bajos debido a desafíos como la necesidad de invertir importantes recursos financieros, tener habilidades informáticas y cambiar los estilos de trabajo tradicionales de los médicos (Abdekhoda et al., 2016). Por ejemplo, en “América Latina y el Caribe no existen datos que permitan conocer su grado de adopción y uso” (OPS, 2016, p. 9).

Asimismo, un informe de la OPS (2016) detalló información sobre un foro que fue impulsado por la Red Latinoamericana y del Caribe para el Fortalecimiento de los Sistema de Información de Salud (RELAC SIS), donde un total de 200 invitados de diferentes países del continente americano (Tabla 1) discutieron los procesos, beneficios y riesgos para la integración del sistema EMR.

Tabla 1. Número de participantes en el foro por país

País	No.
Argentina	21
Bolivia	3
Brasil	4
Chile	12
Colombia	29

País	No.
Costa Rica	12
Cuba	2
República Dominicana	3
Ecuador	8
El Salvador	7
Guatemala	9
Honduras	5
México	29
Nicaragua	2
Panamá	7
Paraguay	8
Perú	10
España	1
Estados Unidos	10
Uruguay	6
Venezuela	12

Fuente: (OPS, 2016)

Ante esto, los participantes discutieron estrategias para fomentar la adopción de los sistemas de EMR al enfatizar la importancia de introducirlos en las agendas políticas gubernamentales como políticas prioritarias y demostrar sus beneficios en la equidad, el acceso a la salud y la distribución de recursos. Por otra parte, se resaltó la necesidad de tener un marco regulatorio que facilite la adopción, y se señaló como fundamental establecer regulaciones para el intercambio de información entre los diferentes sistemas de EMR, a fin de construir reglas de intercambio y datos mínimos para compartir bajo mecanismos estandarizados y de conformidad con la regulación aplicable, lo que representa una importante área de oportunidad a nivel sectorial (OPS, 2016).

3.1.2 MICROENTORNO

El siguiente análisis se enfocará en los factores internos que influyen en la situación de la enfermedad de TB a nivel local. Además, se realizará un análisis de la situación de la telemedicina e informática médica en Honduras, evaluando las herramientas y tecnologías disponibles para la gestión de pacientes y la eficacia de su implementación en el contexto local. Este análisis permitirá identificar las barreras y oportunidades para la implementación de soluciones tecnológicas innovadoras en el manejo de la tuberculosis en Honduras.

3.1.2.1 Tuberculosis en Honduras

La TB es un importante problema de salud pública en Honduras, porque se trata de una de las principales causas de muerte y enfermedad en el país, a pesar de ser prevenible y curable. Estrada et al. (2018) indicaron que la incidencia en Honduras sigue siendo alta, debido a una variedad de factores, como la pobreza y la mala nutrición, que dificultan la recuperación de las personas afectadas, lo que a su vez contribuye a la persistencia de la enfermedad en la población.

Otro factor que contribuye a la alta incidencia, según Estrada et al. (2018), es el acceso limitado a servicios de salud de calidad, pues muchas personas en el país viven en áreas rurales, lejos de los centros de salud, y no tienen los medios económicos para viajar a las áreas urbanas para buscar tratamiento; así, recurren a remedios tradicionales ineficaces. Como resultado, muchas personas con TB no son diagnosticadas ni tratadas, lo que no solo prolonga el curso de la enfermedad, sino que también dificulta el control de la propagación de la TB en la comunidad.

Aunado a lo anterior, se debe mencionar que Honduras tiene una alta prevalencia del VIH, y solo entre los años 2020 y 2022 fueron diagnosticadas alrededor de 2500 personas con este, lo que también aumenta el riesgo de TB (Comisionado Nacional de los Derechos Humanos [CONADEH], 2022).

Según los reportes globales de la Organización Mundial de la Salud (OMS), entre el 2014 y el 2017 hubo en Honduras un incremento progresivo de la mortalidad por tuberculosis, la cual pasó de 1,5 % a 1,9 %, 4,8 % y 5,04 % en esos años (2-6). En el 2018, el país reportó 2866 casos de la enfermedad en todas las formas. (Beltrán, 2022, p. 315)

En ese orden, el Gobierno de Honduras, junto con organismos internacionales, está tomando medidas para hacer frente a la epidemia de TB en el país, y uno de los principales esfuerzos es la implementación del Plan Estratégico de Respuesta Nacional de Prevención y Control de Tuberculosis en Honduras, que tiene como objetivo “reducir las desigualdades en salud y mejorar la calidad de vida de la población afectada por TB” (SESAL, 2016). Este programa también brinda apoyo a las personas que viven con TB, donde se incluye el acceso a la terapia antirretroviral para las personas con infección por el VIH y la TB.

En suma, para enfrentar la alta carga de TB en Honduras, el Gobierno y las organizaciones internacionales han estado trabajando para mejorar el acceso al diagnóstico y el tratamiento de la enfermedad. Al respecto, Estrada et al. (2018) presentaron las líneas estratégicas y los alcances en el Plan Nacional de Salud 2021:

- a. Fortalecer el sistema de salud, pues es crucial para terminar con la TB en Honduras. Esto implica aumentar el acceso a servicios de diagnóstico y tratamiento de la TB de calidad, así como mejorar la infraestructura general de atención de la salud. Ello se puede lograr mediante la implementación de políticas y programas que promuevan la equidad en salud y mejoren la capacidad del sistema de atención de la salud para responder a la TB. Además, las inversiones en investigación y desarrollo en salud pueden apoyar el desarrollo de herramientas innovadoras de diagnóstico y tratamiento para reducir la carga de TB en Honduras.
- b. Aumentar la conciencia y la educación pública sobre la TB es esencial para poner fin a la enfermedad en Honduras; esto implica promover la conciencia sobre los síntomas y causas de la TB, así como brindar información sobre cómo reducir el riesgo de transmisión. Ello se puede lograr a través de campañas en los medios de comunicación, programas de educación basados en la comunidad y educación sanitaria en las escuelas. Además, se pueden implementar programas comunitarios para brindar educación y servicios de salud relacionados con la TB, particularmente en poblaciones marginadas y comunidades con altas tasas de incidencia de la enfermedad.

- c. Promover la investigación e innovación es crucial para acabar con la TB en Honduras; esto implica invertir en investigación para comprender mejor las causas subyacentes de la TB y desarrollar diagnósticos, tratamientos y vacunas nuevas y más efectivos. Además, la investigación puede ayudar a identificar los determinantes sociales y económicos de la TB, como la pobreza, la desnutrición y las malas condiciones de vida que contribuyen a la persistencia y la propagación de la enfermedad.
- d. Incluir la participación de las partes interesadas y las comunidades es esencial para poner fin a la TB en Honduras; esto incluye trabajar con las comunidades, organizaciones de la sociedad civil y del sector privado para crear conciencia sobre la TB y promover los servicios relacionados con la TB. Además, es necesario comprometerse con las comunidades para movilizar los recursos y apoyo para los esfuerzos de control y prevención de la TB, a fin de garantizar la sostenibilidad de estos esfuerzos a lo largo del tiempo.
- e. Asegurar el compromiso político y el financiamiento sostenido es esencial; esto incluye aumentar la inversión en programas de control y prevención de la TB, así como fortalecer el compromiso político con el control de la TB a nivel nacional y local. Asimismo, el financiamiento sostenido es fundamental para garantizar la sostenibilidad de los esfuerzos de control y prevención de la TB a lo largo del tiempo.

3.1.2.1 Telemedicina e informática médica en Honduras

En Honduras, la literatura médica ha reportado la práctica de la telemedicina en colaboración con hospitales, organismos no gubernamentales y universidades nacionales y extranjeras durante varios años. Uno de los proyectos piloto de la telemedicina es el "MosquitiaMed", que se lleva a cabo en La Mosquitia, un departamento alejado de las principales ciudades con limitaciones de comunicación y transporte. Así, a través de la plataforma de telemedicina, los médicos de la Cooperativa Mixta de Servicios de Salud (COMSALUD) y la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) están brindando consultas médicas a distancia para mejorar el acceso a la atención médica de calidad en poblaciones que viven en áreas remotas (Díaz, 2020).

De igual manera, otros proyectos destacados por Díaz (2020) son la plataforma digital de expediente electrónico y el sistema de videollamada implementado por Alivio, la Fundación Lucas para la Salud y la Universidad Tecnológica Centroamericana de Honduras (UNITEC), que permitieron realizar 54 teleconsultas a pacientes con patologías respiratorias durante la cuarentena por la pandemia de COVID-19. Adicionalmente, la UNAH habilitó la primera aplicación en telemedicina a nivel institucional, llamada "Doctor 1847", que permite a la población recibir asesoría y servicios de salud desde sus hogares. Todas estas experiencias han contribuido a mejorar el acceso a la atención médica en Honduras.

Recientemente, la SESAL firmó un convenio con la embajada de Taiwán con el propósito de fortalecer la digitalización de la informática médica y mejorar la gestión hospitalaria, así como apoyar a la SESAL y a ciertos hospitales en la formación de profesionales informáticos de mantenimiento y desarrollo de sistemas. Así, el proyecto "La mejora de la eficiencia en la Gestión Hospitalaria de la Informática en Salud en Honduras" pretende desarrollar un sistema informático que agilice el intercambio de datos, incluidos el registro, las consultas externas y el servicio de farmacia, de tal manera que se pueda elevar la eficiencia en la gestión de la informática en salud en los hospitales (SESAL, 2021).

3.2 CONCEPTUALIZACIÓN

A continuación, se describirán los conceptos básicos para la comprensión de la investigación. De igual forma, se hace referencia teórica a las características del sistema EMR con IA a desarrollar.

3.2.1 TUBERCULOSIS

Según Li et al. (2022), "la tuberculosis es una enfermedad infecciosa grave causada por la bacteria *Mycobacterium* y, actualmente, es la segunda enfermedad infecciosa mortal después de COVID-19" (p. 1). De acuerdo con esto, la bacteria infecta el sistema respiratorio, generalmente los pulmones, aunque también puede propagarse en la piel y los sistemas gastrointestinal, linforreticular, nervioso central, musculoesquelético y reproductivo, y en el hígado (CDC, 2023); ello provoca una variedad de síntomas que incluyen la tos persistente, el dolor en el pecho, la debilidad, la pérdida de peso y la fiebre.

Según Nieto (2021), el diagnóstico de TB generalmente se realiza a través de una prueba cutánea, un análisis de sangre, una radiografía de tórax y/o un examen de muestra de esputo. La TB puede ser fatal; sin embargo, con el tratamiento adecuado, es posible curar la enfermedad, puesto que el desarrollo de antibióticos revolucionó el tratamiento de la TB. Al respecto, Caminero et al. (2017) afirmaron que eso implica una combinación de antibióticos de 6 a 9 meses para garantizar que la infección se trate por completo y para prevenir el desarrollo de cepas de TB resistentes a los antibióticos; aunque, en algunos casos, se han requerido regímenes de tratamiento de hasta 21 meses de duración.

3.2.2 TIPOS DE TB

Hay diferentes tipos de TB y cada uno tiene un conjunto particular de síntomas, causas y tratamientos; así, las formas más comunes de TB son la infección de TB latente (LTBI) y la enfermedad de TB activa.

De acuerdo con los Centros para el Control de Enfermedades (Centers for Disease Control and Prevention [CDCTB], 2018), la LTBI es una condición en la que una persona está infectada con la bacteria, pero no presenta ningún síntoma y no es contagiosa. Esta forma de TB puede permanecer latente durante muchos años, y es posible que nunca progrese a la enfermedad de TB activa; sin embargo, la infección de LTBI puede reactivarse más adelante en la vida si el sistema inmunitario de la persona se debilita.

Las personas con mayor riesgo de progresión a la enfermedad de TB incluyen contactos domésticos de casos confirmados de TB pulmonar (particularmente niños <5 años), personas que viven con VIH/SIDA (PVVS), pacientes que inician tratamiento con factor de necrosis antitumoral alfa (TNF), candidatos para trasplante hematológico o de órganos sólidos, pacientes que reciben diálisis y pacientes con silicosis. En entornos de baja prevalencia de TB, las poblaciones con mayor riesgo de LTBI pueden incluir inmigrantes de países con alta prevalencia de TB, trabajadores de la salud, personas que viven en entornos congregados de alto riesgo, como refugios para personas sin hogar o centros correccionales, y usuarios de drogas ilícitas. (Huaman y Sterling, 2019, p. 839)

Por otro lado, Jilani et al. (2022) mencionaron la TB activa, que “es una enfermedad multiorgánica causada por infección primaria o como reactivación de una LTBI”. Como consecuencia, la bacteria empieza a multiplicarse y provoca síntomas como tos, dolor de pecho, fatiga, pérdida de peso, fiebre, entre otros; y, si no se trata, la enfermedad de TB activa puede poner en peligro la vida y causar daños graves a los pulmones y otras partes del cuerpo.

Adicionalmente, otro tipo de TB es la DR-TB, que es una forma de enfermedad de TB activa que “es resistente al menos a la isoniazida y la rifampicina, los dos fármacos más potentes contra la TB” (CDCTB, 2016). Este tipo es más difícil de tratar y puede requerir una combinación de múltiples medicamentos durante un periodo de tiempo más largo.

Por otro lado, también existe la TB extremadamente resistente a los medicamentos (XDR TB): “Se ha demostrado que la probabilidad de curación es mucho menor que en otros casos de TB-MDR y las muertes son mayores, especialmente en pacientes infectados por el VIH” (OMS, 2014, p. 1). Para terminar, se entiende que la XDR TB es muy difícil de tratar y es un importante problema de salud pública.

3.2.3 EMR

El sistema EMR es una herramienta utilizada por los proveedores de atención médica para almacenar y administrar la información de salud del paciente “como historiales médicos, resultados de pruebas y medicamentos de forma electrónica” (Ahmed et al., 2020, p. 207). El uso del EMR ha crecido significativamente en los últimos años como resultado del impulso hacia la digitalización en la industria de la salud y la necesidad de mejorar la eficiencia en la atención médica.

Los sistemas de EMR son beneficiosos porque mejoran la eficiencia al permitir un acceso inmediato a la información del paciente, lo que ayuda a los médicos a desarrollar un mejor enfoque para la atención de las diversas condiciones que suelen tratar (Manca, 2015). A diferencia de los registros basados en papel, estos no satisfacen los requisitos necesarios para garantizar una documentación y una comunicación efectivas entre los proveedores de atención médica; esto, debido a que son redundantes, imprecisos y requieren de mucho tiempo y esfuerzo manual para

obtener información (Ayaad et al., 2019). En cambio, los sistemas de EMR permiten actualizaciones en tiempo real y de fácil acceso al historial médico completo de un paciente, reduciendo el riesgo de errores de transcripción y garantizando que la información almacenada esté actualizada y precisa.

Si bien el uso del sistema EMR ofrece muchos beneficios, también existen desafíos importantes que deben abordarse, como el costo de implementar y mantener un sistema EMR. Así las cosas, para los proveedores de atención médica más pequeños, el costo de un sistema EMR puede ser prohibitivo, “ya que se necesita de una inversión inicial muy alta, y barreras técnicas (como la falta de infraestructura, falta de recurso humano capacitado y problemas de interoperabilidad)” (OPS, 2016a, p. 25)

Finalmente, otro desafío mencionado es la necesidad de que los proveedores de atención médica estén capacitados en el uso de EMR: aunque este sistema puede ser más eficiente que el registro manual, también puede ser más complejo y los proveedores de atención médica pueden necesitar una capacitación significativa para dominar el sistema. Además, podría haber una resistencia al cambio entre algunos proveedores de atención médica, quienes pueden preferir el sistema tradicional basado en papel o dudar en adoptar una nueva tecnología.

3.2.4 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

“La inteligencia artificial (IA) es la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, aprender de los datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones tal y como lo haría un ser humano” (Rouhiainen, 2018, p. 17). En ese sentido, se podría definir como la simulación de la inteligencia humana en máquinas que están diseñadas para realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana. Se debe destacar que, la IA ha sido un campo de rápido crecimiento en la última década y su desarrollo ha sido impulsado por la necesidad de automatizar tareas y de procesar y analizar grandes cantidades de datos de manera oportuna y precisa, “reduciendo así el trabajo humano intensivo y las tareas tediosas” (Zapata, 2020, p. 4). Cabe mencionar que los sistemas de IA están diseñados para aprender de los datos y tomar decisiones basadas en ese aprendizaje, lo que les permite mejorar su desempeño con el tiempo.

3.2.5 RAMAS DE LA IA

3.2.5.1 Árboles de decisión

Un concepto importante en la IA son los árboles de decisión que, de acuerdo con Maimon y Rokach (2014), son algoritmos que se utilizan para la clasificación y el análisis de regresión. Los autores también indicaron que son un tipo de algoritmo de aprendizaje supervisado que aprende de datos etiquetados y puede hacer predicciones sobre datos no vistos. Así, el modelo de árbol de decisión es una estructura similar a la de un árbol, donde cada rama o nodo representa una prueba de una característica, y los bordes representan el resultado de la prueba, mientras que las hojas del árbol representan la predicción final.

De esa forma, el algoritmo del árbol de decisiones funciona encontrando la característica más significativa en el conjunto de datos y usándola para dividir los datos en grupos más pequeños (Ilustración 2). Este proceso se repite para cada grupo hasta que todos los datos de un grupo pertenecen a la misma clase o cuando el árbol alcanza su profundidad máxima. La predicción final se hace al observar la clase mayoritaria en cada hoja.

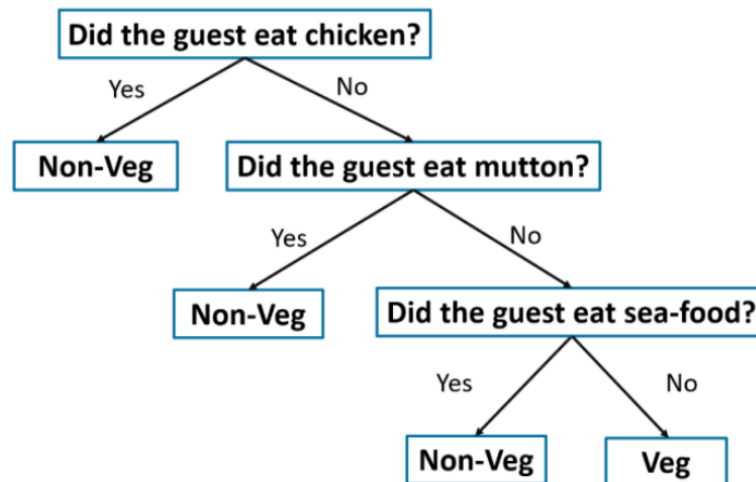


Ilustración 2. Árbol de decisión

Fuente: (Mahesh, 2019)

3.2.5.2 *Data mining*

La minería de datos o data mining es un componente clave de la IA, pues los datos utilizados para entrenar los sistemas de IA deben extraerse y procesarse primero para que sean útiles. Según Maimon y Rokach (2014), data mining es un término acuñado para describir el proceso de desplazamiento a través de grandes bases de datos en busca de patrones de interés y/o previamente desconocidos.

Una aplicación importante se da en el campo de la atención médica, donde la IA y la minería de datos se pueden usar para analizar grandes cantidades de datos médicos para identificar patrones y hacer predicciones sobre la salud del paciente (Mahindrakar y Hanumanthappa, 2013); por ejemplo, para identificar signos de alerta temprana de enfermedades, como cambios en el comportamiento del paciente o en los signos vitales.

Sin embargo, el uso de la IA y la minería de datos también plantea importantes preocupaciones éticas y de privacidad (Lee y Yoon, 2017), en tanto que estos se pueden utilizar para extraer información confidencial sobre personas, como su historial médico, su información financiera y sus preferencias personales. Por lo tanto, es importante garantizar que la IA y la extracción de datos se utilicen de manera responsable y ética, y que se implementen las medidas de seguridad adecuadas para proteger la privacidad de las personas.

3.2.5.3 *Deep learning (DL)*

Uno de los subcampos más prometedores de la IA es el aprendizaje profundo o deep learning. LeCun et al. (2015) indicaron que este método utiliza múltiples capas para procesar y analizar representaciones de datos con múltiples niveles de abstracción (Ilustración 3). Así, se podría decir que el aprendizaje profundo es un tipo de aprendizaje automático (ML) inspirado en la estructura y la función del cerebro humano.

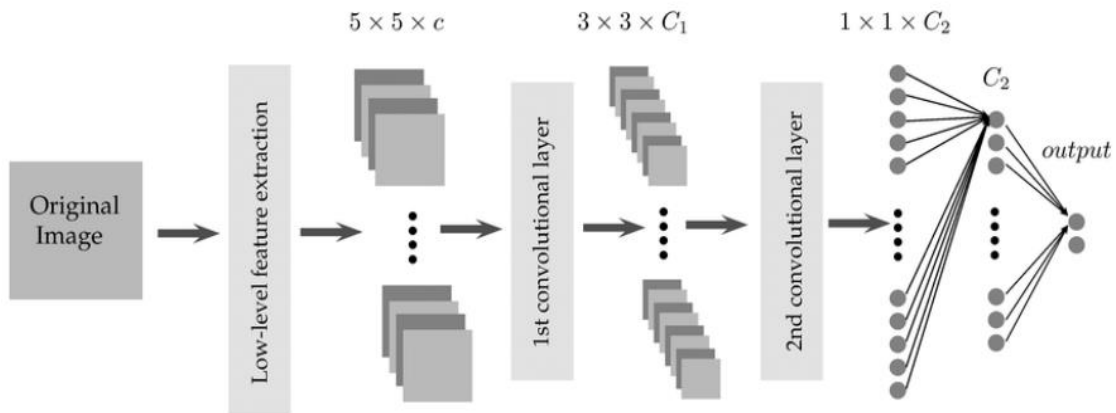


Ilustración 3. Arquitectura de un modelo de aprendizaje profundo

Fuente: (Makantasis et al., 2015)

“En dominios como la informática de la salud, la generación de este conjunto de características automáticas sin intervención humana tiene muchas ventajas” (Ravi et al., 2017, p. 4), y uno de los principales beneficios del aprendizaje profundo en la informática de la salud es que, como los datos de atención médica pueden llegar a ser complejos y heterogéneos, los algoritmos de aprendizaje profundo se pueden entrenar para identificar patrones y relaciones que serían difíciles o imposibles de detectar con los métodos tradicionales.

3.2.5.4 *Machine learning (ML)*

El ML es un subconjunto de la IA que implica el desarrollo de algoritmos “para aprender de los datos de entrenamiento específicos del problema para automatizar el proceso de creación de modelos analíticos y resolver las tareas asociadas” (Janiesch et al., 2021, p. 685). Los algoritmos de ML se pueden clasificar en dos tipos: aprendizaje supervisado (Ilustración 4) y no supervisado (Ilustración 5).

Los algoritmos de aprendizaje supervisado son aquellos algoritmos que necesita ayuda externa. El conjunto de datos de entrada se divide en entrenamiento de datos y prueba del conjunto de datos. El conjunto de datos de entrenamiento tiene una variable de salida que necesita ser predicha o clasificada. Todos los algoritmos aprenden algún tipo de patrón del conjunto de datos de entrenamiento y se aplican al conjunto de datos de prueba para predicción o clasificación. (Mahesh, 2019, p. 381)

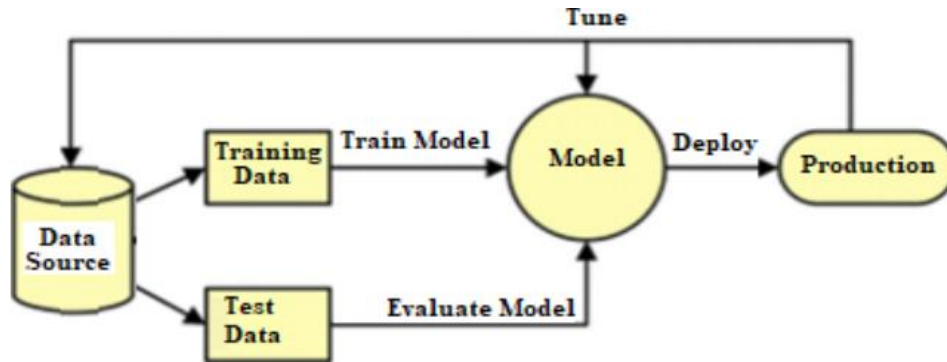


Ilustración 4. Flujo de trabajo de aprendizaje supervisado

Fuente: (Mahesh, 2019)

Por otro lado, el aprendizaje no supervisado implica entrenar un modelo en un conjunto de datos sin etiquetar, donde no se conoce el resultado correcto para cada ejemplo en los datos. Luego, el modelo se usa para encontrar patrones y relaciones en los datos, sin necesidad de etiquetarlos (Ilustración 5). Mahesh (2019) mencionó que estos algoritmos se dejan a su suerte para descubrir y presentar la estructura de los datos; así, cuando se introducen nuevos datos, se utilizan características previamente aprendidas para reconocer su clase. Este método se utiliza principalmente para la agrupación en clústeres y la reducción de características.

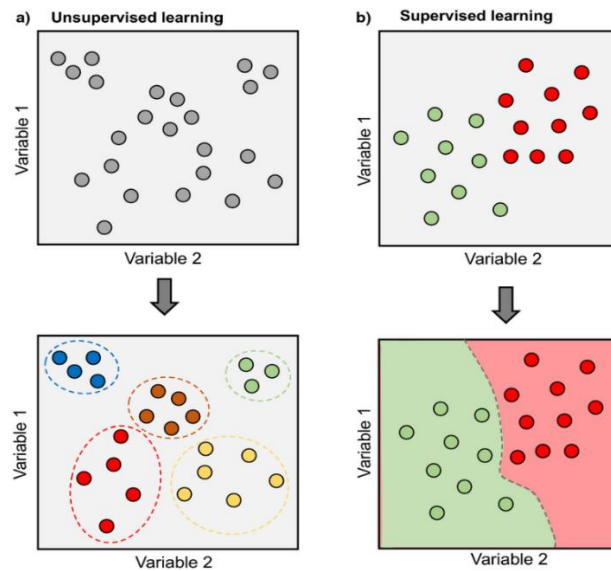


Ilustración 5. Diferencias entre el ML supervisado y no supervisado

Fuente: (Morimoto y Ponton, 2021)

Asimismo, en el campo de la visión artificial se pueden utilizar algoritmos de ML para analizar imágenes y extraer información de ellas, reconocer objetos, detectar patrones y clasificar imágenes; y este también se ha aplicado al procesamiento del lenguaje natural, donde se puede utilizar para analizar y comprender el lenguaje humano. Por ejemplo, los algoritmos de ML se pueden usar para traducir automáticamente un texto de un idioma a otro, o para resumir documentos extensos (Das et al., 2015).

3.2.5.5 *Redes Neuronales Artificiales (ANN)*

Las ANN son una poderosa herramienta en el campo de la IA; estas tienen la capacidad de aprender de ejemplos y hacer predicciones basadas en nuevas entradas.

Las redes neuronales artificiales (ANN) son sistemas de procesamiento computacional que están fuertemente inspirados en la forma en que funcionan los sistemas nerviosos biológicos (como el cerebro humano). Las ANN se componen principalmente de una gran cantidad de nodos computacionales interconectados (denominados neuronas), cuyo trabajo se entrelaza en una forma distribuida para aprender colectivamente de la entrada con el fin de optimizar su salida final. (O'Shea y Nash, 2015, p. 1)

Igualmente, Mahesh (2019) mencionó que una ANN es una serie de algoritmos que tratan de examinar las relaciones subyacentes en un conjunto de datos a través de un proceso que simula la forma en que opera el cerebro humano, de tal forma que funciona en tres capas: la de entrada, la oculta y la de salida. La primera toma la entrada, y luego la capa oculta procesa la entrada para que, finalmente, la última envíe la salida calculada (Ilustración 6).

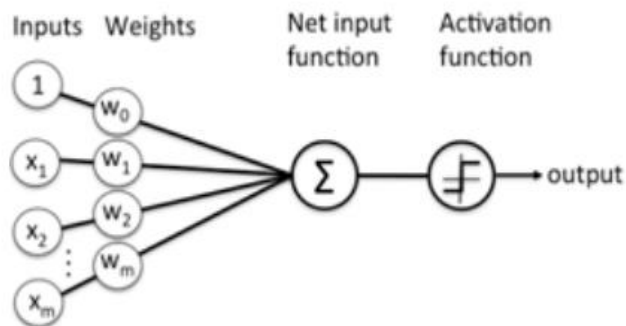


Ilustración 6. ANN

Fuente: (Mahesh, 2019)

3.3 TEORÍAS DE SUSTENTO

En el presente apartado se describirán las bases teóricas que sustentan la investigación y cómo estas ayudarán a lograr los objetivos propuestos.

3.3.1 BASES TEÓRICAS

3.3.1.1 Principios de la informática médica

La informática médica es el estudio de cómo se puede utilizar la tecnología de la información para mejorar la atención médica. Es un campo interdisciplinario que se basa en las ciencias de la computación, las ciencias de la información y las ciencias de la salud, y “su principal objetivo es optimizar la adquisición, el almacenamiento, la recuperación y el uso de la información en salud” (Suárez-Obando y Camacho Sánchez, 2013). Así, los principios de la informática médica son la base para el desarrollo y la implementación de nuevos sistemas de información en salud.

El campo de la informática médica abarca una amplia gama de principios, incluida la gestión de datos. Hylock y Harris (2016) indicaron que la gestión eficaz de los datos es fundamental para el tratamiento de los pacientes, el cumplimiento normativo, la salud de la población, la gestión de costes y el control de calidad. Como resultado, las disciplinas de la informática de la salud y la gestión de la información de la salud han requerido un mayor énfasis educativo en la gestión, la calidad y el análisis de los datos. De esa forma, la gestión adecuada de los datos es fundamental para garantizar la eficiencia y la precisión de los procesos médicos, así como la calidad de la atención al paciente. Esto incluye la recopilación, el almacenamiento, la recuperación y el análisis de datos médicos, a fin de reducir los errores, mejorar los resultados de los pacientes y respaldar la medicina basada en la evidencia.

Asimismo, los sistemas de salud deben contar con una interoperabilidad para comunicarse e intercambiar información entre sí; esto es fundamental en la informática médica, dado que los proveedores de atención médica necesitan acceder a una amplia gama de información, incluido el historial médico del paciente, los resultados de laboratorio y las imágenes de diagnóstico. Al respecto, Avera Health y Brooks (2010) aseguraron lo siguiente:

La interoperabilidad de los datos es una pieza clave para la tecnología de información de salud moderna. Interoperabilidad de sistemas de información sanitaria es esencial para la comunicación de datos críticos, así como para aprovechar la gran cantidad de datos recopilados para realizar investigaciones, analizar tendencias, mejorar la seguridad y reducir los costos de atención médica. Uno de los componentes críticos para permitir la interoperabilidad es la disponibilidad de estándares de datos. (p. 1)

En este sentido, Glickman y Orlova (2015) mencionaron tres categorías de interoperabilidad con algunos estándares individuales del Panel de Estándares de Tecnología de la Información de Salud, entre ellos:

- a. Interoperabilidad semántica: estándares de datos, como vocabularios y estándares de terminología; y estándares de información, como modelos de referencia y plantillas de información.
- b. Interoperabilidad técnica: estándares de intercambio de información basados en mensajes y documentos, estándares de identificador, y normas de privacidad y seguridad.
- c. Interoperabilidad funcional: estándares funcionales, que son los requisitos para las tecnologías de la información y la comunicación en salud; y estándares de procesos de negocio, que son directrices y mejores prácticas descritas en los casos de uso.

A partir de lo señalado, se infiere que la estandarización es otro principio clave de la informática médica que va ligada con la interoperabilidad. "El estándar a su vez define el uso adecuado de los términos. Esta definición contribuye a limitar el uso indistinto de las palabras, lo que es especialmente importante cuando las diferencias conceptuales son relevantes en los procesos de comunicación" (Suárez-Obando y Camacho Sánchez, 2013) . Esto implica el desarrollo y el uso de estándares comunes para el intercambio de datos e información, y la estandarización ayuda a garantizar que la información sea consistente, precisa y confiable, lo cual es esencial para la toma de decisiones y la efectiva atención al paciente. Entre los estándares más populares se encuentran el CIE, el DICOM y el HL7.

“La clasificación internacional de enfermedades (CIE) está diseñada para promover la comparabilidad internacional en la recopilación, procesamiento, clasificación y presentación de estadísticas de mortalidad y morbilidad” (CDC, 2021, p. 1); por lo tanto, esta es ampliamente utilizada como una herramienta de referencia para los profesionales de la salud a nivel mundial, puesto que proporciona un lenguaje estandarizado, lo que facilita la comunicación y el intercambio de información sobre las condiciones y los tratamientos de los pacientes.

Por otro lado, el DICOM es un estándar ampliamente utilizado para el almacenamiento, la transmisión y la recuperación de imágenes médicas e información relacionada. Este estándar ha revolucionado la forma en que trabajan los profesionales de la salud al permitir el intercambio continuo de información del paciente entre diferentes dispositivos de imágenes y sistemas de información.

DICOM proporciona información de ingeniería detallada que se puede utilizar en las especificaciones de la interfaz para habilitar la conectividad de red entre una variedad de productos de proveedores. El estándar describe cómo formatear e intercambiar imágenes médicas e información asociada, tanto dentro como fuera del hospital (p. ej., telerradiología, telemedicina). Las interfaces DICOM están disponibles para la conexión de cualquier combinación de las siguientes categorías de dispositivos de imágenes digitales: (a) equipo de adquisición de imágenes (p. ej., tomografía computarizada, resonancia magnética, radiografía computarizada, ultrasonografía y escáneres de medicina nuclear); (b) archivos de imágenes; (c) dispositivos de procesamiento de imágenes y estaciones de trabajo de visualización de imágenes; (d) dispositivos de salida de copias impresas. (Bidgood et al., 1997, p. 199)

Mientras tanto, el estándar HL7, también conocido como Health Level 7, brinda una interoperabilidad semántica entre distintos sistemas de información y puede ser tomado como un mediador entre diferentes sistemas implementados en una institución (Gómez, 2013). Por su parte, Noumeir (2019) informó que el HL7 es un pilar fundamental para las EMR, debido a que cubre la mayoría de los dominios que se pueden encontrar en la atención médica, incluida la gestión de pacientes, pedidos e informes.

Otro principio fundamental de la informática médica es la práctica basada en la evidencia. Los objetivos centrales de esta práctica buscan asegurar que las políticas e implementaciones se basen en la evidencia, así como evitar la iatrogenia o los daños institucionales causados por la selección o implementación de aplicaciones informáticas en salud (Rigby et al., 2013). Esto implica el uso de datos e información para fundamentar la toma de decisiones clínicas y la atención al paciente. Así, la práctica basada en evidencia ayuda a garantizar que los proveedores de atención médica tomen decisiones informadas con ayuda de la mejor evidencia disponible, lo que conduce a resultados pertinentes para los pacientes.

La privacidad y la seguridad de la información médica también son fundamentales para proteger los derechos y la privacidad de los pacientes, así como para garantizar la confianza y la relación entre estos y los profesionales de la salud. Ante esto, Suárez-Obando y Vásquez (2012) indicaron que a menudo la información clínica puede estar disponible para personal de salud que no lo necesita o para terceros que pueden usarla para infringir algún daño al paciente, ya sea físico, emocional o financiero. Por lo tanto, se deben crear protocolos de privacidad y seguridad, como la autenticación y la autorización, para restringir el fácil acceso y minimizar la vulnerabilidad de la información del paciente. Además, estos mencionaron que es responsabilidad de todas las partes involucradas en la atención médica, incluidos los pacientes, profesionales de la salud, administradores de sistemas de información médica y diseñadores de tecnología, asegurarse de que se cumplan estos principios y proteger la información médica de los pacientes.

3.3.1.2 *Arquitectura de software*

El diseño de la arquitectura de software es un aspecto crucial del proceso de desarrollo de software. Esto implica el diseño de la estructura de alto nivel de dicho sistema y la definición de sus componentes e interacciones, y de cómo funcionan juntos para lograr los objetivos. También se podría decir que es un "primer corte" en el diseño del sistema para resolver un problema o satisfacer una necesidad, pero en realidad es un conjunto de planos que guían la selección, la construcción, la modificación y el uso perfecto de la infraestructura informática (Valipour et al., 2009, p. 34).

Una arquitectura de software bien diseñada puede tener un impacto significativo en la calidad general de este, como la escalabilidad, la capacidad de mantenimiento y el rendimiento. Valipour et al. (2009) explicaron que generalmente la arquitectura de software juega un papel clave entre los requisitos y la implementación, así como en otros seis aspectos del desarrollo:

- **Comprensión:** la arquitectura simplifica la capacidad de comprender grandes sistemas.
- **Reutilización:** las descripciones arquitectónicas admiten la reutilización en múltiples niveles, como las librerías que se pueden integrar en los componentes del sistema.
- **Construcción:** proporciona un anteproyecto parcial para el desarrollo del sistema, donde se indican los principales componentes y dependencias entre ellos.
- **Evolución:** expone las dimensiones a lo largo de las cuales se espera que evolucione un sistema, para comprender mejor las ramificaciones de los cambios y estimar con mayor precisión los costos de las modificaciones.
- **Análisis:** las descripciones arquitectónicas brindan nuevas oportunidades para el análisis, incluidas la verificación de la coherencia del sistema, la conformidad con las restricciones impuestas y la conformidad con los atributos de calidad.
- **Gestión:** la experiencia ha demostrado que el éxito de una arquitectura de software viable es un hito clave en el proceso de su desarrollo. La evaluación de la arquitectura conduce a una comprensión mucho más clara de los requisitos, la implementación, las estrategias y los riesgos potenciales.

Cabe aclarar que, hay varios enfoques para diseñar una arquitectura de software, y uno de los métodos más comunes es utilizar el patrón modelo-vista-controlador (MVC) (Ilustración 7). Según González y Romero (2012), este fue diseñado con el objetivo de minimizar el esfuerzo de programación necesario en la implementación de sistemas múltiples y sincronizados de los mismos datos. Asimismo, los autores mencionaron que la arquitectura se basa en la separación de las entidades del modelo que representa los datos y su procesamiento, las vistas que definen cómo se presentan los datos al usuario y los controladores que manejan las interacciones del usuario, lo que permite que cualquier cambio en el modelo se refleje automáticamente en cada una de las vistas. Esto hace que el software sea más adaptable a los cambios y más fácil de mantener.

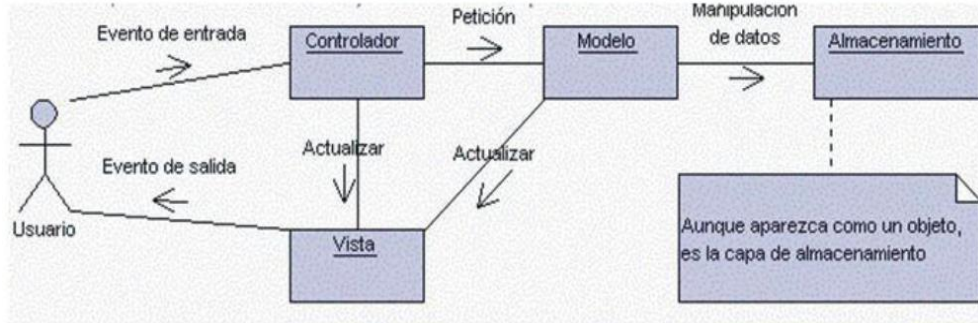


Ilustración 7. Elementos del método MVC

Fuente: (González y Romero, 2012)

Otro enfoque popular de la arquitectura de software es la arquitectura de microservicios (Ilustración 8), que consiste en dividir un sistema grande en servicios independientes más pequeños que pueden comunicarse entre sí a través de interfaces bien definidas. Este enfoque proporciona varios beneficios, como una mejor escalabilidad, la tolerancia a fallas y la diversidad de la tecnología. Ello también permite el desarrollo, la prueba y la implementación independientes de cada servicio, lo que facilita la actualización y la modificación del sistema sin afectar toda la aplicación (Barrios, 20182).

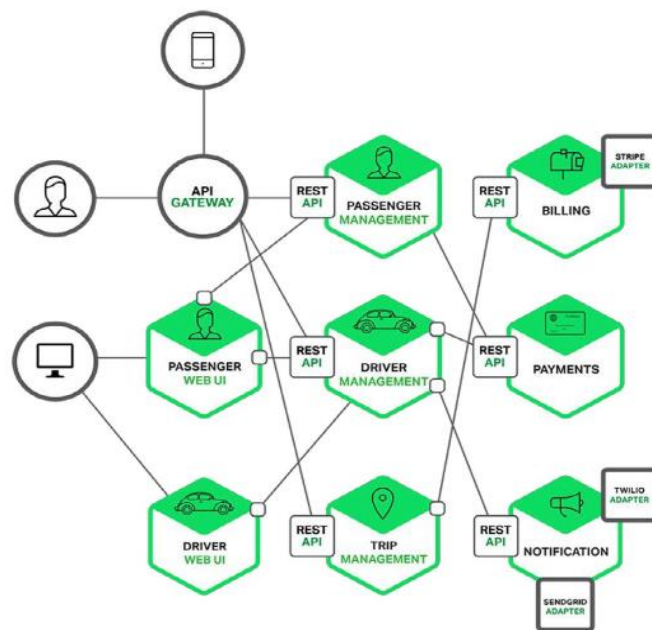


Ilustración 8. Arquitectura de microservicios

Fuente: (Barrios, 2018)

Ambos métodos tienen distintas formas de diseño y desarrollo de sistemas de software, y por eso es importante seleccionar el adecuado para el éxito de cualquier proyecto, por cuanto se trata de una disciplina en constante evolución.

3.3.1.3 *Fundamentos de la IA*

Los fundamentos principales de la IA tienen que ver con el desarrollo de algoritmos, sistemas y tecnologías que permiten a las computadoras realizar tareas que normalmente requerirían la inteligencia humana; pero, para estructurar grandes algoritmos y sistemas, se requiere de principios o teorías matemáticas, de estadística y de probabilidad.

- Estadística matemática: teoría de la probabilidad

La teoría de la probabilidad es una rama de las matemáticas que se encarga de estudiar y medir la incertidumbre asociada a eventos aleatorios que conducen a un resultado de un conjunto de resultados posibles. Por el contrario, los eventos determinísticos no aleatorios son aquellos que conducen, de forma inevitable, a un resultado fijo (Petrov y Mordecki, 2008). En ese sentido, la teoría de la probabilidad también incluye conceptos importantes, como la distribución de la probabilidad, que describe la repartición de los resultados posibles de un evento aleatorio; y la distribución normal, que se utiliza en muchos campos para realizar estudios de una población basados en una muestra aleatoria extraída de esta misma (Bacchini et al., 2018).

Además, Villanueva (2012) indicó que la teoría de la probabilidad es esencial para el desarrollo de la estadística y es una herramienta poderosa para analizar e interpretar datos. La combinación de la teoría de la probabilidad y la estadística se utiliza en muchas áreas, incluidas la investigación médica, la social y la financiera; esto, con el fin de tomar decisiones informadas y evaluar la incertidumbre asociada a ellas.

- Teoría de la complejidad computacional

Esta es una parte de la teoría de la computación que estudia la eficiencia de los algoritmos y su capacidad para resolver problemas, y se centra en cuantificar la dificultad de un problema y determinar cuánto tiempo y recursos requiere un algoritmo para resolverlo (Cortéz, 2004). Dicha teoría es importante porque permite a los investigadores y desarrolladores de software saber

cuáles son los problemas que pueden ser resueltos de manera eficiente y cuáles no, y eso es útil para priorizar y planificar proyectos de investigación y desarrollo de software. De acuerdo con Cortéz (2004), hay dos tipos de complejidad computacional: la temporal y la espacial. La primera mide el tiempo que un algoritmo toma para resolver un problema, mientras que la segunda mide la cantidad de memoria. Esta teoría también permite comparar diferentes algoritmos para la solución de algún problema, a fin de escoger el más adecuado.

- Propiedades de estructura y diseño de algoritmos

La propiedad de estructura de un algoritmo es la organización del algoritmo, es decir, su forma de estructurar los datos y operaciones necesarios para llegar a un resultado. Según Brassard y Bratley (1997), un algoritmo es un conjunto de reglas para efectuar algún cálculo, ya sea a mano o en una máquina. Por otro lado, Castañeda (2022) mencionó:

Las características concretas del algoritmo radican en su escritura como una serie de rutinas o pasos a seguir, los presupuestos sobre los que se puede ejecutar una determinada instrucción, las decisiones que permiten evaluar la ruta óptima a seguir y su descomposición en módulos. A partir de estas características: escritura, ejecución, evaluación y modulación, se puede generar un algoritmo computacional. (p. 254)

Asimismo, Vásquez (2012), describió las partes fundamentales que un algoritmo debe cumplir, las cuales se describen a continuación:

- a. Entrada: información que el algoritmo requiere para ser procesado.
- b. Proceso: ejecución de las instrucciones paso a paso.
- c. Salida: resultado o respuesta del problema planteado.

Así las cosas, los algoritmos deben tener claridad y precisión para garantizar que los resultados sean correctos; pero también deben ser eficientes y flexibles al momento de realizar la tarea deseada en el menor tiempo posible, sin sacrificar la precisión o la claridad. Para lograr esto, es importante estructurar datos y utilizar técnicas de optimización adecuadas.

3.3.1.4 *Inteligencia Artificial en el ámbito sanitario*

La IA se ha convertido en una tecnología de rápido desarrollo que tiene el potencial de transformar muchos aspectos de la atención médica. “La inteligencia artificial ayuda a los equipos de atención médica a reducir el tiempo de documentación al almacenar los datos de los pacientes digitalmente y formar una base de datos” (Haleem et al., 2019), con lo que ofrece oportunidades para mejorar los resultados de los pacientes, la precisión y la eficiencia de los sistemas de diagnóstico, el tratamiento, la reducción de costos y la mejora de la eficiencia.

Por otro lado, el diagnóstico es una tarea tediosa y compleja, pero fundamental para un profesional de la atención al momento de llegar a una conclusión sobre la enfermedad del paciente (Kaur et al., 2020). Uno de los principales beneficios de la IA en el cuidado de la salud es su potencial para mejorar los diagnósticos al analizar grandes cantidades de datos de pacientes, incluidos la EMR, los resultados de laboratorio y las imágenes médicas.

Por ejemplo, en el campo de las imágenes médicas (radiografías, tomografías computarizadas y resonancias magnéticas), los algoritmos de IA pueden analizar grandes volúmenes e identificar anomalías que pueden ser difíciles de detectar por médicos especialistas. Esto puede conducir a diagnósticos más rápidos y precisos, con lo que se reduce el riesgo de diagnósticos erróneos y se mejoran los resultados de los pacientes.

En el campo del procesamiento y la interpretación de imágenes para el diagnóstico, la IA ofrece algoritmos que mejoran la calidad y la precisión del diagnóstico ya que los métodos de IA son excelentes para reconocer automáticamente patrones complejos en los datos de imágenes, elimina ruido en las imágenes ofreciendo una mayor calidad y permite establecer modelos tridimensionales a partir de imágenes de pacientes concretos. (Ávila-Tomás et al., 2021, p. 83)

Otra área en la que se está utilizando la IA para el cuidado de la salud es en la generación de recomendaciones para tratamientos específicos mediante el análisis de grandes cantidades de datos de pacientes, incluido el historial médico, los resultados de laboratorio y la información genética. Así, los algoritmos de IA pueden identificar patrones y predecir qué tratamientos probablemente sean más efectivos para pacientes individuales (McDougall, 2019).

Adicionalmente, la IA se está utilizando para mejorar la eficiencia de los sistemas de salud; por ejemplo, los chatbots y asistentes virtuales se pueden usar para clasificar a los pacientes, responder preguntas y brindar apoyo. Esta aplicación es fundamental, puesto que el conocimiento se almacena de antemano y se pueden reducir los costos y tiempos de atención médica hacia los usuarios, porque no siempre es posible que estos visiten a los médicos o expertos cuando lo necesitan. Así, la respuesta a la pregunta se da en función de la consulta del usuario y la base de conocimientos; y, si se encuentra una coincidencia o una palabra significativa, se da una respuesta o se muestran algunas similares (Athota et al., 2020, p. 619). Esto también reduce la carga de trabajo de los profesionales de la salud y libera recursos para tareas más complejas.

Los algoritmos de IA pueden llegar a optimizar las operaciones del hospital, como el flujo de pacientes, la dotación de personal y la asignación de recursos, con lo que mejorarían la eficiencia y la reducción de costos. Munavalli et al. (2021) señalaron que los sistemas hospitalarios se enfrentan constantemente a la presión de brindar atención de calidad con recursos limitados, y que la gestión tradicional de la capacidad a menudo no es efectiva debido a la variabilidad y la incertidumbre en la atención médica. Además, los autores explicaron que los hospitales son sistemas de circuito abierto que no utilizan la retroalimentación para evaluar la eficacia de sus procesos; en este sentido, los sistemas hospitalarios carecen de sistemas eficientes de planificación y apoyo para la toma de decisiones en comparación con otras industrias que utilizan la IA para mejorar la eficiencia y facilitar la toma de decisiones.

3.3.2 METODOLOGÍAS APLICADAS POR OTROS INVESTIGADORES PARA EL CONTROL DE TB

En la presente sección, se analizarán diversas metodologías que han sido empleadas por investigadores para determinar el diagnóstico, el tratamiento y/o el control de TB. A partir de esta revisión, se evidenciará la necesidad de desarrollar una solución tecnológica que permita mejorar la gestión de pacientes con TB en centros de salud, por lo que se destacará la viabilidad de un sistema de registro médico electrónico con aplicaciones de inteligencia artificial.

3.3.2.1 Sistema de código abierto y tecnologías de escaneo

En primer lugar, Tweya et al. (2016) utilizaron diferentes métodos para asegurarse de que los flujos de pacientes fueran efectivos, y dichos métodos incluyeron evaluaciones de observación, mapeos y reuniones con proveedores para realizar un sistema EMR de TB/VIH. Además, para superar los desafíos tecnológicos, incluyeron un sistema de pantalla táctil basado en sistemas en tiempo real con un software de código abierto y un modelo de datos MySQL OpenMRS. Luego, añadieron módulos para el registro de datos demográficos, pruebas de laboratorio, diagnóstico de enfermedades, dispensación de medicamentos y más. De modo accesorio, el sistema integró tecnología de escaneo de código de barras para ayudar a reducir los errores de dispensación de medicamentos, y se diseñó para calcular automáticamente la próxima cita y el perfil de adherencia del paciente.

A medida que se desarrollaban los componentes del sistema, se organizaron una serie de sesiones de prueba previa centradas en el proveedor con grupos mixtos de hasta 10, en total, médicos, empleados y personal de datos para evaluar la claridad y el orden de las preguntas, y para verificar el cumplimiento. a las directrices nacionales. También probamos varios escenarios de flujo de pacientes para garantizar que se siguieran los patrones de omisión, por ejemplo, no se hicieron preguntas sobre planificación familiar a niños pequeños o se evaluó la elegibilidad para TAR en pacientes VIH negativos confirmados. Además, las sesiones previas a la prueba aseguraron que las alertas del sistema diseñadas para recordar a los médicos realizar pruebas de VIH, ordenar pruebas de laboratorio de seguimiento, considerar contraindicaciones de medicamentos, etc., funcionaran como se esperaba. (Tweya et al., 2016, p. 146)

Posteriormente, Tweya et al. (2016) llevaron a cabo una capacitación intensiva de dos días para aproximadamente 20 profesionales de la salud, y tal formación tuvo lugar durante un fin de semana, de modo que todo el personal pudiera asistir sin interferir en el cuidado de los pacientes. En general, el sistema EMR de TB/VIH mostró ser una herramienta efectiva para mejorar la atención médica en clínicas integradas.

3.3.2.2 Generación de datos sintéticos para el entrenamiento de ML

Por su parte, Rashidi et al. (2022) generaron conjuntos de datos sintéticos estadísticamente similares al conjunto de los datos retrospectivos anónimos de 278 pacientes para el diagnóstico de TB de un estudio obtenido de la OMS. Los datos fueron analizados en una plataforma de serología para 31 biomarcadores de antígenos TB, para que luego estos fueran divididos en conjuntos de datos para entrenamiento y validación inicial, y de datos generales (Ilustración 9).

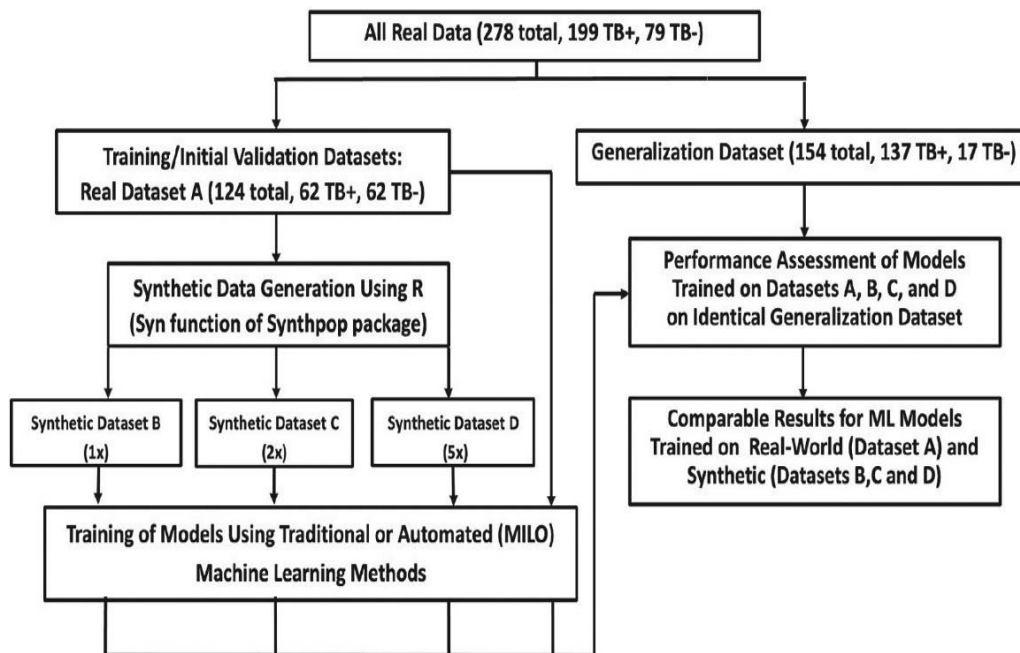


Ilustración 9. Diseño de estudio para la generación de datos

Fuente: (Rashidi et al., 2022)

La aplicación de estos datos tenía como fin hacer un análisis comparativo de dos formas de ML para la predicción de TB: técnicas tradicionales de codificación manual no automatizadas de un algoritmo optimizado de bosque aleatorio, y una plataforma de ML (Ilustración 10). “También se realizaron estadísticas tradicionales en cada conjunto de datos a través del software JMP y se evaluó la normalidad de los datos utilizando la prueba de Ryan-Joiner” (Rashidi et al., 2022, p. 1).

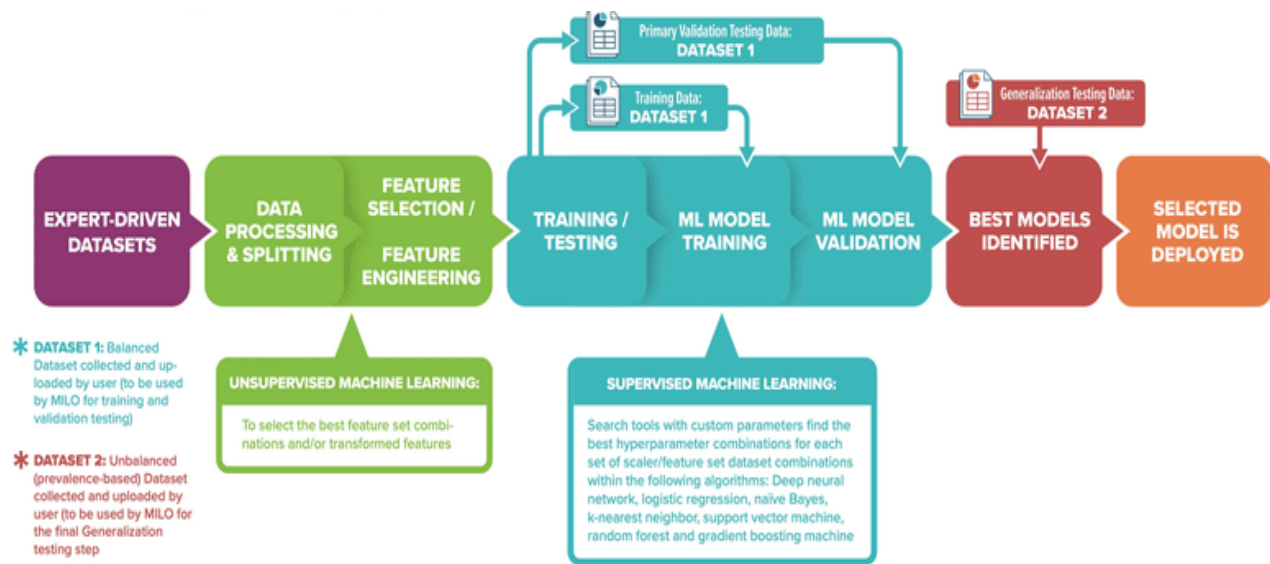


Ilustración 10. Flujo de trabajo de ML supervisado y no supervisado

Fuente: (Rashidi et al., 2022)

Como comparación, los mejores modelos MILO RF (enfoque de ML automatizado) mostraron un rendimiento ligeramente mejor dentro de los diversos conjuntos de datos evaluados. El modelo RF MILO basado en el conjunto de datos reales A mostró una precisión del 89 % con una sensibilidad y especificidad clínicas del 89 % (95 % IC, 83-93 %) y 100 % (95 % IC, 81-100 %), respectivamente. El modelo MILO RF de mejor rendimiento basado en el conjunto de datos sintéticos B (proporción 1:1 con los datos reales) mostró una precisión del 71 % y una sensibilidad y especificidad clínicas del 69 % (95 % IC, 60-76 %) y 88 % (IC del 95 %, 64-99 %), respectivamente. (Rashidi et al., 2022, p. 1)

De este modo, resulta claro que los modelos utilizados responden de forma más precisa con datos reales que con datos sintéticos, a pesar de que hay una diferencia mínima; sin embargo, los datos sintéticos pueden imitar muestras realistas y son de ayuda para evitar problemas de confidencialidad.

3.3.2.3 Monitoreo de código geográfico y análisis de incidencia

Los autores Chijioke-Akaniro et al. (2022) analizaron los datos nacionales del Programa de Control de la Tuberculosis, la Lepra y la Úlcera de Buruli de Nigeria del año 2017 e identificaron instalaciones que no tenían un buen desempeño en la notificación y los seguimientos de casos de TB, por lo que se documentaron las razones percibidas por los trabajadores de la salud. Tales razones fueron abordadas mediante el cambio de estrategias y/o la mejora de las existentes. Asimismo, se organizaron actividades de divulgación a nivel comunitario para aumentar la conciencia sobre la TB, por lo que se implementó el monitoreo del código geográfico con la herramienta "Open Data Kit" para garantizar la disponibilidad de la información en tiempo real de las visitas en los centros de salud. En ese sentido, los datos se extrajeron, editaron y analizaron mediante MS Excel y SPSS, incrementando a un 40% la cobertura de los sitios DOTS.

Los cambios entre 2018 y 2020 se compararon con 2017. El análisis de tendencias se realizó mediante la prueba de χ^2 de Cochran-Armitage para un nivel de significación de tendencias lineales de $P < 0,05$. Para la presentación de los datos se utilizaron tablas y gráficos. (Chijioke-Akaniro et al., 2022, p. 128)

Esto demostró un aumento significativo en la identificación de casos de TB a lo largo de los años (Ilustración 11), lo cual se atribuyó a las efectivas medidas de monitoreo implementadas en el estudio. Esto sugiere que se puede mejorar la notificación de casos de TB y reducir la cantidad de los no detectados que "representan una gran amenaza, ya que sirven como reservorio para la transmisión continua de TB" (Chijioke-Akaniro et al., 2022, p. 128).

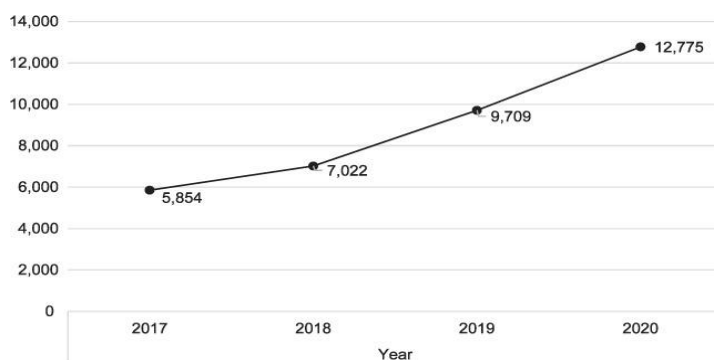


Ilustración 11. Centros de notificación de TB en Nigeria entre los años 2017 y 2020

Fuente: (Chijioke-Akaniro et al., 2022)

3.4 MARCO LEGAL

Honduras ha carecido de leyes y normas para el desarrollo y la implementación de los softwares médicos y de ciberseguridad; sin embargo, Díaz (2020) indicó que es imprescindible establecer protocolos nacionales que definan estándares e incorporen consideraciones legales y éticas para guiar tanto la responsabilidad de los médicos como el estatus legal de las EMR, a fin de garantizar un funcionamiento apropiado de las herramientas informáticas de salud. Así, el equipo técnico encargado de implementarlas, incluidos los médicos, enfermeras, físicos, ingenieros, especialistas en informática y gestores de redes de telecomunicaciones, debe cumplir con las normas nacionales e internacionales, y mantener total confidencialidad sobre la información de los pacientes.

En esa medida, y con el propósito de desarrollar el software de EMR con IA para pacientes con TB, se evaluaron las leyes, las normativas y los reglamentos aplicables al proyecto (Tabla 2). Igualmente, se consideraron las regulaciones establecidas por el Tribunal Superior de Cuentas como ente rector del sistema de control de los poderes del Estado para garantizar el cumplimiento normativo del proyecto de investigación.

Tabla 2. Marco legal aplicable

Leyes/reglamentos	Decreto	Artículo	Descripción
Ley de Propiedad Intelectual	No. 12-99	23	Se considerará como modelo de utilidad cualquier forma, configuración o disposición de elementos de algún artefacto, herramienta, instrumento, mecanismo u otro objeto, o de alguna parte de este, que permita un mejor o diferente funcionamiento, utilización o fabricación del objeto que lo incorpora, o que le proporcione alguna utilidad, ventaja o efecto técnico que antes no tenía.
Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y su Reglamento	No. 170-2006	16	El acceso a la información será restringido si se reconoce como información reservada o confidencial.

Leyes/reglamentos	Decreto	Artículo	Descripción
		20	El acceso a la información debe presentarse por medio de una solicitud, ya sea escrita o por medios electrónico, indicando con claridad los detalles específicos de la información solicitada.
		24	Los datos personales deben ser protegidos siempre. El acceso a los datos personales únicamente procederá por decreto judicial o por petición de la persona cuyos datos se contienen.
		26	Ninguna persona podrá obligar a otra a proporcionar datos personales que puedan causar daños o riesgos.
Ley del Comercio Electrónico	No. 149-2014	1	Se regula todo tipo de información en forma de mensajes de datos, utilizada en el contexto de actividades comerciales, con excepción de las obligaciones asumidas por el Estado en virtud de convenios o tratados internacionales y sin perjuicio de lo dispuesto en otras normas que tengan como finalidad la protección de la salud y seguridad pública.
		4	Intercambio de datos, mensajería y sistemas de información.
Ley del Derecho de Autor y de los Derechos Conexos	No. 4-99-E	1	Están bajo protección los autores de obras literarias, artísticas y de programación.
		34	La documentación técnica y los manuales de uso de un programa gozarán de la misma protección que se otorga a esos programas. Toda producción del programa requerirá la autorización del titular del derecho.

Leyes/reglamentos	Decreto	Artículo	Descripción
Ley Marco del Sector de Telecomunicaciones	No. 185-95	1	Se regula a nivel nacional los servicios de telecomunicaciones, comprendiéndose entre estos toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes fijas, imágenes en movimiento, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por medio de transmisión eléctrica por hilos, radioelectricidad, medios ópticos, combinación de ellos, o cualesquiera otros.
Reglamento sobre Gobierno Electrónico	No. PCM-086-2020	1	Reconoce el derecho de los ciudadanos a relacionarse con la administración pública en todos sus niveles por medios electrónicos y regula los aspectos básicos de la utilización de las tecnologías de la información y comunicaciones en la actividad administrativa.
		5	La utilización de las tecnologías de la información y comunicaciones tendrá las limitaciones establecidas por la Constitución de la república, entre ellas el principio de accesibilidad, adecuación tecnológica, de ética, de eficacia, fidelidad, disponibilidad e inalterabilidad de la información, interoperabilidad, legalidad, transparencia, protección de datos personales, entre otros.
		8	Se presentan deberes y responsabilidades como la veracidad de la información, reportar incidentes o anomalías, mantener actualizada la información, entre otros.

Leyes/reglamentos	Decreto	Artículo	Descripción
Reglamento del Servicio de Internet o Acceso de Redes Informáticas	Resolución NR-004-2011	2	El alcance de las disposiciones regulatorias es aplicable para las diferentes formas de acceder al servicio de internet o acceso a redes informáticas, sea desde una ubicación fija, cuya conexión se realice en forma alámbrica o inalámbrica, o bien, a través de redes móviles.
		9	La naturaleza de las señales que gestiona el servicio de internet o acceso a redes informáticas son aplicaciones de voz, datos, videos, contenidos multimedia e hipermedia, a las cuales los usuarios del servicio pueden acceder desde su equipo terminal según las capacidades de la red de acceso y las propiedades tecnológicas del equipo terminal.
		31	Aun cuando el operador utilice las mejores prácticas que garanticen la integridad y seguridad de la red, estas prácticas no son extensibles a los equipos instalados y ubicados en el domicilio del usuario, quedando a opción del usuario el usar protección contra sobrevoltaje permanente y transitorio, así como, <i>software</i> , antivirus de actualización automática para la protección del equipo terminal informático en el uso de las diversas modalidades de prestación y aplicaciones del servicio.

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

IV. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se proporcionarán detalles sobre el diseño de la investigación, su enfoque, las técnicas y los instrumentos utilizados para el desarrollo del tema propuesto. Asimismo, se definirán las variables, población objetivo y técnica de muestreo, entre otros elementos que le dieron sustento al estudio.

4.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA

Para alcanzar el objetivo de la investigación se realizó una matriz metodológica (Tabla 3) que permitió la estructuración y la organización del proceso de investigación. De esta forma, se logró una congruencia metodológica que aseguró la coherencia y la validez de los resultados obtenidos.

4.2 ENFOQUE

El proyecto de investigación se elaboró bajo el planteamiento metodológico del enfoque mixto, debido a que se emplearon métodos de recolección y análisis de datos cualitativos y cuantitativos. De acuerdo con Hernández (2018), el enfoque mixto se refiere a una serie de procedimientos de investigación sistemáticos, empíricos y críticos que implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos; y este permite un mayor entendimiento ante los fenómenos en estudio, al considerar múltiples perspectivas y enfoques de investigación.

En consecuencia, se obtuvo información a través de la estructuración de encuestas mixtas, donde se conoció la opinión de médicos y enfermeras para la implementación de un EMR con IA para mejorar el control de pacientes con TB y las limitantes en los centros de salud. Esto se complementó a través de una búsqueda seleccionada de documentos para la recolección y el análisis de datos relevantes. Además, los datos fueron obtenidos de la región metropolitana de salud en San Pedro Sula, donde se determinaron la incidencia de la TB y los indicadores de la enfermedad en los pacientes. En cuanto al diseño de la investigación, este fue preexperimental y con un alcance descriptivo, puesto que los datos se recolectaron y se observaron en un solo periodo de tiempo.

4.3 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

En esta sección se describieron las variables independientes y dependientes de la investigación (Ilustración 12), las cuales fueron esenciales para la orientación de la etapa de recolección y el análisis de datos, así como para la determinación de los elementos a implementados.

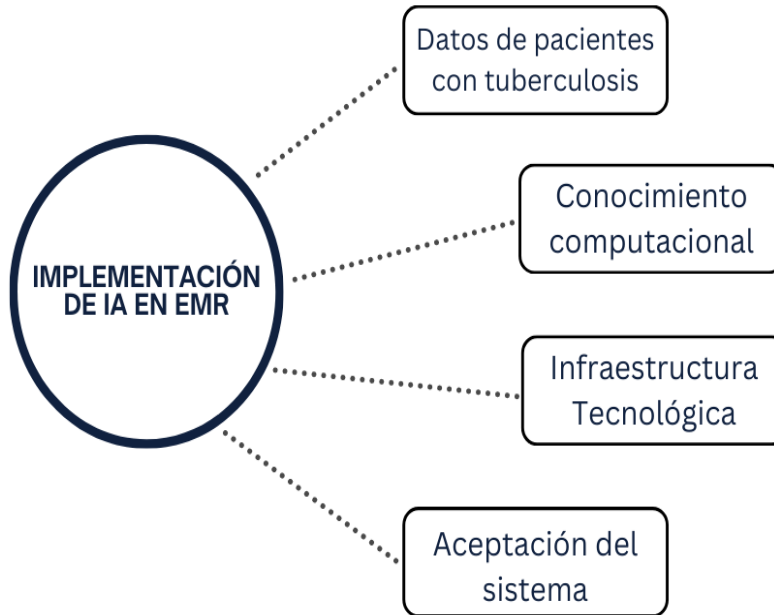


Ilustración 12. Clasificación de variables

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

4.3.1 VARIABLES DEPENDIENTES

Se definió como variable dependiente la implementación de la IA en un software EMR para TB, el cual comprendió la entrada y la interacción de los datos de pacientes con TB, los medicamentos, las patologías y la información clínica clave. Con esta variable se determinaron las características del software.

4.3.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes fueron todas aquellas que tuvieron un impacto en la variable dependiente. Entre ellas se consideraron las siguientes:

- Datos de registros médicos de pacientes con TB: para entrenar el modelo de IA en un sistema EMR fue importante el acceso a las bases de datos de pacientes con TB y definir con claridad los tipos de datos que debían recopilarse a partir de las historias y fichas clínicas de pacientes con TB. Tales datos fueron proporcionados por la región metropolitana de salud de San Pedro Sula.
- Conocimiento y experiencia computacional del personal de salud: esta variable hizo referencia a la capacitación y la experiencia que el personal de salud ha obtenido con el uso de sistemas de información de salud y herramientas digitales.
- Disponibilidad y accesibilidad de infraestructura tecnológica: esta fue necesaria para implementar y utilizar el sistema EMR. Si la infraestructura tecnológica era limitada o no encontraba disponible, esto afectaba, en parte, la adopción y el uso del sistema desarrollado.
- Aceptación del sistema: esta variable hizo referencia al nivel de confianza y aceptación del personal de salud hacia la EMR. Si no se acepta su uso, esto afecta su adopción y efectividad.

4.3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Con el fin de asegurar la solidez y la eficacia del proyecto de investigación, se llevó a cabo una cuidadosa identificación y una delimitación de las variables involucradas; esto permitió una evaluación detallada, con el objetivo de determinar la relación entre los componentes esenciales de la investigación. De esta manera, se estructuró una tabla (Tabla 4), que proporcionó una identificación de las relaciones significativas y dependencias entre las diferentes variables del estudio, con lo que se hicieron los ajustes y mejoras en la metodología de trabajo. Además, esto sirvió como una herramienta importante durante todo el proceso de investigación para mantener enfocados los objetivos y realizar ajustes en tiempo real a medida que surgían nuevos hallazgos.

Tabla 3. Matriz metodológica

Definición del problema	Preguntas de investigación	Objetivos	Variables	Metodología	Instrumentos
<p>El problema radica en la limitada implementación de métodos digitales en países como Honduras para fortalecer el control de pacientes con TB debido a la falta de acceso a información y las deficiencias en la infraestructura tecnológica en los centros de salud.</p> <p>La falta de recursos para desarrollar e implementar modelos de información conlleva a un retroceso en los procesos internos del sistema de salud, lo que puede resultar en errores humanos y un mal análisis de diagnóstico.</p>	1. ¿Cómo se puede mejorar la gestión de pacientes con TB mediante un EMR con integración de IA?	<p>General</p> <p>Desarrollar un sistema EMR basado en el lenguaje de programación Python con IA para mejorar el seguimiento y el control de los pacientes con TB.</p>	<p>Dependientes</p> <p>Implementación de IA en un sistema EMR.</p>	<p>Enfoque</p> <p>Cualitativo</p>	<p>Selección y análisis de datos</p>
	2. ¿Cuál es la situación actual del manejo electrónico de pacientes con TB en San Pedro Sula?	<p>Específicos</p> <p>Investigar la situación actual asociada al manejo de EMR en los centros de salud, mediante la recopilación de datos de pacientes con TB.</p>	<p>Independientes</p> <p>Fuentes de datos.</p>	<p>Diseño</p> <p>Preexperimental</p>	<p>Computadora</p> <p>GeneXus</p>
	3. ¿Cuáles son las características comunes de la enfermedad de TB en los pacientes registrados con TB de los centros de salud?	<p>Identificar características comunes de TB a través del análisis de los registros médicos de pacientes con TB del año 2022 provenientes de los centros de salud.</p>	<p>Experiencia computacional del personal de salud.</p>	<p>Alcance</p> <p>Descriptivo</p>	<p>Microsoft Visual Basic</p> <p>SQL</p>
	4. ¿Qué estrategias se pueden implementar para el seguimiento clínico de pacientes con TB?	<p>Establecer una metodología que permita la creación de un sistema con principios de IA orientado al control de pacientes con TB.</p>	<p>Disponibilidad y de accesibilidad infraestructura tecnológica.</p>	<p>Metodología de estudio</p> <p>Revisión documental retrospectiva.</p>	<p>Python</p> <p>Microsoft Forms</p>
	5. ¿Cómo el empleo de datos de pacientes con TB puede desarrollar un sistema con capacidades analíticas de IA?	<p>Diseñar un sistema con IA que permita el análisis predictivo de la evolución del tratamiento del paciente con TB, empleando los datos de los centros de salud.</p>	<p>Aceptación del sistema.</p>	<p>Recolección de información.</p> <p>Desarrollo de <i>software</i>.</p>	<p>Minitab</p>

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Tabla 4. Operacionalización de variables

Objetivo general	Variable dependiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Desarrollar un sistema EMR con lenguaje de programación GeneXus y Python con capacidades analíticas de IA para mejorar el seguimiento y el control de los pacientes con TB.	Implementación de IA en EMR para TB	Grado en el que se integra la IA en el EMR para mejorar el seguimiento y el control de pacientes con TB.	Capacidad de procesamiento, funcionalidad y nivel de integración.	Cantidad de datos recolectados y resultados.
Objetivo específico	Variable independiente	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Investigar la situación actual asociada al manejo de EMR en los centros de salud de San Pedro Sula, mediante la recopilación de datos relevantes de pacientes con TB.	Datos de registros de pacientes con TB	Procedencia de la información de pacientes con TB.	Tipo de datos, calidad de datos y accesibilidad de la información.	Coherencia de datos, velocidad y facilidad de acceso.
Identificar características y tendencias comunes de la enfermedad de TB a través del análisis de los registros médicos de pacientes con TB del año 2022 provenientes de los centros de salud en San Pedro Sula.	Datos de registros de pacientes con TB	Variedad de datos que se pueden utilizar en el sistema EMR.	Categorías, cantidad y proporción de datos disponibles; precisión y confiabilidad de registros.	Categorización de tipos de TB en pacientes, y cantidad de pacientes que abandonaron, fallecieron o terminaron el tratamiento.
Establecer una metodología que permita la creación de un sistema con principios de IA orientado al seguimiento y al control clínico de pacientes con TB.	Disponibilidad y accesibilidad de infraestructura tecnológica	Capacidad del sistema de salud para proveer y mantener la tecnología necesaria para el desarrollo y el uso del EMR con IA.	Disponibilidad y accesibilidad de recursos tecnológicos.	Cantidad de personal con dispositivos tecnológicos en el centro de salud.
Diseñar un sistema IA que permita el análisis predictivo de la evolución del paciente con TB, empleando los datos de la región metropolitana de salud.	Aceptación del sistema	Percepción del personal de salud sobre la utilidad y la facilidad de uso del sistema desarrollado.	Utilidad y facilidad de uso percibida.	Niveles de utilidad, confianza, seguridad y comodidad por parte del personal de salud.

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

A continuación, se describieron las técnicas y los instrumentos fundamentales que se emplearon para el desarrollo del proyecto de investigación. Entre ellos, plataformas para el diseño de software, programación, recolección y exportación de datos e instrumentos necesarios para la ejecución de dichos programas.

4.4.1 SELECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

La recolección de datos se centró en un proceso riguroso y sistemático que implicó la revisión de fichas clínicas de pacientes con TB en la región metropolitana de salud durante el periodo comprendido del año 2022. Este proceso se llevó a cabo con la finalidad de recopilar información detallada, relevante y confiable sobre los pacientes de TB atendidos en los 19 centros de salud de la región, lo que permitió la identificación de patrones y tendencias de la enfermedad, los cuales fueron utilizados para que el desarrollo del sistema se fundamentara en datos.

De la misma forma, para mantener la calidad de dichos datos, se tomaron todas las medidas necesarias para garantizar la privacidad y la confidencialidad, y también, se establecieron protocolos claros para el acceso y la revisión de la información de pacientes. Asimismo, se obtuvo el apoyo de la coordinadora del programa de TB para la validación de datos, con el fin de minimizar los errores y asegurar la integridad de la información recolectada.

4.4.2 COMPUTADORA

Para la recolección de datos, se utilizó una computadora con las herramientas necesarias, y una de estas fue el software Microsoft Excel para la captura de los datos contenidos en las fichas clínicas de los pacientes con TB. Además, se descargaron e instalaron todos los programas necesarios para el desarrollo del sistema EMR, así como las librerías necesarias de Python para la implementación de la IA en el sistema.

4.4.3 GENEXUS

GeneXus ha sido una plataforma para el desarrollo de software que aprovecha los beneficios del low code y la IA con el objetivo de simplificar y automatizar las tareas de creación, evolución y mantenimiento de aplicaciones (GeneXus, 2021). Así, para el desarrollo del sistema EMR, se instaló GeneXus para la creación y la relación de tablas, que debían ser generadas en SQL y Microsoft Visual Basic. Además, a través de GeneXus se diseñó la interfaz del sistema EMR, con el propósito de asegurar una experiencia del usuario intuitiva y amigable.

4.4.4 MICROSOFT VISUAL BASIC

Microsoft Visual Basic ha sido un lenguaje de programación enfocado en objetos y permite definir el comportamiento de la aplicación una vez creada la interfaz del usuario (Dollard, 2022). En cuanto a la instalación, esta se utilizó para la creación de la aplicación ejecutable y el desarrollo automatizado del código a partir de las tablas generadas en GeneXus. Esta técnica ayudó a optimizar el tiempo de desarrollo del sistema, dado que el código generado automáticamente fue adaptado a las necesidades específicas del proyecto. Al mismo tiempo, el uso de Microsoft Visual Basic aseguró la calidad del código producido y la compatibilidad con otras herramientas y plataformas utilizadas en el proyecto.

4.4.5 SERVIDOR DE BASE DE DATOS SQL (SSMS)

El SSMS ha proporcionado herramientas para la configuración, monitoreo y administración de instancias de SQL Server y bases de datos (Erinstellato-ms, 2023). Con esta herramienta, los administradores de bases de datos pueden realizar tareas como crear y administrar bases de datos, configurar la seguridad, monitorear el rendimiento y mucho más.

En el caso de GeneXus, se utilizó el SQL Server como servidor para respaldar las bases de datos generadas por la herramienta. Esto permitió guardar y recuperar de manera eficiente las tablas y la información contenida en ellas. Además, gracias a la capacidad de SQL Server para manipular y analizar datos mediante consultas, se logró una mejor comprensión de los datos generados por GeneXus.

4.4.6 PYTHON

Además de los instrumentos mencionados, también se utilizó el lenguaje de programación Python, el cual fue fundamental junto con sus librerías para el desarrollo del código de la IA implementada en el sistema EMR desarrollado. Python ha sido un lenguaje de programación con una gran biblioteca de códigos para el desarrollo de software, ciencia de datos y ML en diferentes sistemas operativos (AWS, 2022).

La librería NLTK ha sido una herramienta de procesamiento de lenguaje natural en Python y ha facilitado una amplia variedad de recursos y técnicas para el análisis de texto: los módulos, la tokenización, el etiquetado de partes del discurso, el análisis sintáctico, el análisis semántico, el análisis de sentimiento, entre otros. Esta también ha incluido una gran cantidad de corpus (conjunto de textos de muestra) y modelos preentrenados para el análisis de texto (Yogish et al., 2019).

4.4.7 MICROSOFT FORMS

Microsoft Forms fue creada para realizar encuestas, cuestionarios y sondeos. La información recolectada es analizada en tiempo real y los resultados de las respuestas son exportados a Excel (Microsoft, 2023). En ese orden de ideas, se utilizó Microsoft Forms para recolectar información y opiniones del personal de salud de los centros de salud de la región metropolitana de salud en relación con el sistema EMR.

Para asegurar la calidad de datos, se diseñó la encuesta de manera cuidadosa y se incluyeron preguntas claras y precisas relacionadas con las variables de la investigación. Una vez finalizada la recolección de datos, se realizó un análisis estadístico de las respuestas para obtener información valiosa acerca de la aceptación del sistema, la utilidad percibida y el manejo de herramientas tecnológicas por parte del personal de salud.

4.4.8 MINITAB

Minitab, conocido como un software estadístico para examinar datos, descubrir tendencias, encontrar y predecir patrones, descubrir relaciones entre variables, calcular estadísticas basadas en la información recopilada y más (Minitab, 2023).

En particular, se utilizó Minitab para realizar análisis estadísticos descriptivos e identificar patrones y tendencias en los datos recopilados; y también se utilizaron diferentes herramientas de visualización de datos, como los gráficos de barra, para presentar los resultados de manera clara y comprensible.

4.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población de estudio para esta investigación fue determinada por pacientes diagnosticados con TB en la región metropolitana de salud de San Pedro Sula, la cual brindó información de 19 centros asistenciales de nivel primario. Además, la selección de los registros se limitó al año 2022, con el fin de analizar datos recientes sobre la incidencia de la enfermedad.

En total, se obtuvo una población de 339 pacientes con TB, de los cuales se recolectó información detallada sobre su sexo, síntomas, tipo de diagnóstico, tipo de TB, patologías asociadas, casos nuevos o de recaídas, abandono y fallecimientos, tratamientos terminados y otros factores que pudieran influir en el curso de la enfermedad. Esta información ayudó con un análisis completo y detallado sobre la situación de la TB en la región. Por otro lado, la muestra seleccionada para esta investigación fue de tipo probabilística y se basó en un muestreo aleatorio simple, por eso se utilizó la fórmula para calcular el tamaño de la muestra de una población finita (Ecuación 1).

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Ecuación 1. Fórmula para calcular población finita

Fuente: (Aguilar-Barojas, 2005)

Donde:

n: tamaño mínimo de la población objetivo.

N: tamaño de la población.

Z: nivel de confianza deseado.

p: proporción aproximada del fenómeno en estudio.

q: proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio (1-p).

d: nivel de precisión absoluta.

Cabe destacar que, según los diferentes niveles de confianza, el coeficiente de Z variaba. De modo que, un 90% representaba un 1,645; el 95%, representaba un 1,96; y el 99%, un 2,576 (Aguilar-Barojas, 2005). A su vez, Hernández et al. (2014) explicaron que, en una muestra probabilística, el tamaño del universo o la población es representado por N, el error estándar máximo aceptable, o sea, el porcentaje de error potencial de tolerancia en la muestra, ha tenido el 1% y 5% como los valores más comunes. Por otro lado, el porcentaje estimado de la muestra se ha definido como la probabilidad de ocurrencia del fenómeno. Y, el nivel de confianza, que ha sido el complemento del error máximo aceptable, ha tenido niveles comunes de 95% y 99%.

Para obtención del tamaño de la muestra de la investigación, se calculó con un universo de 339, donde el error máximo aceptable era de 5%, el porcentaje estimado de la muestra era de 50 %, y el nivel deseado de confianza era de un 95%. Como resultado, se obtuvo un tamaño de muestra de 181 pacientes con TB (Ecuación 2), que fue registrado en el sistema EMR.

$$n = \frac{339 * 1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2(339 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5} = 180,33$$

Ecuación 2. Tamaño muestral

4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

La metodología de estudio se dividió en tres fases. En primer lugar, se realizó una revisión exhaustiva de los datos de pacientes con TB. Posteriormente, se recolectó información a través de encuestas al personal de salud para conocer las limitaciones y necesidades en el manejo de la información. Finalmente, se desarrolló un software para mejorar la eficiencia en el manejo de la información de pacientes.

4.6.1 REVISIÓN DOCUMENTAL RETROSPECTIVA

El análisis de datos fue una de las etapas más importantes en el proceso de investigación; así, se realizó una revisión documental retrospectiva con el objetivo de analizar los datos de fichas clínicas de 19 centros de salud de la región metropolitana de salud de San Pedro Sula durante el periodo del año 2022.

Igualmente, se realizaron visitas diarias a la región metropolitana de salud para seleccionar los datos relevantes de las fichas clínicas, los cuales se encontraban guardados en carpetas clasificadas por centro de salud, y en una sola carpeta estaban todos los datos de mortalidad y abandono anual; además, toda esa información se encontraba digitalizada por los encargados de TB en un archivo de Excel. Sin embargo, hubo algunas limitantes durante esta fase; por ejemplo, algunos campos de las fichas clínicas de los pacientes estaban incompletos, y no había un seguimiento de las dosis de los tratamientos diarios, por lo que se llevó a cabo un preprocesamiento de los datos para la obtención de datos relevantes.

Previo a ello, se realizó un análisis comparativo entre la información en papel y la digitalizada por parte del personal en Excel; esto, con el fin de incluir información relevante o descartar datos incompletos. Los datos de Excel y de las fichas clínicas de papel incluían información básica de identificación del paciente, fecha de registro, fecha de diagnóstico, inicio de tratamiento, método de diagnóstico, tipo de TB, exámenes requeridos, evolución mensual, condiciones de abandono o fallecimiento, patologías asociadas, entre otros datos. Para terminar, la información relevante de cada paciente (Tabla 5) se extrajo en un archivo aparte para su posterior inclusión en las bases de datos del sistema EMR y del código en Python.

Tabla 5. Extracción de datos

GÉNERO	Hombre	Mujer						
TIPO DE DIAGNÓSTICO	Baciloscopia	Biopsias	Jugo gástrico	TAC de tórax	Otro			
TIPO TB	Latente	Pulmonar	Extrapulmonar	TB DR	MDR	XDR-TB		
POBLACIÓN DE RIESGO #1	Alcohólico	Anemia	Cáncer	COVID-19	VIH	Diabetes mellitus (DM)	Hipertensión arterial (HTA)	Otro
POBLACIÓN DE RIESGO #2	Drogodependiente	Fumador	Extrema pobreza	Hepatopatía	Insuficiencia renal	Indigente	Migrantes	Asma
POBLACIÓN DE RIESGO #3	Trabajador de salud	Menor de 15 años	Enfermedad mental	Epilepsia	Acceso limitado a servicios de salud	Lupus	Artritis	Ninguno
PACIENTE	Nuevo	Reingreso	Abandono	Fallecido				
RESULTADOS VIH	Positivo	Negativo	No realizado	Pendiente resultados	No definido			
EGRESOS	Abandono	Fallecido	No evaluado	Tratamiento terminado	No definido	Curado	Fracaso	

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

4.6.2 RECOLECCIÓN DE DATOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS

La recolección de datos se realizó a través de una encuesta estructurada y dirigida a médicos generales y enfermeras responsables de la atención de pacientes con TB en diferentes centros de salud de la región metropolitana de San Pedro Sula. Debido a la distribución geográfica de los 19 establecimientos de salud y la apretada agenda de los profesionales de atención sanitaria, se optó por la aplicación de una encuesta por Microsoft Forms, puesto que era fácil de administrar y se pudo completar a conveniencia del personal encuestado.

El instrumento utilizado se construyó al formular preguntas sobre la infraestructura tecnológica disponible en el centro de salud donde trabajaban los encuestados, sus conocimientos y habilidades computacionales o informáticas, los desafíos que han enfrentado al manejar datos de pacientes, y su percepción sobre el uso y la implementación de un sistema EMR. También se incluyeron opciones de respuesta múltiple y de valoración, lo que facilitó a los encuestados calificar y responder de una forma más sencilla.

4.6.3 DESARROLLO DE SOFTWARE: MODELO EN V

La metodología aplicada para el desarrollo del sistema EMR fue la de modelo en V (Ilustración 13), debido a su enfoque sistemático y bien estructurado de validación y verificación, el cual aseguró que el software cumpliera con los requisitos del usuario. Se debe resaltar que este modelo fue diseñado para representar el proceso de desarrollo de software, demostrando cómo el proceso de desarrollo itera desde los requisitos del usuario hasta la solución implementada, que luego recalca una demostración final para el usuario a través de la validación del sistema diseñado (Ponce et al., 2021).

El modelo en V aplicado se dividió en dos ramas principales: una rama de verificación para la especificación de requisitos, la arquitectura del sistema, el desarrollo de las bases de datos, los módulos y componentes, el diseño de la interfaz y la codificación del módulo IA; y otra rama para la validación del software a través del registro de datos, la implementación de pruebas del sistema y la validación de la IA.

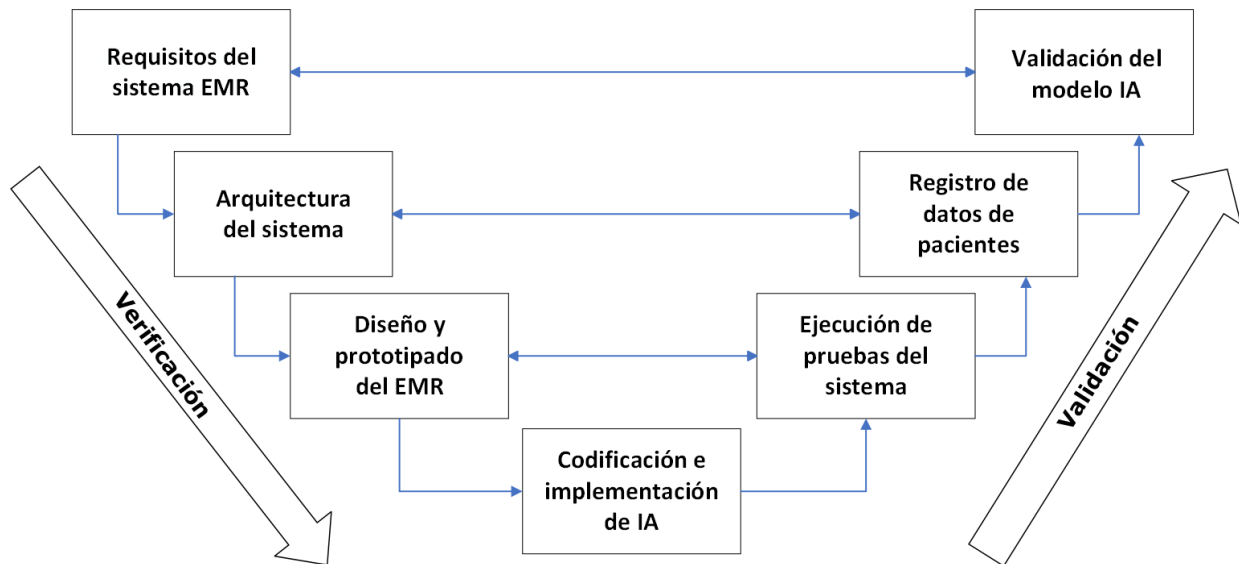


Ilustración 13. Modelo en V

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

4.6.3.1 *Requisitos del sistema*

La identificación y la definición de requisitos fueron fundamentales para garantizar que el software cumpliera con las expectativas del usuario y que fuera eficaz en su propósito (Ilustración 14); esto, debido a que se trataba de un sistema EMR con IA para el control de pacientes con una patología específica: TB. Por lo tanto, los requisitos fueron diseñados para abordar las necesidades específicas de este tipo de pacientes, así como las demandas y limitaciones de los profesionales de la salud que los atienden.

Los requisitos se clasificaron como funcionales (lo que el sistema debía hacer) y no funcionales (características que el sistema debía tener). Esto se logró a través de la recopilación de información de diferentes fuentes, como las encuestas a los usuarios, el estudio y el análisis de las fichas y los expedientes clínicos.

- Requisitos funcionales:

1. Registro y almacenamiento de datos de pacientes, incluidos la información personal, los antecedentes médicos, los exámenes de diagnóstico y laboratorio, los tratamientos y el seguimiento.

2. Generación de informes detallados y reportes de pacientes con TB para su seguimiento y control.
3. Integración de capacidades analíticas de IA para analizar la evolución de la enfermedad y detectar patrones en los datos del paciente que permitan un seguimiento adecuado a su tratamiento.
4. Alertas para el personal médico sobre pacientes que no han recibido su respectivo tratamiento.

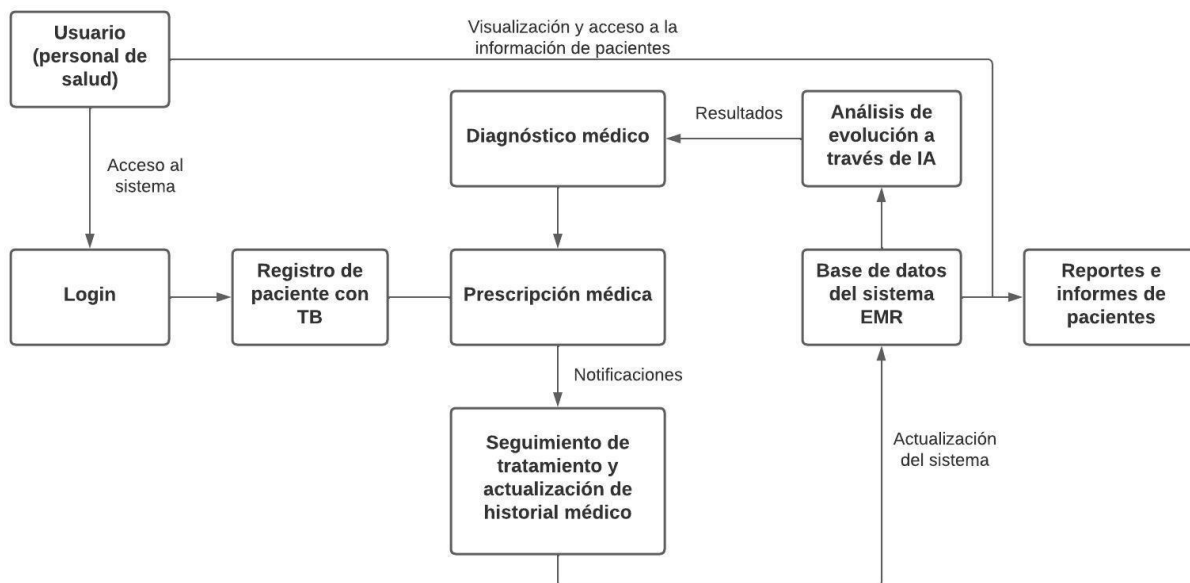


Ilustración 14. Funcionamiento básico del sistema

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

- Requisitos no funcionales:
 1. Seguridad y privacidad de la información de los pacientes.
 2. Disponibilidad y accesibilidad del sistema en todo momento para el personal médico autorizado.
 3. Facilidad de uso e interfaz amigables para los usuarios del sistema.
 4. Escalabilidad para soportar una gran cantidad de pacientes y datos.

4.6.3.2 *Arquitectura del sistema*

En la arquitectura del sistema se definieron los recursos e instrumentos a utilizar, así como los módulos principales con sus respectivos componentes y elementos, interfaces y relaciones entre ellos. Posteriormente, se seleccionó el entorno de desarrollo de Visual Studio para Windows con el lenguaje de programación de Visual Basic, que ofreció una variedad de librerías que se complementaron para el desarrollo del código en GeneXus y el SSMS. Al utilizar estos programas, la arquitectura del sistema EMR definió la estructura y la organización del software en tres niveles (Ilustración 15): base, desarrollo e interfaz gráfica.

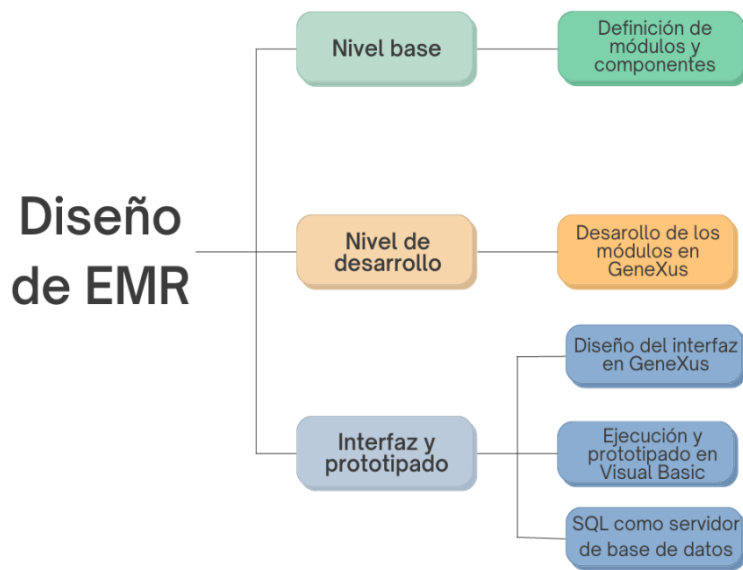


Ilustración 15. Niveles para el diseño del sistema EMR

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

El nivel base consistió en la definición de las estructuras de datos, los esquemas necesarios para el almacenamiento de información requerida y los módulos principales del software: el de ingreso de pacientes, el de consultas y el de reportes e informes. El siguiente paso fue el desarrollo de componentes, donde se llevó a cabo la construcción individual de los componentes de cada módulo del software. Por último, el nivel de interfaz y prototipado consistió en el diseño de una interfaz amigable e intuitiva para el usuario, con una navegación clara y coherente. De esta forma, se construyó una versión simplificada del software desarrollado, donde se verificaron los requisitos y especificaciones establecidos antes de obtener el software final.

4.6.3.3 *Diseño del sistema: desarrollo de módulos y componentes*

En este nivel se llevó a cabo una serie de actividades importantes, donde se construyó la estructura y las funcionalidades del sistema. Los módulos principales fueron diseñados de modo que cumplieran con los requerimientos funcionales y no funcionales, por lo que se desarrollaron de manera modular y cohesiva, de manera que los componentes dentro de cada módulo se relacionaran entre sí de forma lógica y efectiva.

Ahora bien, los componentes dentro de los módulos también se diseñaron para cumplir con una tarea específica dentro del sistema; estos incluyeron la definición de las tablas utilizadas, así como sus campos, tipos de datos y relaciones, obteniendo las funcionalidades principales: el procesamiento de datos, la gestión de pacientes, las interfaces de usuario, los informes, las consultas y las relaciones entre módulos.

Por último, en cuanto a la implementación de la base de datos de los módulos principales, se siguieron las prácticas de programación y desarrollo de software. Para ello se seleccionó el lenguaje de programación adecuado y herramientas de desarrollo, creando una solución escalable y de buena calidad.

4.6.3.4 *Diseño del sistema: interfaz y prototipo*

El nivel de interfaz y prototipo se enfocó en la creación de interfaces de usuario hasta lograr una versión preliminar del sistema EMR, lo que permitió obtener una idea visual de cómo funcionaría el software final antes de la creación del archivo ejecutable. Esto incluyó la selección, diseño y desarrollo de códigos en los componentes de la interfaz del usuario: botones, campos de entrada de datos, listas desplegadas, entre otros. Una vez que se estableció el diseño de la interfaz, se creó el prototipo que simuló el comportamiento del software final a través de Visual Basic. El prototipo ayudó a identificar errores y problemas de usabilidad, permitiendo realizar cambios necesarios antes de la fase de implementación de la IA.

4.6.3.5 *Implementación de IA*

Después de completar el diseño y el desarrollo del sistema EMR, el siguiente paso fue la implementación de la IA que primero consistió en el desarrollo de un código en Python. Para lograr esto, se descargó la librería de NLTK debido a su amplia gama de funciones para el análisis de datos y el procesamiento de lenguaje natural, logrando clasificar los datos registrados en el sistema.

Para terminar, la adaptación del código de IA al sistema EMR se realizó mediante un llamado del archivo de python en el código de la tabla de preconsulta en GeneXus. De esta manera, se aseguró que los datos almacenados en el sistema EMR se transfirieran de manera efectiva y segura entre ambos sistemas. También se utilizó la librería de Python llamada "pyodbc" para simplificar el acceso a la base de datos de SQL

4.6.3.6 *Ejecución de pruebas*

La ejecución de pruebas en el proceso de desarrollo y funcionamiento del sistema EMR garantizó el cumplimiento de los requisitos especificados de manera correcta y confiable. En este sentido, se realizaron pruebas unitarias y de integración para verificar el correcto funcionamiento individual y en conjunto del sistema.

Las pruebas unitarias consistieron en evaluaciones de interfaz de usuario, las cuales se realizaron a través de comprobaciones de llenado de campos, funcionamiento de los botones y navegación fluida en el sistema. Estas pruebas se desarrollaron de forma aislada, lo que permitió la detección y la corrección de errores en cada uno de los componentes. También se realizaron pruebas de funcionalidad y rendimiento del modelo de IA, donde se probó la capacidad del modelo al momento de manejar y procesar datos de pacientes con características diferentes.

Por otro lado, se evaluó la correcta integración de los distintos módulos y componentes del sistema, a fin de asegurar que se comunicaran adecuadamente y que los datos se transfirieran correctamente entre ellos. De igual modo, se aseguró que el modelo de IA se integrara correctamente en el sistema EMR y que utilizara toda la información documentada para generar los análisis requeridos.

Finalmente, entre las pruebas del sistema se dieron algunas de seguridad, verificando que el sistema EMR cumpliera con los requisitos de seguridad necesarios para proteger la información del paciente. Además, para confirmar la eficacia de la interfaz de usuario, la facilidad de navegación y la comprensión de las funciones del sistema, se efectuaron pruebas de usabilidad mediante el registro de pacientes de la muestra establecida.

4.6.3.7 Registro de datos

En esta fase se tuvo en cuenta el tipo de datos que se debían registrar, así como la calidad de estos, para asegurar que el modelo resultante fuera lo más preciso posible; por eso se procedió a registrar los datos de las fichas clínicas recopiladas en el sistema EMR. Es importante destacar que, para asegurar la privacidad y la confidencialidad de los pacientes, se siguieron todos los protocolos y medidas de seguridad establecidos por la región metropolitana de salud de San Pedro Sula.

Por otra parte, se registraron más de 180 pacientes con TB en el sistema, donde 15 fueron incluidos con historiales médicos y tratamientos; esto ayudó a la validación de la facilidad de uso y la escalabilidad del sistema, es decir, la simplicidad y la eficiencia que el sistema tuvo sistema para registrar información de pacientes y su capacidad para manejar grandes cantidades de datos sin comprometer el rendimiento.

4.6.3.8 Validación del modelo IA

Para validar que el modelo de IA implementado en el sistema EMR estuviera funcionando correctamente y produciendo resultados precisos y confiables, se verificó que los datos de entrada fueran procesados correctamente por el modelo, y estos se compararon con los datos de salida esperados para determinar si el modelo producía algún análisis. Pero, debido a las restricciones de privacidad, no fue posible la obtención de los historiales médicos diarios de los pacientes para documentarlos en el sistema, y para el análisis del progreso del paciente en la enfermedad y el tratamiento. Sin embargo, se diseñaron historiales médicos sintéticos para 15 pacientes seleccionados de los 181 registrados en el sistema EMR.

En ese sentido, se utilizó la metodología de juicio de expertos para la elaboración de los historiales médicos sintéticos, y los expertos en este caso fueron médicos generales de un centro de salud de la región metropolitana con experiencia en el manejo de pacientes con TB. Esto fue crucial durante la etapa de validación del sistema EMR con IA, puesto que fue allí donde se recopilaron todos los datos que sirvieron para entrenar el modelo de IA.

4.7 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

Para garantizar la calidad y la fiabilidad de los datos recopilados en el transcurso de esta investigación, estos se evaluaron y analizaron con métodos matemáticos estadísticos. La estadística empleada permitió interpretar e identificar patrones y tendencias en los datos obtenidos de manera certera, y para ello se utilizó el software Minitab y se llevó a cabo un análisis para determinar si existía una correlación entre los datos recopilados y las variables analizadas. De esta forma, se obtuvieron resultados precisos y fáciles de interpretar.

4.8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En el siguiente apartado se detallaron todas las actividades (Tabla 6) que fueron realizadas dentro de un periodo de 10 semanas para el desarrollo del proyecto de investigación final.

Tabla 6. Cronograma de actividades

Actividades para el desarrollo del proyecto de investigación	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
Propuesta de proyecto: Planteamiento del problema	■									
Autorización por parte de la región metropolitana de salud		■								
Revisión de literaturas			■							
Recolección de datos de pacientes con TB			■	■						
Análisis y selección de datos relevantes				■						
Instalación de programas				■						
Definición de módulos y componentes del EMR				■	■					
Elaboración de códigos y componentes del sistema EMR				■	■	■				
Encuestas a médicos y enfermeras de los centros de salud						■				
Diseño de interfaz y prototipado del sistema EMR						■				
Pruebas de funcionamiento del sistema EMR						■				
Desarrollo de código en Python						■	■			
Implementación de IA en el sistema EMR							■			
Pruebas de integración y funcionalidad del IA en el sistema EMR							■	■		
Registro de datos						■	■	■		
Análisis de resultados									■	
Conclusiones y recomendaciones									■	
Entrega de programa a la Región para su posible implementación									■	
Finalización de proyecto de investigación										■

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se muestran las respuestas a las preguntas de investigación planteadas, con las que se evaluó la viabilidad del proyecto y se discutieron los hallazgos en relación con la literatura existente. En general, fue un capítulo clave que permitió analizar e interpretar los datos obtenidos a través de pruebas, encuestas y otros métodos para obtener conclusiones significativas acerca del sistema desarrollado.

5.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En este segmento se presenta el análisis estadístico-descriptivo que se realiza con los datos obtenidos en el estudio, donde los resultados fueron interpretados y permitieron una evaluación objetiva de la información recopilada. En este sentido, se emplearon técnicas estadísticas por medio de softwares de visualización de datos (Minitab y Excel) que permitieron la descripción y el análisis de los datos de pacientes con TB y de encuestas realizadas al personal de salud.

5.1.1 ANÁLISIS DE LAS BASES DE DATOS DE PACIENTES CON TB

En el presente estudio, se llevó a cabo un minucioso análisis de las variables relacionadas con las condiciones clínicas de pacientes diagnosticados con TB en la región de San Pedro Sula durante el año 2022. Las variables de interés examinadas comprendieron el tipo de caso de TB, el género, las pruebas de VIH, la población de riesgo y las condiciones de egreso. El análisis permitió una comprensión más profunda de las características de la población afectada por TB.

La información proporcionada mostró la distribución de los diferentes tipos de casos de TB clasificados según el género de los pacientes (Tabla 7), donde la población total fue de n=339 casos. Al respecto, la región metropolitana de salud de San Pedro Sula los distribuyó en ocho tipos de casos de TB y, en general, se observó que la mayoría eran de un tipo nuevo pulmonar, seguido de nuevo extrapulmonar y de nuevo no confirmado. Por otro lado, los casos de recaídas, abandono recuperado y fracaso pulmonar representaron una menor proporción.

Tabla 7. Casos de TB clasificados por género

Tipo de caso	Género			
	Hombre (f)	Mujer (f)	Hombre (%)	Mujer (%)
Nuevo pulmonar	140	100	41,30 %	29,50 %
Nuevo extrapulmonar	21	15	6,19 %	4,42 %
Nuevo no confirmado	21	8	6,19 %	2,36 %
Recaído pulmonar	12	9	3,54 %	2,65 %
Abandono recuperado Pulmonar	9	1	2,65 %	0,29 %
Fracaso pulmonar	1	0	0,29 %	0,00 %
Recaído extrapulmonar	0	1	0,00 %	0,29 %
Recaído no confirmado	0	1	0,00 %	0,29 %

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Para el tipo de caso nuevo pulmonar, el porcentaje de caso en hombres fue de 41,30% (n=140) y en mujeres fue de 29,50% (n=100). En cuanto al tipo de caso nuevo extrapulmonar, se registró un 6,19% (n=21) en hombres y un 4,42 % (n=15) en mujeres. En el tipo de caso nuevo no confirmado, los hombres tuvieron un mayor registro, pues representaron el 6,19% (n=21), mientras que las mujeres fueron un 2,36% (n=8). Para los casos de recaídos pulmonares, los hombres representaron el 3,54% (n=12) y las mujeres el 2,65% (n=9).

Por otro lado, se registró un 2,65% (n=9) en hombres y un 0,29% (n=1) en mujeres en el caso de abandono recuperado pulmonar. Luego, en fracaso pulmonar, se registró el 0,29% (n=1) en hombres, pero no hubo casos de mujeres para este tipo. Además, hay dos tipos de casos (recaído pulmonar y recaído no confirmado) donde no se registraron hombres, pero sí mujeres, las cuales representaron el 0,29 % (n=1) en cada tipo (Ilustración 16).

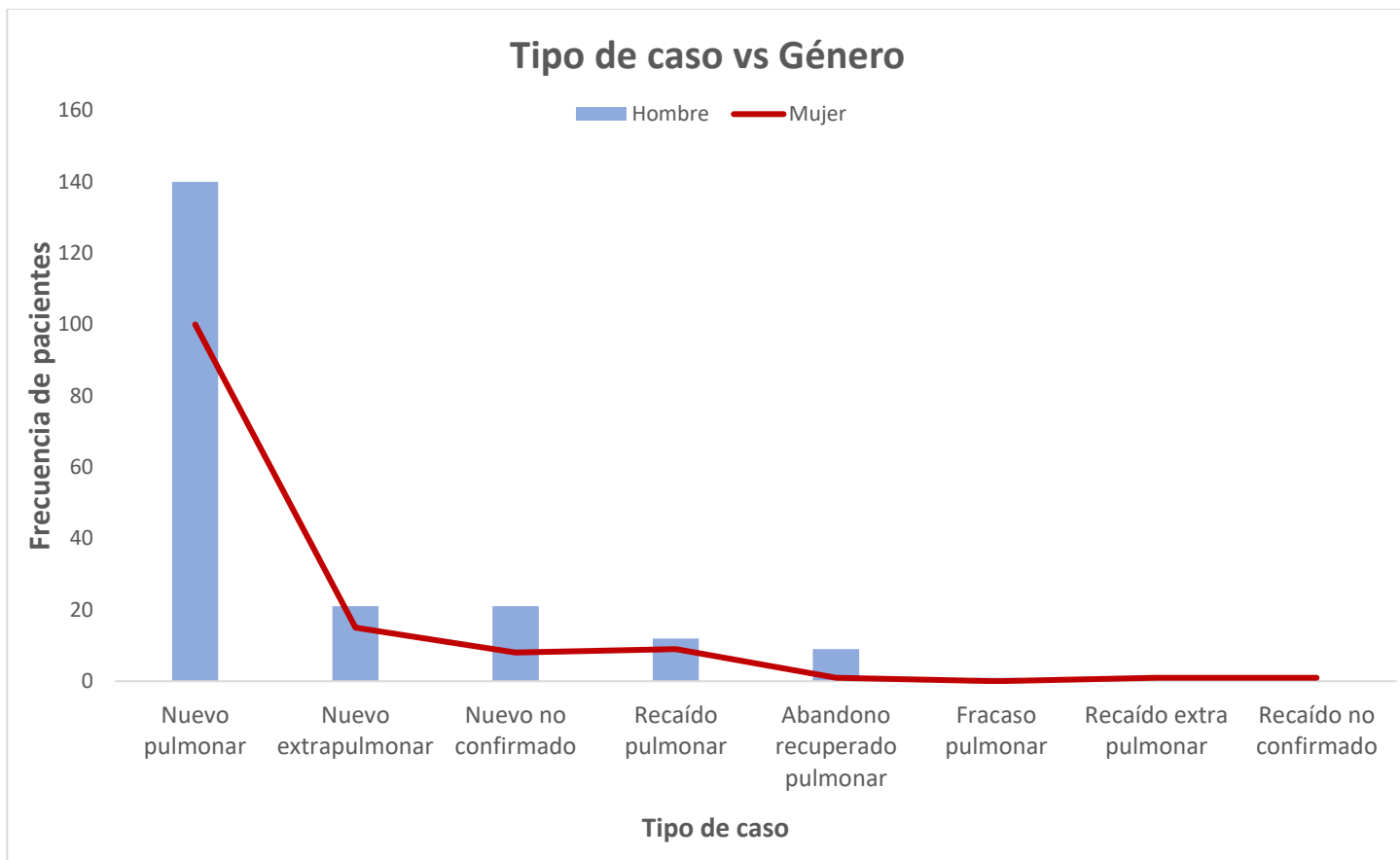


Ilustración 16. Distribución de casos TB por género

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Los datos analizados proporcionaron una visión general de la distribución de los diferentes tipos de casos de TB según género; sin embargo, se tuvo en consideración que la información pudo estar influenciada por diversos factores, como la cantidad de pacientes evaluados y la calidad de los registros médicos.

De acuerdo con un informe realizado por los CDC (2016), la TB representó una grave amenaza para la salud pública, en particular para las personas VIH positivas, debido a que estas tenían un mayor riesgo de contraer TB en comparación con otras poblaciones. En suma, se presentó la distribución de los casos de TB según el resultado del VIH y el tipo de TB en términos de frecuencia (f) y porcentaje (%) (Tabla 8), y los datos registrados demostraron que la mayoría de los casos de TB fueron negativos para VIH.

Tabla 8. VIH por tipo de TB

Resultado VIH	Tipo de TB			
	Pulmonar (f)	Extrapulmonar (f)	Pulmonar (%)	Extrapulmonar (%)
Positivo	16	4	4,72 %	1,18 %
Negativo	276	31	81,42 %	9,14 %
No realizado	3	0	0,88 %	0,00 %
Pendiente resultado	5	3	1,47 %	0,88 %
No definido	1	0	0,29 %	0,00 %

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

En cuanto al resultado de la prueba de VIH, de los 339 pacientes de TB, se calculó que n=327 de los casos tuvieron un resultado conocido, mientras que n=9 tuvieron un resultado pendiente o no definido, y n=3 no se realizaron la prueba. Pero, del total de casos con resultado conocido en pacientes con TB pulmonar, se observó que el 4,72% (n=16) presentaron un resultado positivo, mientras que el 81,42% (n=276) obtuvieron un resultado negativo. Por otro lado, los pacientes con TB extrapulmonar representaron un 9,14% (n=31) de los resultados de VIH negativo, y un 1,18% (n=4) los resultados positivos.

Asimismo, se muestra gráficamente la diferencia en la prevalencia de VIH entre los dos tipos de TB (Ilustración 17), donde esta fue mucho más alta en pacientes con TB pulmonar en comparación con pacientes con TB extrapulmonar. En el caso de la TB extrapulmonar, la cantidad de casos pendientes, no realizados y no definidos fue menor en comparación con la TB pulmonar.

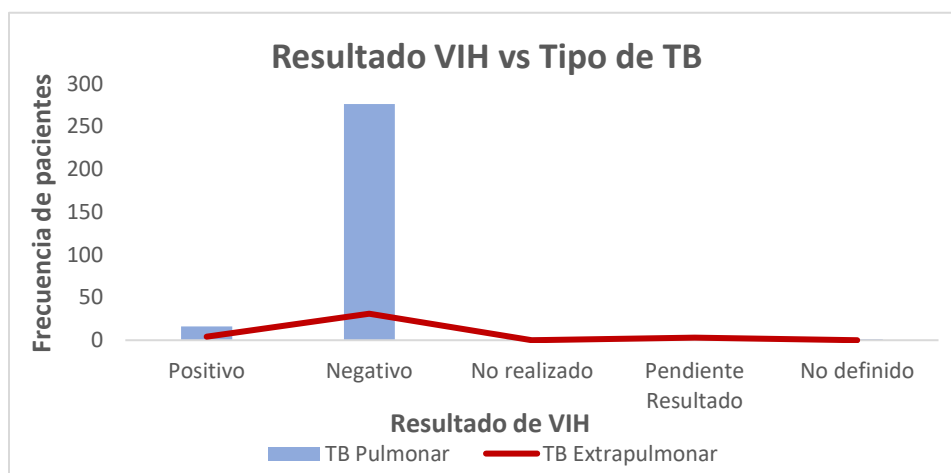


Ilustración 17. Resultados de VIH según tipo de TB

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

De modo complementario, se detalló la información sobre la frecuencia de alrededor de 40 diferentes poblaciones de riesgo (Tabla 9), donde la DM fue la afección más representativa en términos de porcentaje, con un 28,02% (n=95); seguida por la HTA, con un 10,03% (n=34); por el alcoholismo, con 7,37% (n=25); y por los drogodependientes, con 6,49% (n=22).

Tabla 9. Población de riesgo

Población de riesgo	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada relativa	Porcentaje
Alcohólico	25	25	0,0623	0,0623	7,37 %
Anemia	3	28	0,0075	0,0698	0,88 %
Artritis	1	29	0,0025	0,0723	0,29 %
Asma	0	29	0,0000	0,0723	0,00 %
Cáncer	3	32	0,0075	0,0798	0,88 %
COVID-19	3	35	0,0075	0,0873	0,88 %
Drogas	0	35	0,0000	0,0873	0,00 %
Drogodependiente	22	57	0,0549	0,1421	6,49 %
Enfermedad mental	0	57	0,0000	0,1421	0,00 %
Epilepsia	0	57	0,0000	0,1421	0,00 %
Fibrosis	0	57	0,0000	0,1421	0,00 %
Hepatitis	0	57	0,0000	0,1421	0,00 %
Histoplasmosis	0	57	0,0000	0,1421	0,00 %
HTA	34	91	0,0848	0,2269	10,03 %
Indigente	6	97	0,0150	0,2419	1,77 %
Insuficiencia venosa	0	97	0,0000	0,2419	0,00 %
Insuficiencia hepática	0	97	0,0000	0,2419	0,00 %
Insuficiencia renal	1	98	0,0025	0,2444	0,29 %
Lupus	0	98	0,0000	0,2444	0,00 %
Otros	24	122	0,0599	0,3042	7,08 %
Tabaco	9	131	0,0224	0,3267	2,65 %
Población privada de la libertad	0	131	0,0000	0,3267	0,00 %
DM	95	226	0,2369	0,5636	28,02 %
Migrante	1	227	0,0025	0,5661	0,29 %
Afrodescendiente	0	227	0,0000	0,5661	0,00 %
Positivo segundo mes	0	227	0,0000	0,5661	0,00 %
Positivo quinto mes	0	227	0,0000	0,5661	0,00 %
Positivo sexto mes	0	227	0,0000	0,5661	0,00 %

Población de riesgo	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada relativa	Porcentaje
Menor de 15 años	6	233	0,0150	0,5810	1,77 %
Trabajador de la salud	7	240	0,0175	0,5985	2,06 %
Trabajador fábrica o maquila	0	240	0,0000	0,5985	0,00 %
Contacto TB sensible	13	253	0,0324	0,6309	3,83 %
Contacto MDR	2	255	0,0050	0,6359	0,59 %
Pérdida seguimiento	0	255	0,0000	0,6359	0,00 %
Recaída	0	255	0,0000	0,6359	0,00 %
Fracaso tratamiento	0	255	0,0000	0,6359	0,00 %
Ninguno	146	401	0,3641	1,0000	43,07 %

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

De los 339 casos de TB en la población de riesgo, el 43,07% (n=146) no se encontraron en ninguna categoría o enfermedad en particular (Ilustración 18). También se identificaron poblaciones de riesgo con frecuencias muy bajas o nulas, como las de asma, drogas, epilepsia, hepatitis, histoplasmosis, insuficiencia hepática, insuficiencia venosa, lupus, población privada de la libertad, y positivos para segundo, quinto y sexto mes. Estas poblaciones de riesgo se consideraron de menor importancia en términos de su impacto en la salud de pacientes con TB.

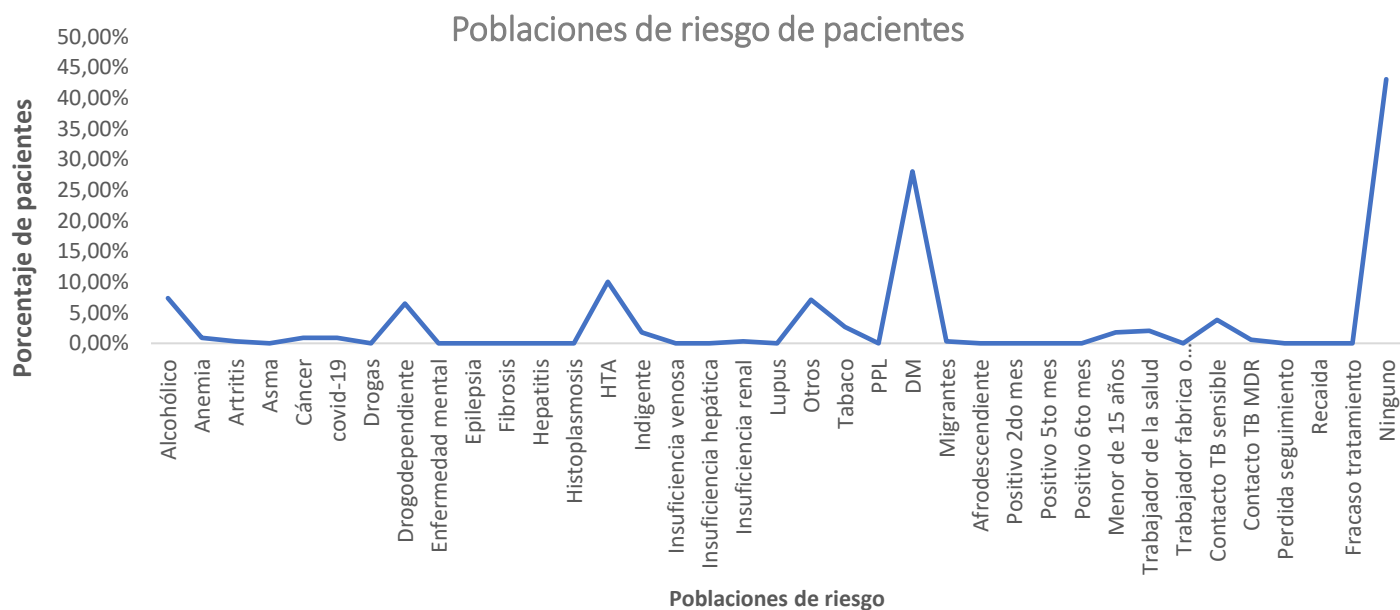


Ilustración 18. Poblaciones de riesgo

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Finalmente, se mostraron las condiciones de egreso de pacientes clasificados por tipo de TB (pulmonar o extrapulmonar) y su porcentaje correspondiente (Tabla 10). En términos generales, la mayoría de los pacientes con TB pulmonar tuvieron un resultado de egreso conocido, mientras que, para los pacientes con TB extrapulmonar, el resultado de egresos definidos fue menor.

Tabla 10. Condiciones de egreso de pacientes según TB

Condición de egreso	Tipo de TB			
	Pulmonar (f)	Extrapulmonar (f)	Pulmonar (%)	Extrapulmonar (%)
Abandono	13	1	3,83 %	0,29 %
Fallecido	23	2	6,78 %	0,59 %
No evaluado	0	1	0,00 %	0,29 %
Tratamiento terminado	7	10	2,06 %	2,95 %
No definido	139	24	41,00 %	7,08 %
Curado	118	0	34,81 %	0,00 %
Fracaso	1	0	0,29 %	0,00 %

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

De los pacientes con TB pulmonar, el 34,81% (n=118) se curó, el 41% (n=139) no fue definido, el 6,78% (n=23) falleció y el 2,06% (n=7) terminó su respectivo tratamiento. En comparación, de los pacientes con TB extrapulmonar, el 2,95 % (n=10) terminó el tratamiento, el 7,08% (n=24) no tuvo un resultado definido, y el 0,59% (n=2) falleció, pero no hubo registros de pacientes curados o con fracaso en el tratamiento.

No obstante, el abandono del tratamiento fue un problema en ambas categorías, pero fue más frecuente en pacientes con TB pulmonar (3,83 % frente a 0,29 %). En general, se visualizaron de manera clara y concisa las diferencias en las condiciones de egreso entre los tipos de TB y cómo estas diferencias fueron útiles para entender mejor la epidemiología de la enfermedad (Ilustración 19).

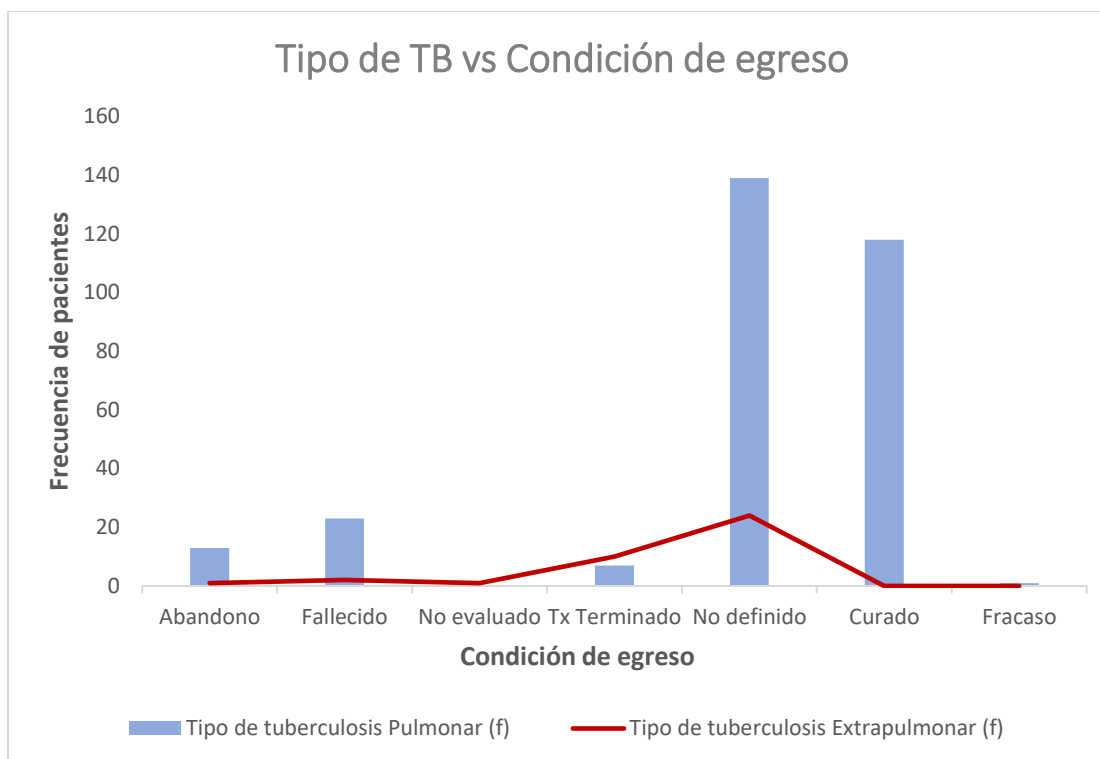


Ilustración 19. Condiciones de egreso de pacientes según TB

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

5.1.2 RESULTADOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS

En el contexto de la encuesta realizada al personal de salud de los centros de atención médica de la región de San Pedro Sula, se recolectaron y analizaron los datos obtenidos y se identificaron patrones y tendencias en las respuestas de los participantes. A través de la combinación de metodologías cuantitativas y cualitativas, se obtuvo una visión más completa y detallada de las percepciones y experiencias del personal de salud en relación con el tema del proyecto de investigación.

5.1.2.1 *Análisis de datos cualitativos*

Se registró la participación de 27 profesionales de la salud, quienes proporcionaron información sobre el uso de sistemas EMR. Esta información fue desglosada por profesión, por lo que se muestra el número de encuestados que han trabajado con un sistema EMR y los que no han tenido la oportunidad de trabajar en uno, así como el porcentaje correspondiente (Tabla 11).

Aunado a lo anterior, de los médicos generales encuestados, se identificó que solo el 22,22% (n=6) ha trabajado con un sistema EMR, mientras que el 48,15% (n=13) no lo ha hecho. En cuanto a las enfermeras, solo el 7,41% (n=2) ha trabajado con un sistema EMR, mientras que el 22,22% (n=6) no ha tenido la oportunidad de hacerlo. Estos datos advirtieron que la implementación de los sistemas EMR puede no ser igualmente accesible para todos los profesionales de la salud.

Tabla 11. Profesionales de la salud que han trabajado con EMR

Profesión	Ha trabajado con un sistema EMR			
	Si (f)	No (f)	Si (%)	No (%)
Médico general	6	13	22,22 %	48,15 %
Enfermera	2	6	7,41 %	22,22 %

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

También se obtuvo información sobre el tipo de registro médico utilizado por el personal de atención médica en el centro de salud donde labora (Tabla 12), siendo la frecuencia del registro en papel la más alta, porque representó el 77,78% (n=21) de los proveedores de atención médica encuestados, y el segundo tipo de registro más utilizado fueron Excel u otras hojas de cálculo (n=3) y el EMR (n=3), con un 11,11% del personal de salud en cada caso.

Tabla 12. Registros médicos utilizados

Tipo de registro	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada relativa	Porcentaje
Papel	21	21	0,7778	0,7778	77,78 %
Excel u otro tipo de hoja de cálculo	3	24	0,1111	0,8889	11,11 %
EMR	3	27	0,1111	1,0000	11,11 %
Otro	0	27	0,0000	1,0000	0,00 %

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

De esta manera, se demostró que la mayoría del personal de la salud ha utilizado el registro en papel, mientras que un pequeño porcentaje ha trabajado en Excel u otro tipo de hojas de cálculo como alternativa (Ilustración 20).



Ilustración 20. Registros médicos utilizados por el personal de salud

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

De acuerdo con los registros seleccionados, el personal de la salud indicó el periodo de tiempo para actualizar los registros médicos de sus pacientes. Ante esto, los resultados mostraron que la mayoría de los médicos y enfermeras actualizan la información diariamente (22,22%, n=6 para ambos casos). Además, se observó que un porcentaje significativamente menor de médicos actualizan la información semanalmente (18,52%, n=5) en comparación con las enfermeras (7,41%, n=2) (Tabla 13). Con respecto a la actualización mensual, se pudo ver que el 29,63% (n=8) de los médicos actualizan la información mensualmente, mientras que ninguna de las enfermeras encuestadas actualiza la información de manera mensual.

Tabla 13. Actualización de información del paciente por parte del profesional de salud

Actualización de información	Profesión			
	Médico (f)	Enfermera (f)	Médico (%)	Enfermera (%)
Diariamente	6	6	22,22 %	22,22 %
Semanalmente	5	2	18,52 %	7,41 %
Mensualmente	8	0	29,63 %	0,00 %

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Este análisis demostró que tanto los médicos como las enfermeras de los centros médicos han priorizado la actualización frecuente de la información de sus pacientes; sin embargo, también se observó una diferencia significativa entre médicos y enfermeras en cuanto a la frecuencia de actualización semanal y mensual (Ilustración 21).

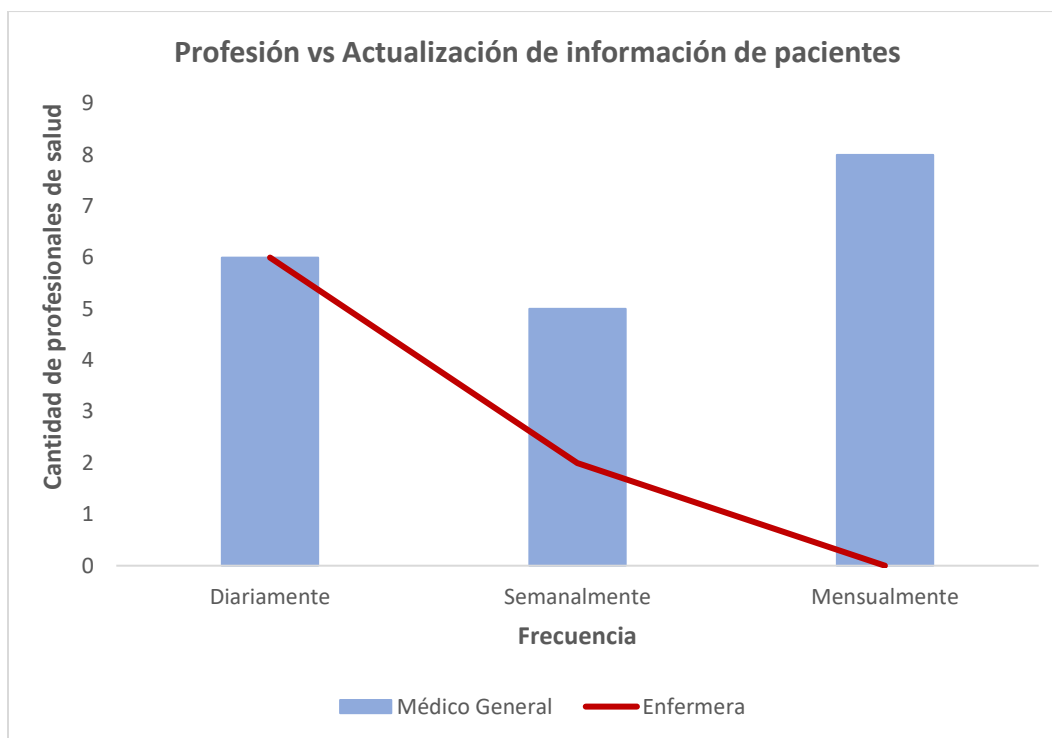


Ilustración 21. Actualización frecuente de la información médica del paciente por parte del profesional de salud

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Los expertos en el campo de la salud identificaron los problemas que surgieron al momento de trabajar con los registros o historiales médicos de sus pacientes (Tabla 14). En general, el problema más común encontrado por el 62,96% (n=17) de los encuestados fue la pérdida de información. Otro problema común que señaló un 51,85% (n=14) del personal de salud fue la incapacidad de encontrar el registro o historial médico del paciente. Un 40,74% (n=11) indicó la falta de acceso inmediato a la información del paciente, mientras que el 25,93% (n=7) seleccionó la duplicación de información y solo el 9,26 % de médicos y/o enfermeras indicaron que no han tenido ningún tipo de problema.

Tabla 14. Problemas identificados en los registros médicos del paciente

Problemas	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada relativa	Porcentaje
No encuentra el registro o historial médico	14	14	0,2593	0,2593	51,85 %
No tiene acceso inmediato a la información del paciente	11	25	0,2037	0,4630	40,74 %
Pérdida de información	17	42	0,3148	0,7778	62,96 %
Duplicación de información	7	49	0,1296	0,9074	25,93 %
Ninguno	5	54	0,0926	1,0000	18,52 %

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

En cuanto a las herramientas tecnológicas para el registro de datos de pacientes en los centros de salud, se evidenció que el 48,15% (n=13) de los médicos generales tienen acceso a computadoras, mientras que el 22,22% (n=6) de las enfermeras tienen acceso a ellas. Pero un 22,22% (n=6) de los médicos generales y un 7,41% (n=2) de las enfermeras no tienen acceso a una computadora en su centro de salud (Tabla 15). Estos resultados indicaron que, aunque la mayoría de los profesionales de salud afirmaron que tenían acceso a una computadora, siempre hubo una proporción significativa a la falta de acceso de esta herramienta tecnológica.

Tabla 15. Personal de la salud con acceso a computadoras

Profesión	Acceso a computadora(s)			
	Sí (f)	No (f)	Sí (%)	No (%)
Médico general	13	6	48,15 %	22,22 %
Enfermera	6	2	22,22 %	7,41 %

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Al mismo tiempo, se les preguntó a los encuestados si, además de tener computadoras, también contaban con internet (Tabla 16). Los resultados sobre el acceso a internet o wifi en su lugar de trabajo fueron los siguientes: un 48,15% (n=13) de médicos generales afirmó que sí tenían acceso, mientras que el 22,22% (n=6) indicó que no. En el caso de las enfermeras, el 18,52% (n=5) afirmó tener acceso a internet o wifi, mientras que el 11,11% (n=3) respondió que no.

Tabla 16. Acceso a internet en los centros de salud

Profesión	Acceso a internet/wifi			
	Sí (f)	No (f)	Sí (%)	No (%)
Médico general	13	6	48,15 %	22,22 %
Enfermera	5	3	18,52 %	11,11 %

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

La mayoría de los encuestados (59,26%, n=16) indicó que se necesita mejorar la infraestructura tecnológica en su centro de salud para implementar un sistema EMR con IA, mientras que un 25,93% (n=7) de los encuestados indicó que ya cuentan con la infraestructura necesaria, y solo un 14,81% (n=4) de los encuestados indicó que no cuentan con la infraestructura necesaria o suficiente (Tabla 17).

Tabla 17. Infraestructura tecnológica

Infraestructura tecnológica necesaria para un EMR	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada relativa	Porcentaje
Sí	7	7	0,2593	0,2593	25,93 %
Necesita mejorar	16	23	0,5926	0,8519	59,26 %
No	4	27	0,1481	1,0000	14,81 %

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Por otra parte, se demostró una buena aceptación y una percepción positiva de la implementación de un sistema EMR con IA para el control de pacientes con TB. El 77,78% (n=21) de los participantes señaló que sí es posible mejorar el control de pacientes con TB a través de un sistema EMR con IA, mientras que el 22,22% (n=6) de ellos respondió que “quizás” (Tabla 18), pero ninguno de los participantes respondió “no” a esta pregunta.

Tabla 18. Percepción del personal de salud sobre el EMR con IA para pacientes con TB

El control de pacientes con TB puede mejorar a través de un sistema EMR con IA	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada relativa	Porcentaje
Sí	21	21	0,7778	0,7778	77,78 %
Quizás	6	27	0,2222	1,0000	22,22 %
No	0	27	0,0000	1,0000	0,00 %

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

De acuerdo con lo anterior, los profesionales de la salud indicaron los factores que influyeron en la aceptación potencial para trabajar con un sistema EMR con IA (Tabla 19). Se encontró que el 55,56% (n=15) del personal valoraron la disponibilidad y la accesibilidad del sistema como los factores más importantes en la aceptación potencial del sistema EMR con IA, y esto demostró que los profesionales de la salud consideran muy importante acceder fácilmente al sistema y utilizarlo en el momento en que lo necesiten.

Por otra parte, el 51,85% (n=14) de los encuestados indicaron como segundos factores más importantes la conveniencia y la facilidad de uso del sistema, mientras que un 33,33 % (n=9) valoraron la fiabilidad y la precisión del sistema para su uso continuo. Finalmente, la opción "otros" fue seleccionada por el 7,41% (n=2) de los encuestados, lo que indicó que había otros factores no incluidos en la encuesta que también influían en la aceptación potencial del sistema EMR con IA.

Tabla 19. Factores que influyeron en aceptar el posible uso de un sistema EMR con IA

Factores	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada relativa	Porcentaje
Disponibilidad y accesibilidad del sistema	15	15	0,3750	0,3750	55,56 %
Fiabilidad y precisión del sistema	9	24	0,2250	0,6000	33,33 %
Conveniencia y facilidad de uso	14	38	0,3500	0,9500	51,85 %
Otros	2	40	0,0500	1,0000	7,41 %

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

5.1.2.1 *Análisis de datos cuantitativos*

Para cada una de las cinco variables medidas en la encuesta, se presentó el número total de las respuestas válidas (N) y el porcentaje correspondiente al total de la muestra (Tabla 20). También se proporcionaron la media, el error estándar de la media, la desviación estándar, la varianza, el coeficiente de variación, la mediana, el mínimo y el máximo, y el primer y el tercer cuartil para cada variable. Además, se compartieron el rango, el rango intercuartil, el modo, el número de casos que corresponden al modo, la asimetría y la curtosis de cada variable.

La primera variable fue referente a los problemas de acceso a los registros médicos del paciente. En este caso, los participantes calificaron del 1 al 5 la frecuencia con la que han experimentado este tipo de problema, donde 1 significaba "nunca"; 2, "raramente"; 3, "a veces"; 4, "con frecuencia"; y 5, "siempre".

En ese sentido, se registró una media de 2,704, con un error estándar de 0,225, y fue la variable con mayor desviación estándar (1,171); esto indicó que, en general, los participantes reportaron un acceso limitado a la información del paciente, con una dispersión moderada de las respuestas. Asimismo, el rango de valores fue de 4 y la mediana fue de 3, debido a que la mitad de los participantes informó problemas de acceso menor o igual a 3, mientras que la otra mitad informó problemas de acceso mayor o igual a 3. La moda fue de 7 para las calificaciones 2 (raramente), 3 (a veces) y 4 (con frecuencia) de la variable. El valor del cuartil Q1 fue de 2, el del cuartil Q3 de 4, y el rango intercuartil (Q3-Q1) fue de 2; esto indicó que el 50 % de los encuestados tuvo una calificación de acceso a los registros médicos de pacientes de entre 2 y 4.

De igual manera, los valores de problemas de acceso a la información del paciente oscilaron entre 1 (nunca ha presentado problemas) y 5 (siempre ha presentado problemas). Con esto se obtuvo una asimetría muy cercana a cero (0,01), lo que indicaba que la distribución de las respuestas tenía un sesgo ligeramente positivo; además, su curtosis fue negativa (-1,02), por lo que los datos fueron platicúrticos, es decir, tuvieron una distribución aplanada (Ilustración 22).

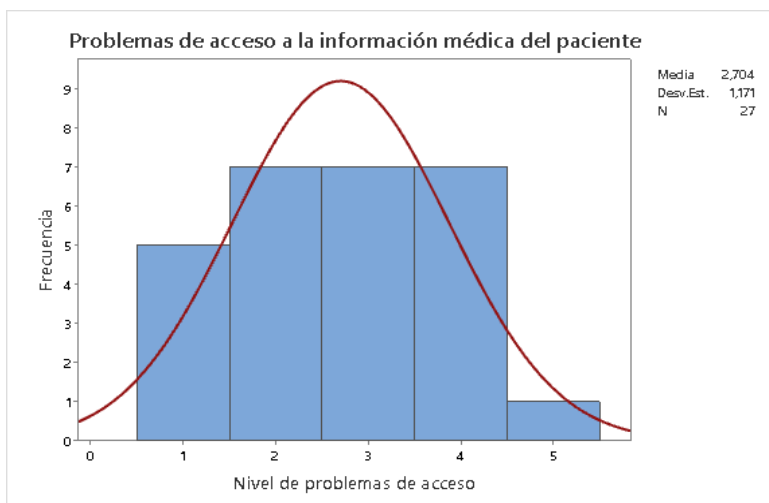


Ilustración 22. Frecuencia de problemas de acceso a los registros médicos

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

La segunda variable analizada fue la comodidad al utilizar herramientas tecnológicas. En esta evaluación, los profesionales de salud asignaron una calificación del 1 al 5, con la que expresaron su nivel de comodidad al utilizar herramientas tecnológicas en su lugar de trabajo. La calificación 1 indicaba "nada cómodo", mientras que 5 significaba "muy cómodo".

Así, el resto de los valores intermedios indicaron diferentes niveles de comodidad: poco cómodo, neutral y cómodo. Esta variable contó con una media de 4,444, con un error estándar de 0,163 y una desviación estándar de 0,847. En general, los participantes reportaron un nivel alto de comodidad al utilizar herramientas tecnológicas para trabajar; el valor mínimo fue 2 (poco cómodo), mientras que el máximo fue de 5 (muy cómodo), y su coeficiente de variación fue de 19,06, lo que significa que la distribución de las respuestas fue relativamente homogénea.

Aunado a esto, el rango de valores para esta variable fue de 3 y la mediana fue de 5, lo que indicó que la mayoría de los participantes reportó una alta comodidad al utilizar herramientas tecnológicas. En cuanto a la moda, esta fue de 16 veces para la calificación 5 (muy cómodo) de la variable; además, el valor del cuartil Q1 fue de 4, el del cuartil Q3 de 5, y el rango intercuartil (Q3-Q1) fue de 1, lo que indicó que el 50 % del personal de salud tuvo una calificación de entre 4 y 5. Mientras que, la asimetría fue de -1,86, lo que indicaba un sesgo negativo, es decir, que la cola de la distribución estaba desplazada hacia la izquierda (Ilustración 23). En suma, la curtosis fue una distribución leptocúrtica, dado que tuvo un valor de 3,51, lo cual implicaba una distribución aguda y concentrada.

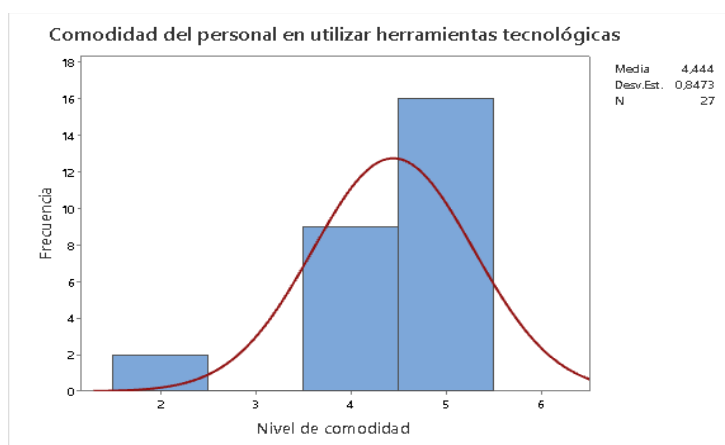


Ilustración 23. Nivel de comodidad del personal de salud en el uso tecnologías

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

La tercera variable correspondió al nivel de conocimiento tecnológico del personal de salud. En esta instancia, los encuestados evaluaron con una escala del 1 al 5 su habilidad para utilizar herramientas tecnológicas en su trabajo, donde 1 indicaba un nivel de "novato"; 2, "principiante"; 3, "intermedio"; 4, "avanzado"; y 5, "experto". De esta manera, se obtuvo una media de 3,333, con un error estándar de 0,131 y una desviación estándar de 0,679. Los valores mínimo y máximo para fueron de 2 (principiante) y 5 (experto) respectivamente, debido a que algunos participantes reportaron un conocimiento limitado, mientras que otros reportaron un conocimiento más completo de tecnología.

Además, el rango de valores y la mediana para esta variable fueron de 3 y el coeficiente de variación fue de 20,38, mientras que la moda fue de 15 veces la calificación de 3 (intermedio) para la variable. Finalmente, el 50 % de los participantes reportaron un nivel medio de conocimiento tecnológico de entre 3 y 4; esto, dado que el primer cuartil fue de 3 y el tercero fue de 4, por lo que el rango intercuartil (Q3-Q1) fue de 1.

Para este caso, la asimetría fue de 0,26, lo que indicó un ligero sesgo positivo, es decir, que la cola de la distribución se encontró desplazada hacia la derecha. Finalmente, la curtosis obtuvo un valor cercano a cero (0,26), pero su distribución fue leptocúrtica, o sea, que la distribución fue aguda y concentrada en comparación con una distribución normal (Ilustración 24).

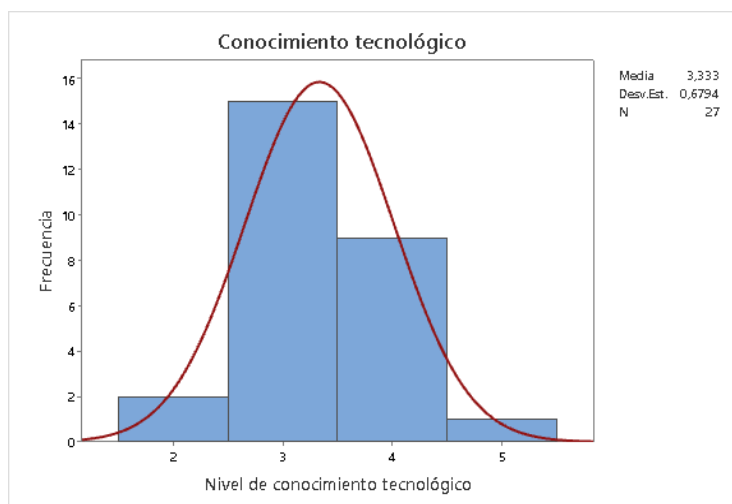


Ilustración 24. Nivel de conocimiento tecnológico de los profesionales de salud

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

La cuarta variable evaluada fue la disposición de utilizar un sistema EMR con IA, para lo cual se le pidió al personal de salud que calificara del 1 al 5 su nivel de disposición. Es importante destacar que el valor 1 indicaba "nada dispuesto"; el 2, "poco dispuesto"; el 3, "neutral"; el 4, "dispuesto"; y el 5, "muy dispuesto".

El valor de la media fue de 4,333 con un error estándar de 0,119 y una desviación estándar de 0,620, y el coeficiente de variación fue de 14,31, lo que indicó una baja variabilidad en los datos. Adicionalmente, el rango fue de 2, el valor mínimo fue de 3 (neutral) y el máximo fue de 5 (muy dispuesto). Por otra parte, la mediana fue de 4, por lo que el valor central de la distribución se encontró en este punto. De esta manera, el modo fue de 4 con una frecuencia de 14, y el rango intercuartil fue de 1, lo que significó que la mayoría de los participantes (50 %) tuvo una disposición de entre 4 y 5 para utilizar un sistema EMR con IA.

Además, se observó una asimetría con sesgo negativo (-0,35), es decir, que la cola de la distribución estaba desplazada hacia la izquierda, y la curtosis fue de -0,54, por lo que se determinó una distribución platicúrtica (Ilustración 25), es decir, que tuvo una distribución aplanada.

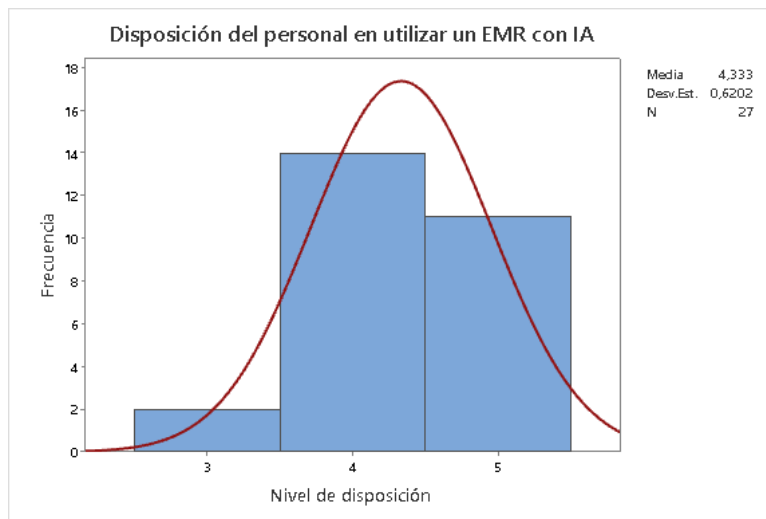


Ilustración 25. Disposición para trabajar con un sistema EMR con IA

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Finalmente, para la variable nivel de confianza del sistema, los profesionales de salud evaluaron del 1 al 5 su nivel de confianza hacia un sistema EMR con IA. Cabe destacar que la calificación 1 implicaba un valor de "ninguna confianza"; el 2, "poca confianza"; el 3, "neutral"; el 4, "bastante confianza"; y el 5, "total confianza".

Ante esto, la variable obtuvo una media de 3,889 con un error estándar de 0,163; asimismo, el coeficiente de variación fue de 21,79, el rango fue de 2 y el modo fue de 3 (neutral), el cual se seleccionó 11 veces. Por otro lado, los valores mínimo y máximo del nivel de confianza en el sistema oscilaron entre 3 (neutral) y 5 (total confianza), y el rango intercuartil fue de 2 con un promedio de 3,89, lo que indicó que la mayoría de los participantes tenían un nivel de confianza en el sistema entre moderado y alto. Con esto se consiguió una asimetría con un ligero sesgo positivo (0,22), es decir, que la cola de la distribución se encontró desplazada hacia la derecha (Ilustración 26). Por último, la curtosis tuvo una distribución platocúrtica (-1,59), pues tuvo una distribución aplanada.

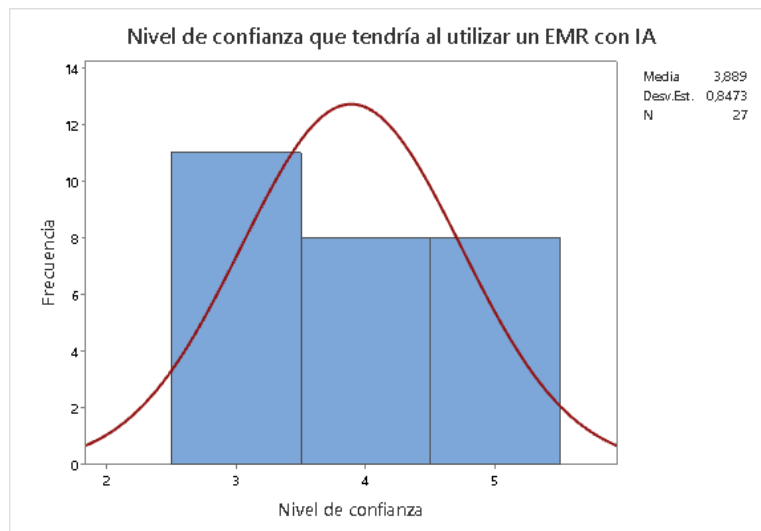


Ilustración 26. Nivel de confianza en el sistema EMR con IA

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Tabla 20. Análisis de variables para la implementación de un sistema EMR con IA

Variable	Conteo total	N	N*	Número acumulado	Porcentaje	Porcentaje acumulado	Media	Error estándar de la media
Problemas de acceso a los registros médicos del paciente	27	27	0	27	100	100	2,704	0,225
Comodidad al utilizar herramientas tecnológicas	27	27	0	27	100	100	4,444	0,163
Nivel de conocimiento tecnológico	27	27	0	27	100	100	3,333	0,131
Disposición para utilizar un sistema EMR con IA	27	27	0	27	100	100	4,333	0,119
Nivel de confianza en el sistema	27	27	0	27	100	100	3,889	0,163

Variable	Desviación estándar	Varianza	Coficiente de variación	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Problemas de acceso a los registros médicos del paciente	1,171	1,370	43,30	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000
Comodidad al utilizar herramientas tecnológicas	0,847	0,718	19,06	2,000	4,000	5,000	5,000	5,000
Nivel de conocimiento tecnológico	0,679	0,462	20,38	2,000	3,000	3,000	4,000	5,000
Disposición para utilizar un sistema EMR con IA	0,620	0,385	14,31	3,000	4,000	4,000	5,000	5,000
Nivel de confianza en el sistema	0,847	0,718	21,79	3,000	3,000	4,000	5,000	5,000

Variable	Rango	IQR	Modo	Número para moda	Asimetría	Curtosis
Problemas de acceso a los registros médicos del paciente	4,000	2,000	2; 3; 4	7	0,01	-1,02
Comodidad al utilizar herramientas tecnológicas	3,000	1,000	5	16	-1,86	3,51

Variable	Rango	IQR	Modo	Número para moda	Asimetría	Curtosis
Nivel de conocimiento tecnológico	3,000	1,000	3	15	0,26	0,26
Disposición para utilizar un sistema EMR con IA	2,000	1,000	4	14	-0,35	-0,54
Nivel de confianza en el sistema	2,000	2,000	3	11	0,22	-1,59

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

5.2 DESARROLLO DEL SISTEMA EMR CON IA

A continuación, se describe detalladamente cada etapa del proceso del diseño y desarrollo del EMR, desde la identificación de requerimientos hasta la implementación y pruebas del sistema. Además, se explica cómo se llevó a cabo la integración de la IA en el sistema y las pruebas de funcionamiento realizadas.

5.2.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA: NIVEL BASE

En esta fase se definieron los componentes principales del sistema EMR. En primer lugar, se establecieron los módulos de ingreso de los datos personales del paciente: identidad, nombre, edad, domicilio y profesión. Luego se definió el módulo de consultas e historial médico, que incluyó notas clínicas, diagnóstico, exámenes físicos y de laboratorio, archivos, patologías asociadas, hábitos, prescripciones médicas, registro de resultados, entre otros. Cabe mencionar que, los componentes se basaron en las fichas y los expedientes clínicos de pacientes con TB que se encontraban en los archivos de la región metropolitana de salud en San Pedro Sula, con lo que se realizó, de cierta manera, un sistema EMR más específico y parecido al registro en papel.

Dentro de ese mismo módulo, se estableció un componente para el control diario del paciente, y este mostraba su estatus en la etapa de tratamiento, a fin de que los médicos tuvieran un mejor control en cuanto a la adherencia al tratamiento del paciente y los resultados positivos en su evolución. Por último, se incluyó el módulo de reportes e informes para la obtención de los datos de los pacientes, generando los informes de la tendencia de pacientes con TB en los centros de salud, así como de pacientes con tratamiento terminado, abandonado y/o fallecidos.

5.2.2 DESARROLLO DE COMPONENTES

En el nivel de desarrollo del sistema se crearon todas las tablas necesarias para la base de datos en la opción de diseño en GeneXus; para esto se inició con las transacciones de cada tabla (Ilustración 27), en las cuales se establecieron las respectivas llaves primarias y foráneas (Ilustración 28), se registró el tipo de información que debía tener cada una de ellas y se desarrolló el código de cada elemento.

Name	Description	Type
Gx0010	Selection List PROFESIONES	Prompt
Gx00K0	Selection List RECETAS	Prompt
Gx00L3	Selection List LevelI	Prompt
Gx00V0	Selection List DIAGNOSTICOS	Prompt
Gx00W0	Selection List CLINICA	Prompt
Gx00X0	Selection List Usuarios	Prompt
AGENDA	AGENDA	Transaction
CLAEXAM	CLAEXAM	Transaction
CLINICA	CLINICA	Transaction
DEPARTAMENTOS	DEPARTAMENTOS	Transaction
DIAGNOSTICOS	DIAGNOSTICOS	Transaction
ESTUDIOS	ESTUDIOS	Transaction
EVOLUCIONES	EVOLUCIONES	Transaction
EXAMENES	EXAMENES	Transaction
FISICOS	FISICOS	Transaction
MEDICAMENTOS	MEDICAMENTOS	Transaction
MUNICIPIOS	MUNICIPIOS	Transaction
PACIENTE	PACIENTE	Transaction
PAISES	PAISES	Transaction
PRECONSULTA	PRECONSULTA	Transaction
Prescripciones	Prescripciones	Transaction

Ilustración 27. Transacciones

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Structure	Type	Description	Nulls
PACIENTE			
PacCedPac	Character(20)	No. Cedula	No
PacNomPac1	Character(20)	1er Nombre	Yes
PacNomPac2	Character(20)	2do Nombre	Yes
PacApePac1	Character(20)	1er Apellido	Yes
PacApePac2	Character(20)	2do Apellido	Yes
PacFecPac	Date	Fecha Nacimiento	Yes
PacEdaPac	Numeric(2,0)	Edad	Yes
PacSexPac	Character(9)	Genero	Yes
PacTipPac	Character(3)	Grupo Sanguineo	Yes
PacCelPac	Character(20)	Celular	Yes
PacTelPac	Character(20)	Telefono Fijo	Yes
PacErmePac	Character(20)	Tel Emergencia	Yes
PaiCodPai	Numeric(4,0)	Codigo	Yes
PaiNomPai	Character(20)	Pais	
DepCodDep	Numeric(4,0)	Codigo	Yes
DepNomDep	Character(30)	Departamento	
MunCodMun	Numeric(4,0)	Codigo	Yes
MunNomMun	Character(40)	Municipio	
PacDirPac	Character(60)	Direccion	Yes
PacEstPac	Character(20)	Estado	Yes

Ilustración 28. Estructura de la tabla de pacientes

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Como segundo paso se diseñaron los workpanels de las transacciones (Ilustración 29) para el diseño, la creación y la modificación de los componentes desarrollados. Cada workpanel creado mostró las propiedades, las reglas y los eventos de las transacciones, lo que permitió la definición de consultas interactivas de la base de datos creada.

Por otro lado, GeneXus generó automáticamente una interfaz de usuario una vez que se realizaron todas las tablas y los códigos de las transacciones y los workpanels. Sin duda alguna, el uso de estos facilitó el trabajo de la interfaz de manera intuitiva y organizada, lo que permitió una mayor eficiencia y la productividad en el proceso del desarrollo del sistema.



Name	Description	Type
Buscar	Buscar	Work Panel
CAM	CAM	Work Panel
Captura	Captura	Work Panel
Captura2	Captura2	Work Panel
ClaseExámenes	Clases Exámenes	Work Panel
Diagnostico	Diagnostico Médico	Work Panel
Estudios	Examen de Diagnostico	Work Panel
Evoluciones	Evoluciones de Visitas	Work Panel
FechaHora	Fecha Hora	Work Panel
Fisico	Exámenes Fisicos	Work Panel
FotoAmp	Foto Ampliada	Work Panel
ID	ID	Work Panel
Medicamentos	Medicamentos	Work Panel
Pacientes	Pacientes	Work Panel
Prescripciones	Prescripción y Órdenes Médicas	Work Panel

Ilustración 29. Workpanels

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Posteriormente, se procedió con la creación de la carpeta del menú, la cual fue utilizada para el diseño del menú principal del software desarrollado. Esta carpeta incluyó la barra de menú, que contaba con una interfaz establecida por GeneXus (Ilustración 30) a través de los datos ya implementados, pero esta fue editada para agregar o eliminar elementos en el menú.

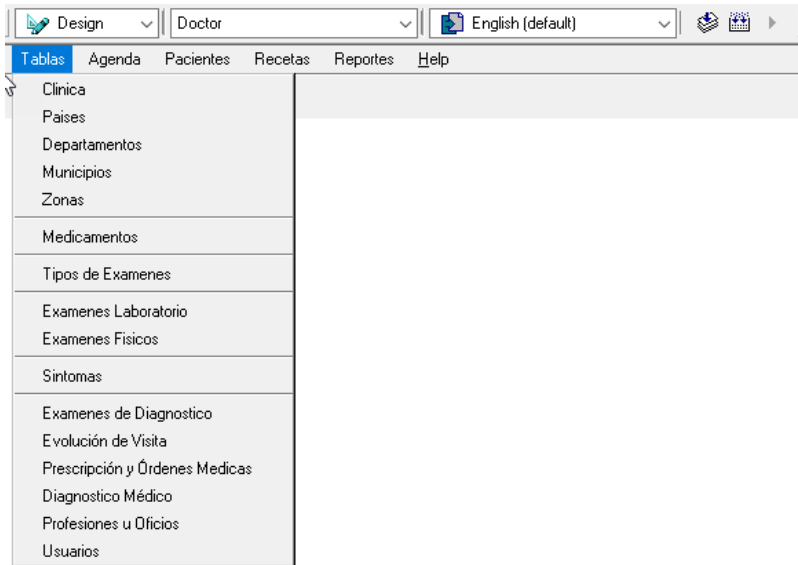


Ilustración 30. Menú del sistema

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Además, se creó otro workpanel en la misma carpeta del menú, y para ello también se configuró un código para cada uno de los elementos establecidos en el menú, incluido un panel de login para el acceso al sistema. Finalmente, se realizaron los reportes, los cuales contaron con su propio código y con los eventos que permitieron imprimir la información de las tablas señaladas (Ilustración 31). En este caso, se crearon los reportes generales de pacientes con tratamientos terminados, fallecidos y de aquellos que abandonaron su respectivo tratamiento.



Ilustración 31. Reporte general de pacientes

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

5.2.3 INTERFAZ GRÁFICA Y PROTOTIPADO

El programa GeneXus facilitó el proceso de diseño de la interfaz de usuario, debido a que la generó automáticamente después de crear el contenido; sin embargo, la interfaz necesitó de ajustes y modificaciones que estuvieran de acuerdo con los requisitos establecidos, de modo que fuera intuitiva y amigable (Ilustración 32).

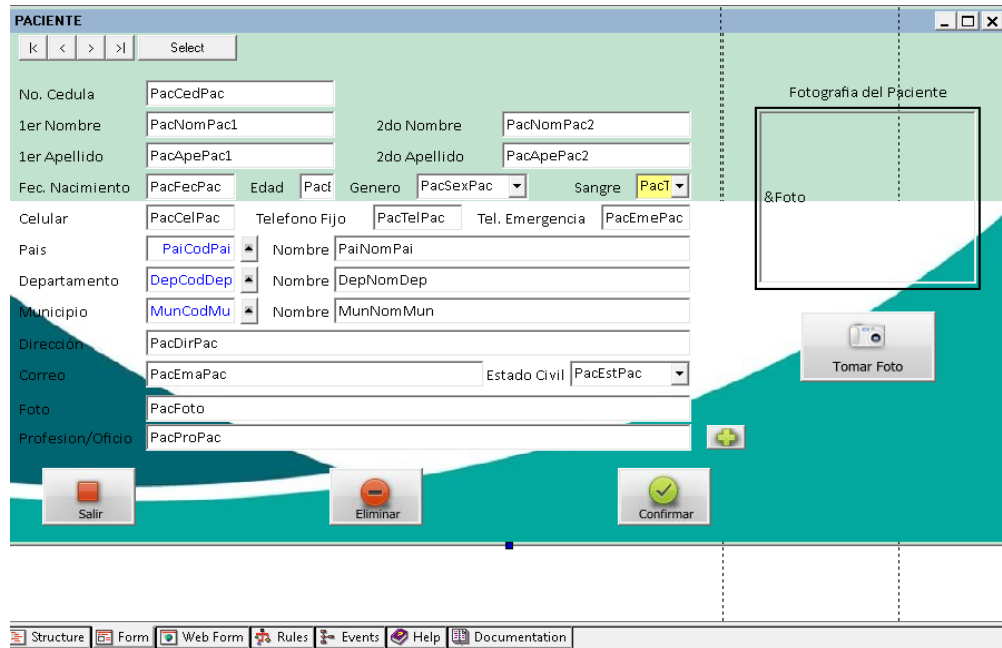


Ilustración 32. Interfaz de la tabla de registro de pacientes

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Para llevar a cabo estos ajustes, se trabajó en la edición de la interfaz de usuario de cada tabla creada en las carpetas de transacciones, workpanels y menú. Por otro lado, para el diseño de los botones de selección, impresión, agregar, cancelar, entre otros, se utilizó un programa llamado Boton Shop, el cual ofreció una gran variedad de estilos y diseños. Asimismo, cada botón tuvo propiedades particulares, y se identificó el tipo de evento que debían ejecutar en cada módulo. Finalmente, una vez terminada la edición de la interfaz, se cambió de modo diseño a prototipo, y se seleccionó el lenguaje de programación, que fue el de Visual Basic, y la base datos SQL (Ilustración 33).

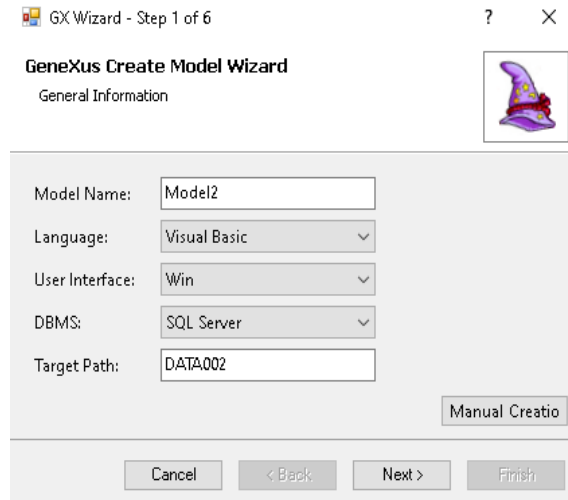


Ilustración 33. Selección de lenguaje y servidor

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Después se seleccionaron las opciones “especificar” y “generar código” en GeneXus, con lo que apareció una ventana con todos los códigos de las tablas y los eventos generados correctamente para el lenguaje de programación de Visual Basic y SQL. Finalmente, se ejecutó y compiló el programa diseñado (Ilustración 34), con lo que se obtuvo el prototipo (Ilustración 35) por medio de Visual Basic.

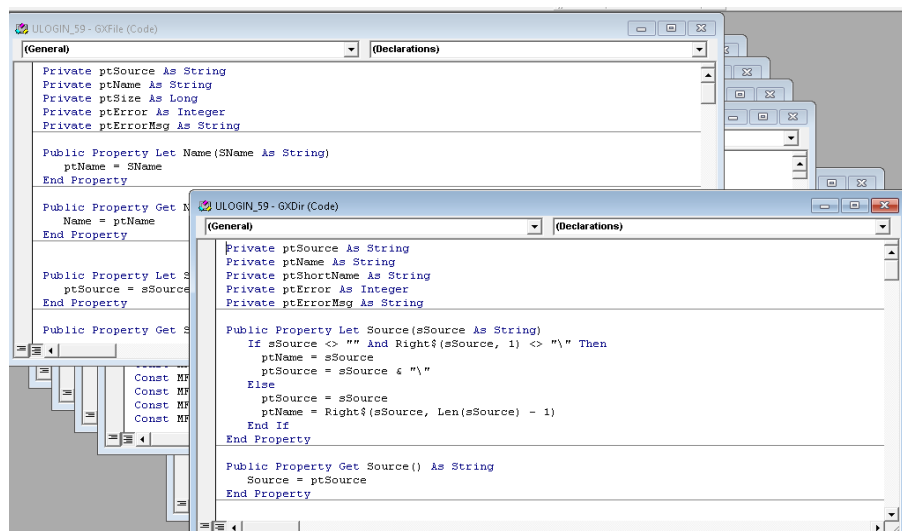


Ilustración 34. Compilación del programa

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

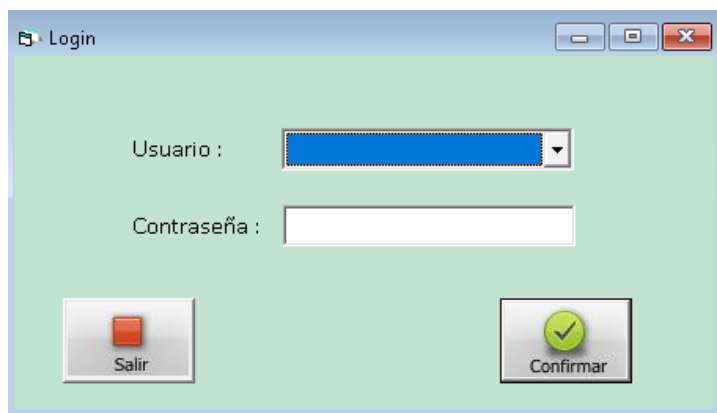


Ilustración 35. Inicio de sesión en el prototipo del sistema

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

5.2.4 CODIFICACIÓN EN PYTHON

En Python se creó un código para los análisis de la evolución de la enfermedad de TB en los pacientes. Para lograr este objetivo, se empleó la librería de lenguaje natural (NLTK) que contribuyó al análisis y la clasificación de síntomas diarios registrados durante la etapa de tratamiento de TB. Una vez finalizado el código, este se integró en los eventos de la transacción de "preconsulta" en GeneXus, para luego ejecutar el programa de nuevo en visual basic pero con la IA implementada para la extracción de 3 datos: fechas, síntomas y tratamiento de cada paciente registrado.

El código en Python consistió en los siguientes procesos (Ilustración 36):

1. Importación de las librerías necesarias de NLTK para el análisis predictivo, la conexión a una base de datos SQL Server a través de PyODC y matplotlib para la generación de gráficos
2. Conexión a la base de datos SQL Server con un "try-except-finally" para recuperar información de la tabla de preconsulta, que es donde se guardan todos los registros de los pacientes.
3. Lectura y apertura de un archivo de texto llamado "records.txt" que contiene los registros médicos electrónicos.

4. Preprocesamiento de los datos mediante la eliminación de las palabras comunes y se "tokenizan" los registros para dividirlos en palabras individuales. Los tokens restantes se agregaron a una lista de síntomas.
5. Cálculo de la frecuencia de los síntomas reportados en los registros y se ordenan por frecuencia.
6. Se imprimen los síntomas más comunes, para guardarse en el archivo de texto de "records.txt" con el número de veces en el que cada síntoma apareció.
7. Extracción de las fechas y tratamientos de los registros médicos electrónicos y para su almacenamiento en la lista.
8. Visualización de resultados en las gráficas mediante funciones de matplotlib.

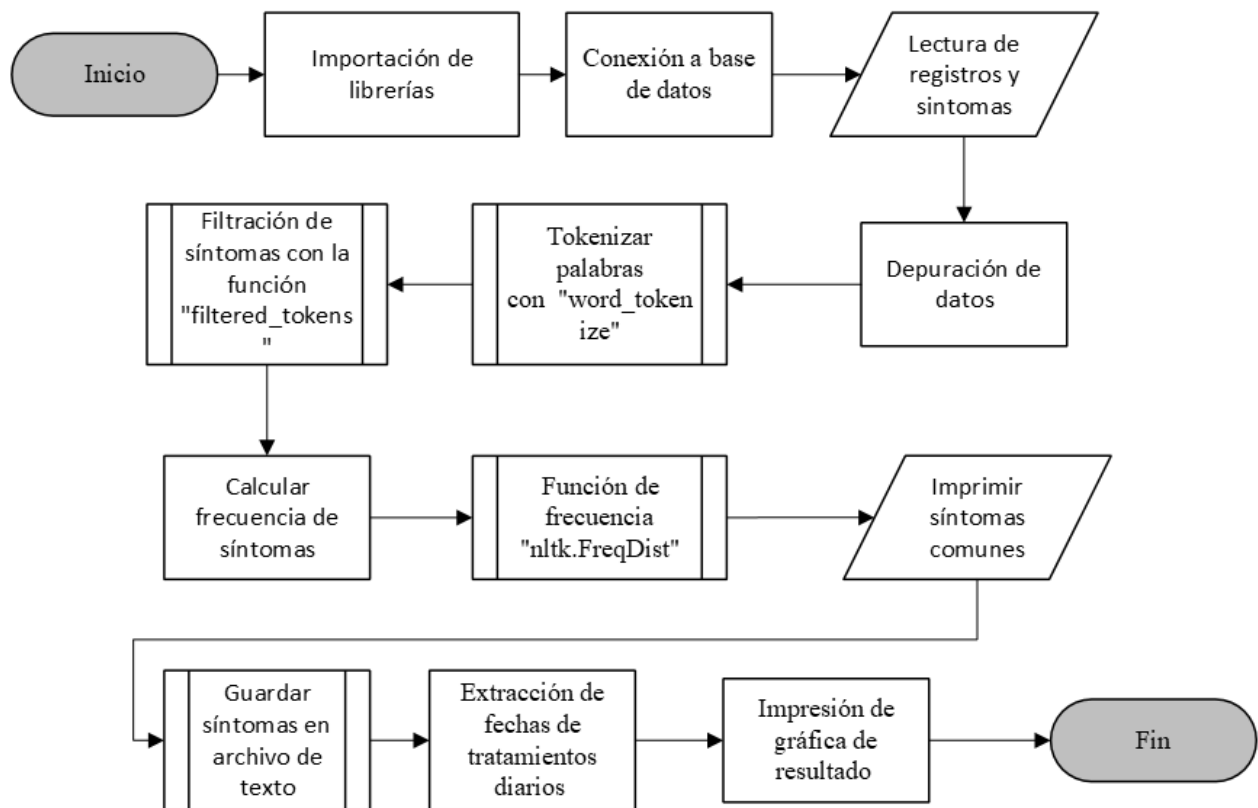


Ilustración 36. Diagrama de flujo del código

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

5.2.5 PRUEBAS DEL SISTEMA

Posteriormente, se verificó el cumplimiento de los requisitos especificados para el sistema EMR, y se detectaron y corrigieron los errores o fallos en el funcionamiento. Luego se evaluó la integración del modelo de IA en el sistema EMR, la correcta integración de los distintos módulos y componentes del sistema, y la facilidad de uso del software. Para ello, se inició con las pruebas unitarias, donde se evaluó el funcionamiento de los módulos con sus respectivos componentes, como la interfaz del usuario, la base de datos y los módulos de procesamiento de datos.

En ese sentido, para las pruebas de interfaz de usuario, se desarrollaron casos de prueba de llenado de los campos de entrada, del funcionamiento de botones y de una navegación fluida y coherente a través de los diferentes módulos del sistema.

Así, en la barra principal del sistema se seleccionó la opción de “pacientes”, la cual desplegó la lista de “trabajar con pacientes” y abrió otra ventana (Ilustración 37) que contaba con las opciones para actualizar, editar, agregar, confirmar y acceder al historial.

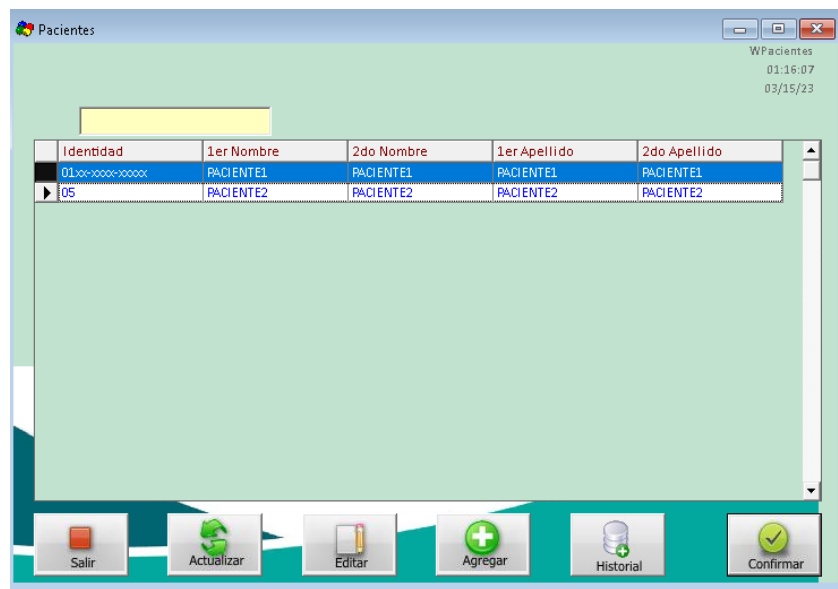


Ilustración 37. Tabla para registro de pacientes

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Luego se seleccionó el botón de agregar y se desplegó una pequeña ventana (Ilustración 38) donde se solicitó el número de identidad del paciente.

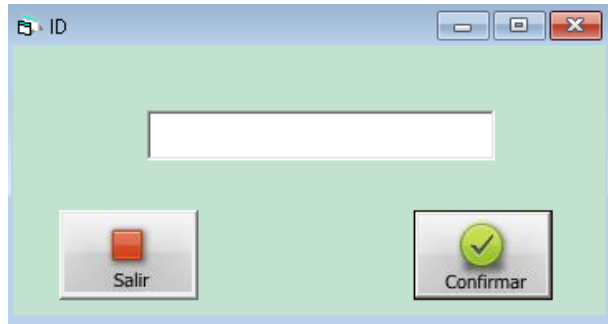


Ilustración 38. Identidad del paciente

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Más adelante, se introdujo un número de identidad, se dio clic en “confirmar” y se abrió otra ventana, donde se llenaron los campos necesarios con los datos personales del paciente (Ilustración 39): nombre completo, fecha de nacimiento, edad, género, tipo de sangre, contacto, dirección, estado civil y profesión.

No. Cedula	01XX-XXXX-XXXX		
1er Nombre	NOMBRE 1	2do Nombre	NOMBRE 2
1er Apellido	APELLIDO 1	2do Apellido	APELLIDO 2
Fec. Nacimiento	01/01/2000	Edad	23
Genero	MASCULINO	Sangre	O+
Celular	11111111	Telefono Fijo	
Tel. Emergencia			
Pais	1	Nombre	HONDURAS
Departamento	5	Nombre	CORTÉS
Municipio	1	Nombre	SAN PEDRO SULA
Dirección	Salida puerto cortés		
Correo	notienecorreo@notiene.com	Estado Civil	Soltero(a)
Foto	C:\FotosWebCam\PERFIL_01xx-xxxx-xxxxx.BMP		
Profesion/Oficio	Maestro		

Ilustración 39. Registro de paciente

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Una vez que se completó la información, se seleccionaron los botones de “confirmar y salir”. El paciente registrado se visualizó en la ventana de “pacientes” (Ilustración 37), donde luego se hizo clic en el botón de historial (Ilustración 40), creando el historial del paciente registrado. De esta manera, se verificó que el módulo de registro funcionara adecuadamente.

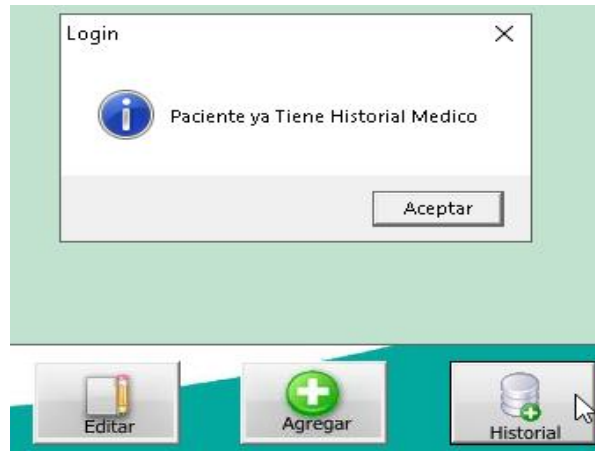


Ilustración 40. Registro de historial médico del paciente

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Para las evaluaciones de la base de datos pertenecientes al módulo de consultas, se diseñaron casos de prueba para la verificación de la capacidad de almacenamiento y la recuperación de datos. En el menú se seleccionó la opción de "historial", y luego la de "trabajar con historial del paciente", y se abrió una ventana con la lista de pacientes y sus respectivos historiales médicos (Ilustración 41). En esta sección se visualizaron los componentes de "preconsulta" y "ver historial", y los de filtración de acuerdo con el estado diario del tratamiento y la enfermedad del paciente: dosis pendiente, dosis recibida, tratamiento terminado, paciente curado, paciente fallecido, etc.

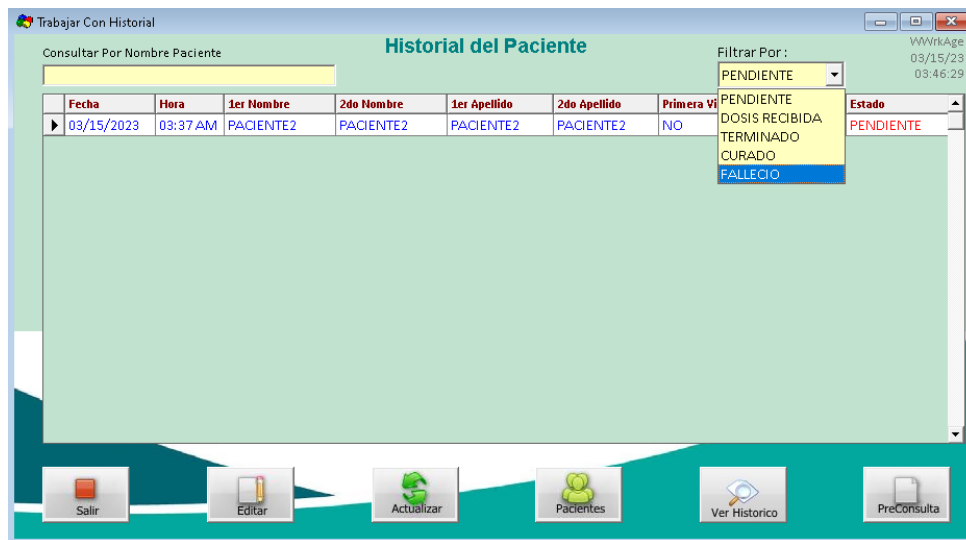


Ilustración 41. Trabajar con historial de paciente

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Por otro lado, en el componente de preconsulta se abrieron seis ventanas (Ilustración 42):

1. Paciente: se confirmaron los datos personales del paciente registrado.
2. Consulta: se tenía la opción de seleccionar el tipo de paciente, en caso de que fuera nuevo, de reingreso debido a una recaída, por abandono o fallecido. Además, se detalló otro tipo de información: exámenes físicos (presión, temperatura, frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria, peso), motivo de consulta y sintomatología, cantidad de personas con las que el paciente convive, y notas clínicas.
3. Antecedentes médicos: dio la opción de seleccionar todas las enfermedades o patologías previas o actuales del paciente. Esta información quedó registrada una vez que fue confirmada.

The screenshot shows a web-based medical history form titled "HISTORIAL". The form has a navigation bar with tabs: "Paciente", "Consulta", "Antecedentes Médica", "Examen, Evolución, Recetas, Diagnóstico, Historial", "Hábitos/Estilo de Vida", and "Archivos". The "Consulta" tab is active. The form contains six sections:

- 1.- Tipo de Paciente: A dropdown menu with "PACIENTE NUEVO" selected.
- 2.- Examen Físico: A text input field containing "Presion 120/80, Temperatura 39, Peso 130lbs, Estatura 160cm" and a green plus icon.
- 3.- Motivo de la Consulta, Síntomas: A text input field containing "Paciente con Debilidad, Fiebre, Dificultad para respirar y Tos con sangre o esputo" and a green plus icon.
- 4.- ¿Con Cuantas Personas Convive.?: A dropdown menu with "3" selected.
- 5.- ¿Trae Resultados de Exámenes o Resultados de Biopsias?: A dropdown menu with "SI" selected.
- 6.- Notas Clínicas: A text input field containing "Paciente remitido del Catarino. Debe realizarse prueba de VIH" and a cursor.

Ilustración 42. Historial médico de paciente

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

4. Diagnóstico, tratamiento y evolución (Ilustración 43): se seleccionó el examen por el cual se le detectó TB al paciente (baciloscopia, biopsia, rayos x, entre otros), el diagnóstico de TB (pulmonar, extrapulmonar, MDR), el área afectada y los medicamentos o tratamientos a recibir. De igual forma, esa información quedó registrada una vez confirmada. Además, se incluyó una sección que detallaba las visitas registradas y otra sección para observar la evolución del paciente a través de un análisis generado por la IA implementada.

5. Hábitos y estilo de vida: se seleccionaron todos los hábitos o riesgos del paciente, como el alcoholismo, la drogodependencia, la condición de fumador, el acceso limitado a servicios sanitarios, entre otros.
6. Archivos: se subieron y guardaron documentos o exámenes de laboratorio del paciente.

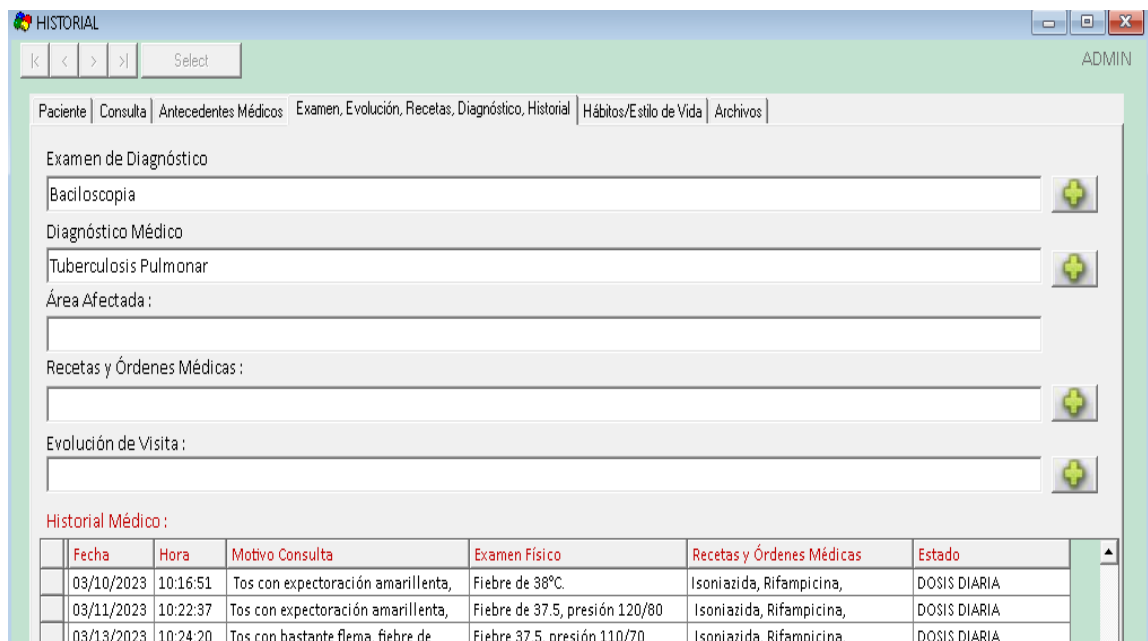


Ilustración 43. Diagnóstico, Tratamiento y Evolución del paciente

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

Se ingresaron diferentes tipos de datos y consultas en los historiales de pacientes registrados, lo que ayudó a comprobar que se guardaran y recuperaran correctamente. De igual forma, en la ventana principal de los historiales del paciente, se añadió la función de “ver historial” (Ilustración 41), con la que se podía consultar el historial médico de un paciente seleccionado.

Luego, se realizaron las pruebas de integración, que aseguraron la correcta comunicación entre los distintos módulos y componentes del sistema EMR. Esto garantizó que la información se transfiriera correctamente entre ellos; por ejemplo, se revisó que todos los datos registrados fueran condensados correctamente en el módulo de reportes e informes (Ilustración 44).

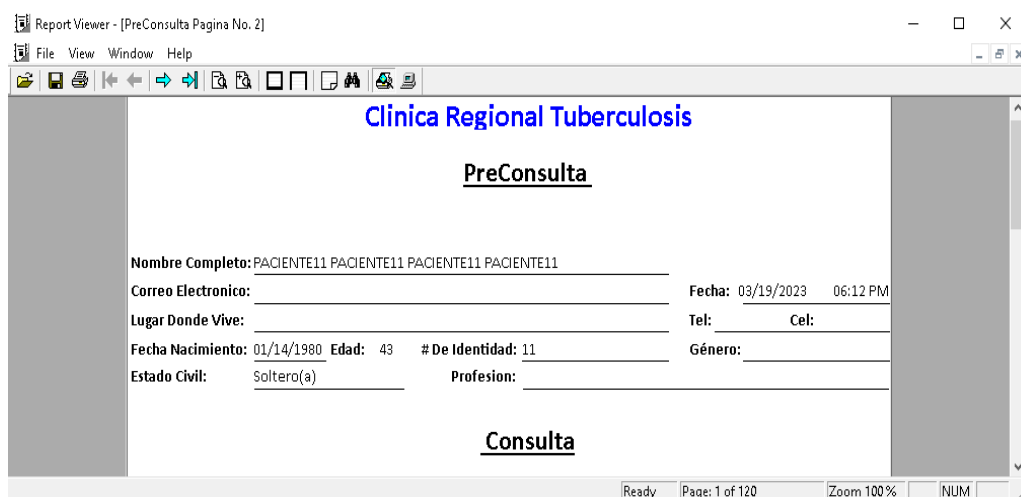


Ilustración 44. Reporte de un paciente

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

De igual modo, se llevaron a cabo las pruebas de funcionalidad y rendimiento del modelo de IA, a fin de verificar su capacidad de procesamiento de datos de pacientes con diferentes características. Estas pruebas fueron evaluadas durante la etapa de registro de datos y validación de modelo (Ilustración 46). Finalmente, se llevaron a cabo pruebas de seguridad, por lo que era necesario cumplir con los requisitos para proteger la información del paciente; esto fue especialmente importante, dado que garantizó la confidencialidad de los datos médicos a través de identificación de usuario (Ilustración 35), evitando posibles vulnerabilidades de seguridad.

5.2.6 REGISTRO DE DATOS

Se registraron los 181 datos de pacientes en el EMR, obtenidos de las fichas clínicas proporcionadas por la región metropolitana de San Pedro Sula, lo que garantizó la confiabilidad de los datos (Ilustración 45). Cabe destacar que estos registros pertenecían a pacientes con TB del año 2022, lo que permitió conocer la situación actual de esta enfermedad en la región. No obstante, por motivos de seguridad y confidencialidad, no se proporcionaron datos personales de los pacientes, pero sí se incluyeron datos relevantes durante el registro en el EMR, como el tipo de paciente (nuevo, recaído, abandono o fallecido), las patologías asociadas, los hábitos y estilos de vida, el examen diagnóstico y el tipo de TB.

Identidad	1er Nombre	2do Nombre	1er Apellido	2do Apellido
167	PACIENTE167	PACIENTE167	PACIENTE167	PACIENTE167
168	PACIENTE168	PACIENTE168	PACIENTE168	PACIENTE168
169	PACIENTE168	PACIENTE169	PACIENTE169	PACIENTE169
17	PACIENTE17	PACIENTE17	PACIENTE17	PACIENTE17
170	PACIENTE170	PACIENTE170	PACIENTE170	PACIENTE170
171	PACIENTE171	PACIENTE171	PACIENTE171	PACIENTE171
172	PACIENTE172	PACIENTE172	PACIENTE172	PACIENTE172
173	PACIENTE173	PACIENTE173	PACIENTE173	PACIENTE173
174	PACIENTE174	PACIENTE174	PACIENTE174	PACIENTE174
175	PACIENTE175	PACIENTE175	PACIENTE175	PACIENTE175
176	PACIENTE176	PACIENTE176	PACIENTE176	PACIENTE176
177	PACIENTE177	PACIENTE177	PACIENTE177	PACIENTE177
178	PACIENTE178	PACIENTE178	PACIENTE178	PACIENTE178
179	PACIENTE179	PACIENTE179	PACIENTE179	PACIENTE179
18	PACIENTE18	PACIENTE18	PACIENTE18	PACIENTE18
180	PACIENTE180	PACIENTE180	PACIENTE180	PACIENTE180
181	PACIENTE181	PACIENTE181	PACIENTE181	PACIENTE181

Ilustración 45. Registro de la muestra calculada de pacientes

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

La utilización del sistema EMR facilitó la gestión y el análisis de los datos, aumentando la eficiencia del proceso y reduciendo la posibilidad de errores en el registro de información. También permitió evaluar la facilidad de uso y la escalabilidad del sistema, confirmando la eficacia de la interfaz de usuario, la facilidad de navegación, la comprensión de las funciones del sistema, y la capacidad para soportar una gran cantidad de registros.

5.2.7 VALIDACIÓN DEL MODELO

El estudio validó la eficacia del modelo analítico al utilizar información clínica y demográfica de los 181 pacientes registrados en el sistema EMR; sin embargo, el estudio también destacó algunas limitaciones debido a cuestiones de confidencialidad, por lo que, los historiales médicos diarios de los pacientes no estaban disponibles para el estudio.

Para abordar esta limitación, se recurrió a la experiencia de los médicos generales de un centro de salud, con el fin de elaborar 15 historiales sintéticos seleccionados de los 181 pacientes registrados. Cabe recalcar que, la razón por la cual se generaron historiales sintéticos para solo 15 pacientes fue debido a que el tratamiento de TB suele durar de 6 a 24 meses, por lo que se tuvo que considerar el tiempo que llevaría registrar los historiales completos para todos los pacientes.

Un caso de ejemplo fue, un paciente con 2 meses de abandono de tratamiento y 1 mes de reingreso (Ilustración 46). Durante el período de enero a marzo no hubo registro de dosis, pero de marzo a abril hubo registros de sus síntomas y tratamiento diarios, logrando visualizar un buen rendimiento en la adherencia del tratamiento y, por lo tanto, se esperaba la misma respuesta de adherencia para el próximo mes de mayo.

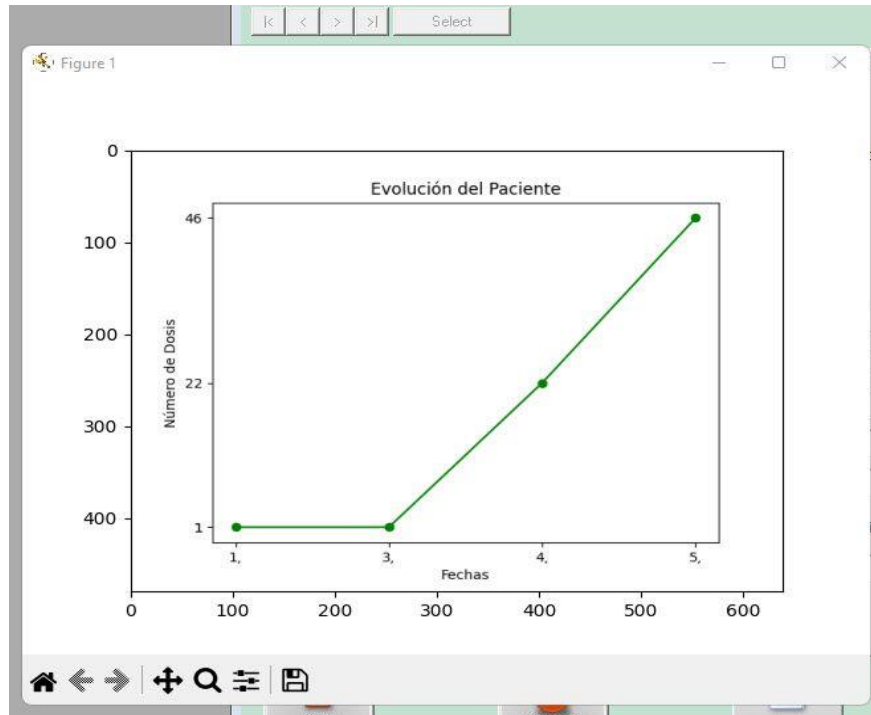


Ilustración 46. Evolución del paciente de acuerdo con las dosis registradas en 4 meses

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

También, se visualizó la frecuencia de cada uno de los síntomas reportados durante la etapa del tratamiento (Ilustración 47). Debido a la función de eliminación de palabras comunes, algunos síntomas fueron divididos. Por ejemplo, los síntomas "tos con sangre", "tos con flema" y "tos persistente" fueron divididos como "tos", "sangre", "flema" y "persistente".

```
PROBLEMAS  SALIDA  CONSOLA DE DEPURACIÓN  TERMINAL
tos : 98
sangre : 69
dolor : 69
pecho : 69
fatiga : 46
debilidad : 40
fiebre : 35
apetito : 35
sudores : 34
nocturnos : 34
síntomas : 15
peso : 12
flema : 12
pérdida : 11
mareos : 11
```

Ilustración 47. Frecuencia de síntomas

Fuente: (Elaboración propia, 2023)

No obstante, se analizó que, los síntomas más comunes del paciente registrado eran los de tos, dolor de pecho, fatiga, debilidad, fiebre y falta de apetito. Se debe destacar que, el modelo implementado recolectó la información diaria e hizo su respectivo análisis de un periodo corto de tiempo registrado, mas no presentó el análisis predictivo de la evolución del paciente durante toda la etapa de tratamiento. Pero, esta barrera también se debió a la limitada base de datos con la que cuenta para el entreno del modelo IA.

VI. CONCLUSIONES

1. El proceso de investigación entregó resultados favorables con respecto al desarrollo de un sistema médico electrónico (EMR) con capacidades analíticas que le fueron conferidas por medio de la implementación de técnicas de inteligencia artificial. Este hallazgo se identificó como una opción con potencial aplicabilidad en la Región Metropolitana de Salud en San Pedro Sula.
2. Se investigó la situación actual del manejo electrónico de los registros médicos de pacientes con tuberculosis en la región de estudio. Los resultados indicaron que existen limitaciones como deficiencias en la infraestructura tecnológica en los centros de salud. Se identificó que la mayoría de los datos registrados existen únicamente en forma física (papelería), y, esto genera ocasionalmente pérdidas de información o dificultades en el acceso oportuno a la información de pacientes.
3. La revisión documental exhaustiva de los registros médicos de pacientes con tuberculosis provenientes de diversos centros de salud de la región permitió obtener información valiosa sobre las características de los pacientes y las prácticas médicas comunes para el diagnóstico y tratamiento de la enfermedad. Asimismo, se encontró que el empleo frecuente de metodologías de trabajo con ausencia de sistemas digitales promueve potenciales errores humanos que finalmente pueden desembocar en errores u omisiones de información médica.
4. La selección meticulosa de las técnicas y herramientas de programación aplicadas en la metodología empleada permitió obtener un sistema EMR que cumpliera con los requisitos de una interfaz intuitiva y segura. Además, se logró desarrollar los módulos necesarios en el sistema para garantizar el funcionamiento óptimo del registro y control de pacientes con tuberculosis. Por otro lado, la inclusión de principios de inteligencia artificial en el sistema permitió llevar a cabo un análisis de los síntomas frecuentes del paciente durante la etapa del tratamiento; sin embargo, no se pudo realizar un análisis predictivo de la evolución del paciente durante la etapa de tratamiento ni comprobar su precisión debido a los pocos datos con los que se contaban para entrenar el modelo.

5. El empleo cuidadoso de los datos recopilados en las fichas clínicas de la Región Metropolitana de Salud en San Pedro Sula en el sistema EMR, permitió un registro detallado y organizado de los pacientes con tuberculosis, lo cual posibilitó un seguimiento más efectivo en su tratamiento diario. Aunque el código diseñado de capacidades analíticas de IA no realizó predicciones de evolución del tratamiento, su capacidad para analizar la información disponible logró visualizar patrones y tendencias de síntomas presentados durante el registro de tratamiento que podrían ser de utilidad en el campo de la medicina y el cuidado de la salud.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda mejorar y actualizar el sistema EMR con la incorporación de nuevas funcionalidades para un análisis predictivo con IA, mejoras en el interfaz de usuario, en la seguridad y privacidad de datos.
2. Se sugiere elaborar pruebas más rigurosas para evaluar la efectividad y eficiencia del sistema en los centros de salud de la Región Metropolitana de Salud de San Pedro Sula, Honduras, a través de la recopilación de datos y la medición de indicadores de desempeño, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora y evaluar su impacto en la gestión clínica de pacientes con tuberculosis.
3. Se debe considerar la posibilidad de expandir la aplicación del sistema desarrollado a otras enfermedades y condiciones de salud, con el objetivo de mejorar la atención y el seguimiento de los pacientes.
4. Se recomienda colaborar con profesionales de la salud y/o expertos en tecnologías de información para compartir ideas, conocimientos y recursos, para una posible implementación efectiva y sostenible de un sistema EMR inteligente en el contexto clínico y de salud pública.

VIII. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN

1. El sistema desarrollado podría ser aplicado en cualquier institución médica o centro de salud de Honduras que requiera llevar un registro y control clínico de pacientes con TB. Además, su capacidad analítica de inteligencia artificial permitiría a los profesionales de la salud realizar un análisis predictivo de la evolución del paciente en su tratamiento, lo que podría contribuir a una atención más efectiva y oportuna.
2. También podría ser implementado solamente en zonas con alta incidencia de tuberculosis, donde se requiere una mayor atención y seguimiento de los pacientes afectados por la enfermedad. Esto podría ayudar a mejorar el tratamiento y pronóstico de la enfermedad en estas áreas.

IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL/TRABAJO FUTURO

Se puede mejorar el sistema EMR desarrollado mediante la aplicación de nuevos métodos de inteligencia artificial para predecir la evolución de los pacientes con TB. También, sería beneficioso explorar la integración del sistema EMR con otras plataformas y tecnologías, como aplicaciones móviles para el monitoreo de pacientes en tiempo real y sistemas de alerta temprana para la detección de casos de tuberculosis en comunidades específicas.

Además de estas mejoras, se podría utilizar el sistema EMR como herramienta de investigación para el estudio y seguimiento de la tuberculosis, identificando patrones de comportamiento de la enfermedad en diferentes grupos de pacientes. De igual forma, se podría promover la adopción de sistemas EMR en las instituciones de salud para mejorar la calidad de atención al paciente y optimizar los procesos clínicos y administrativos

X. BIBLIOGRAFÍA

- Abdekhoda, M., Ahmadi, M., Dehnad, A., Noruzi, A., & Gohari, M. (2016). Applying electronic medical records in health care. *Applied Clinical Informatics*, 07(2), 341-354. <https://doi.org/10.4338/ACI-2015-11-RA-0165>
- Abraham, A. O., Nasiru, A. U., Abdulazeez, A. K., Seun, O. O., & Ogonna, D. W. (2020). Mechanism of Drug Resistance in Mycobacterium Tuberculosis. *American Journal of Biomedical Science & Research*, 7(5), 378. 10.34297/AJBSR.2020.07.001181
- Agencia EFE. (2022, October 27). La tuberculosis vuelve a propagarse en el mundo, advierte la OMS. [Www.laprensa.hn](http://www.laprensa.hn); La Prensa. <https://www.laprensa.hn/mundo/tuberculosis-vuelve-propagarse-mundo-advierte-oms-KO10699829>
- Aguilar-Barojas, S. (2005). *Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud*. 11(1-2), 333-338. <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>
- Ahmed, M. H., Bogale, A. D., Tilahun, B., Kalayou, M. H., Klein, J., Mengiste, S. A., & Endehabtu, B. F. (2020). Intention to use electronic medical record and its predictors among health care providers at referral hospitals, north-west Ethiopia, 2019: using unified theory of acceptance and use technology 2 (UTAUT2) model. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20(1), 207. <https://doi.org/10.1186/s12911-020-01222-x>
- Alshehri, F., & Muhammad, G. (2021). A Comprehensive Survey of the Internet of Things (IoT) and AI-Based Smart Healthcare. *IEEE Access*, 9, 3660-3678. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3047960>
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

- Athota, L., Shukla, V. K., Pandey, N., & Rana, A. (2020). Chatbot for Healthcare System Using Artificial Intelligence. *2020 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO)*, 619-622. <https://doi.org/10.1109/ICRITO48877.2020.9197833>
- Avera Health, & Brooks, P. (2010). Standards and Interoperability in Healthcare Information Systems: Current Status, Problems, and Research Issues. *MWAIS 2010 Proceedings*. <https://aisel.aisnet.org/mwais2010/18>
- AWS. (2022). *¿Qué es Python? | Guía de Python para principiantes de la nube | AWS*. Amazon Web Services, Inc: <https://aws.amazon.com/es/what-is/python/>
- Ayaad, O., Alloubani, A., ALhajaa, E. A., Farhan, M., Abuseif, S., Al Hroub, A., & Akhu-Zaheya, L. (2019). The role of electronic medical records in improving the quality of health care services: comparative study. *International Journal of Medical Informatics*, 127, 63-67. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.04.014>
- Ávila-Tomás, J., Mayer, M., & Quesada-Varela, V. (2021). La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina II: importancia actual y aplicaciones prácticas. *Atención Primaria*, 53(1), 81-88. [10.1016/j.aprim.2020.04.014](https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.04.014).
- Bacchini, R. D., Vásquez, L. V., Bianco, M. J., & García Fronti, J. I. (2018). *Introducción a la probabilidad y a la estadística*. Bacchini, Darío - Biblioteca Digital FCE. http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/econ/collection/libros/document/Bacchini_Introduccion-a-la-probabilidad-y-a-la-estadistica-2018
- Barrios, D. A. (2018). *Arquitectura de microservicios | Tecnología Investigación y Academia*. 6(1), 37-46. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/download/9687/pdf/63352>
- Barros, J. J. C., Oliveira, A. H., Cavalcante, J. L., Muniz, T. G. F., Pereira, M. L. D., & Cavalcante, E. G. R. (2021). Vulnerabilidade e estratégias de adesão ao tratamento da tuberculose: Discurso dos enfermeiros da atenção primária. *Revista de Enfermagem Da UFSM*, 11, e61. <https://doi.org/10.5902/2179769262654>

- Beltrán, B. (2022). Factores que afectan la cobertura del programa de tuberculosis en el primer nivel de atención en Honduras. *Biomédica*, 42(2), 315-328. <https://doi.org/10.7705/biomedica.6368>
- Bidgood, W. D., Horii, S. C., Prior, F. W., & Van Syckle, D. E. (1997). Understanding and Using DICOM, the Data Interchange Standard for Biomedical Imaging. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 4(3), 199-212. <https://doi.org/10.1136/jamia.1997.0040199>
- Brassard, G., & Bratley, P. (1997). *Fundamentos de algoritmia* (1era ed.). Prentice Hall.
- Caminero, J. A., Cayla, J. A., García-García, J.-M., García-Pérez, F. J., Palacios, J. J., & Ruiz-Manzano, J. (2017). Diagnóstico y tratamiento de la tuberculosis con resistencia a fármacos. *Archivos de Bronconeumología*, 53(9), 501-509. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2017.02.006>
- Castañeda Arredondo, E. C. (2022). El Taller de Fundamentos de Programación Estructurada para el Diseño. *Reflexiones sobre la educación en diseño en contextos de emergencia*, (2022), 251-260. <https://doi.org/10.24275/uama.2901.9239>
- CDC. (2023). *Diferencias entre la infección de tuberculosis latente y la enfermedad de tuberculosis*. [cdc.gov/tb/esp/publications/factsheets/general/ltbiandactivetb_es.htm#:~:text=La%20tuberculosis%20generalmente%20afecta%20los,gotitas%20que%20contienen%20M.%20tuberculosis](https://www.cdc.gov/tb/esp/publications/factsheets/general/ltbiandactivetb_es.htm#:~:text=La%20tuberculosis%20generalmente%20afecta%20los,gotitas%20que%20contienen%20M.%20tuberculosis)
- Centers for Disease Control and Prevention [CDC]. (2016). *La tuberculosis (TB) en los Estados Unidos*. <https://www.cdc.gov/tb/esp/topic/basics/tbhivcoinfection.htm>
- Centers for Disease Control and Prevention [CDCTB]. (2016). *MDRTB Factsheet*. <https://www.cdc.gov/tb/publications/factsheets/drtb/mdrtb.htm>
- Centers for Disease Control and Prevention [CDCTB]. (2018). *Tuberculosis (TB): recursos sobre la infección de tuberculosis latente*. <https://www.cdc.gov/tb/esp/topic/basics/tbinfectiondisease.htm>
- Centers for Disease Control and Prevention [CDC]. (2021, diciembre 29). *CIE - CIE-10 - clasificación internacional de enfermedades, décima revisión*. <https://www.cdc.gov/nchs/icd/icd10.htm>

- Centro Electrónico de Documentación e Información Judicial [CEDH]. (1999). *Ley de Propiedad Industrial. Poder Judicial de Honduras*. [https://honduras.eregulations.org/media/LEY%20DE%20PROPIEDAD%20INDUSTRIAL%20\(actualizada-07\).pdf](https://honduras.eregulations.org/media/LEY%20DE%20PROPIEDAD%20INDUSTRIAL%20(actualizada-07).pdf)
- Chijioko-Akaniro, O. O., Ubochioma, E., Omoniyi, A., Fashade, O., Olarewaju, O., Asuke, S., Aniwada, E. C., Uwaezuoke, A. N., Sseskitooleko, J., Workneh, N., Masini, E., Morris, B., Lawanson, A., & Anyaika, C. (2022). Improving TB case notification and treatment coverage through data use. *Public Health Action*, 12(3), 128-132. <https://doi.org/10.5588/pha.22.0001>
- Chiuz Sierra, E., Valencia, G., Echenique, A., & Rodas Gamero, I. (2006). *Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública*. <https://www.tsc.gob.hn/biblioteca/index.php/leyes/17-ley-de-transparencia-y-acceso-a-la-informacion-publica>
- Comisionado Nacional de los Derechos Humanos [CONADEH]. (2022). *Día Mundial de la Respuesta ante la Epidemia de VIH: cada 9 horas se infecta una persona de VIH en Honduras - CONADEH*. <https://www.conadeh.hn/dia-mundial-de-la-respuesta-ante-la-epidemia-de-vih-cada-9-horas-se-infecta-una-persona-de-vih-en-honduras/>
- Cortéz, A. (2004). Teoría de la complejidad computacional y teoría de la computabilidad. *RISI*, 1(1), 102-105. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/risi/n1_2004/a14.pdf
- Culqui, D. R., Munayco E., C. V., Grijalva, C. G., Cayla, J. A., Horna-Campos, O., Alva C., K., & Suárez O., L. A. (2012). Factores asociados al abandono de tratamiento antituberculoso convencional en Perú. *Archivos de Bronconeumología*, 48(5), 150-155. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2011.12.008>
- Das, S., Dey, A., Pal, A., & Roy, N. (2015). Applications of Artificial Intelligence in Machine Learning: Review and Prospect. *International Journal of Computer Applications*, 115(9), 31-41. <https://doi.org/10.5120/20182-2402>
- Deelder, W., Napier, G., Campino, S., Palla, L., Phelan, J., & Clark, T. G. (2022). A modified decision tree approach to improve the prediction and mutation discovery for drug resistance in

- Mycobacterium tuberculosis. *BMC Genomics*, 23(1), <https://doi.org/10.1186/s12864-022-08291-4>
- Díaz, G. M. M. (2020). Telemedicina ética para Honduras en tiempos de COVID-19. *Revista de Ciencias Forenses de Honduras*, 6(2), <https://doi.org/10.5377/rcfh.v6i2.10716>
- Dollard, K. (2022). *Características del lenguaje - Visual Basic*. <https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet/visual-basic/programming-guide/language-features/>
- Erinstellato-ms. (2023). *Download SQL Server Management Studio (SSMS) - SQL Server Management Studio (SSMS)*. Microsoft. <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/ssms/download-sql-server-management-studio-ssms>
- Estrada, A. L., Sánchez, E., Consenza, H., García, Y., Ávila, E., Cosenza, H., García, Y., Pereira, C., Uclés, H., & Rivera Scott, P. (2018). *Honduras - Plan Nacional de Salud 2021*. Secretaría de Estado en el Despacho Salud; Instituto Hondureño de Seguridad Social: https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/hn_0311.pdf
- Évora, L. H. R. A., Seixas, J. M., & Kritski, A. L. (2017). Neural network models for supporting drug and multi-drug resistant tuberculosis screening diagnosis. *Neurocomputing*, 265, 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.08.151>
- García, M. (2015). *Ley sobre el Comercio Electrónico*. 32. <https://www.tsc.gob.hn/biblioteca/index.php/leyes/613-ley-sobre-comercio-electronico>
- GeneXus. (2021). *Plataforma de desarrollo low-code y multiexperience | Acerca de GeneXus*. GeneXus by Globant: <https://www.genexus.com/es/productos/genexus>
- Glickman, M., & Orlova, A. (2015, noviembre). Building Interoperability Standards and Ensuring Patient Safety. *Journal of AHIMA*, 86(11), 48-51. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26910934/>
- Gómez, L. (2013). *Informática médica: sistemas de información y estándares en salud: modelo de aplicación*. https://www.researchgate.net/publication/275648748_Informatica_Medica_Sistemas_de_Informacion_y_Estandares_en_Salud_Modelo_de_Aplicacion

- González, K. J. (2021). Deficiencias en el sistema de salud pública y su impacto en la pandemia del. *Revista Médica de Honduras*, 89(2), 148-50. doi:<https://doi.org/10.5377/rmh.v89i2.12365>
- González, Y. D., & Romero, Y. F. (2012). Patrón modelo-vista-controlador. *Telemática*, 11(1), 47–57. <https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/15>
- Hernández, D. R. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana Editores, S. A. de C. V.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana Editores, S. A. de C. V.
- Huaman, M. A., & Sterling, T. R. (2019). Treatment of latent tuberculosis infection - an update. *Clinics in chest medicine*, 40(4), 839-848. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2019.07.008>
- Haleem, A., Javaid, M., & Khan, I. H. (2019). Current status and applications of Artificial Intelligence (AI) in medical field: An overview. *Current Medicine Research and Practice*, 9(6), 231-237. <https://doi.org/10.1016/j.cmrp.2019.11.005>.
- Huang, F., van den Hof, S., Qu, Y., Li, Y., Zhang, H., Wang, L., Sun, M., Lu, W., Hou, S., Zhang, T., Huan, S., Chin, D. P., & Cobelens, F. (2019). Added Value of Comprehensive Program to Provide Universal Access to Care for Sputum Smear - Negative Drug-Resistant Tuberculosis, China. *Emerging Infectious Diseases*, 25(7), 1289-1296. <https://doi.org/10.3201/eid2507.181417>
- Hylock, R., & Harris, S. (2016). Healthcare Database Management for Health Informatics and Information Management Students: Challenges and Instruction Strategies - Part 1 Healthcare Database Management for Health Informatics and Information Management Students: Challenges and Instruction Strategies - Part 1. *Educational Perspectives in Health Informatics Information Management*. https://www.researchgate.net/publication/301691590_Healthcare_Database_Management_for_Health_Informatics_and_Information_Management_Students_Challenges_and_Instruction_Strategies-Part_1_Healthcare_Database_Management_for_Health_Informatics_and_Infoma

- Janiesch, C., Zschech, P., & Heinrich, K. (2021). Machine learning and deep learning. *Electronic Markets*, 31(3), 685-695. <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2>
- Jilani, T. N., Avula, A., Zafar Gondal, A., & Siddiqui, A. H. (2022). Active Tuberculosis. En *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513246/>
- Kaur, S., Singla, J., Nkenyereye, L., Jha, S., Prashar, D., Joshi, G. P., . . . Islam, S. M. (2020). Medical Diagnostic Systems Using Artificial Intelligence (AI) Algorithms: Principles and Perspectives. *IEEE Access*, 8, 228049-228069. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042273>.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), art. 7553. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Lee, C. H., & Yoon, H.-J. (2017). Medical big data: promise and challenges. *Kidney Research and Clinical Practice*, 36(1), 3-11. <https://doi.org/10.23876/j.krcp.2017.36.1.3>
- Lee, S., & Kim, H. S. (2021). Prospect of Artificial Intelligence Based on Electronic Medical Record. *Journal of Lipid and Atherosclerosis*, 10(3), 282-290. <https://doi.org/10.12997/jla.2021.10.3.282>
- Li, C., Liu, S., Dong, B., Li, C., Jian, L., He, J., Zeng, J., Zhou, Q., Jia, D., Luo, Y., & Sun, Q. (2022). Discovery and Mechanistic Study of Mycobacterium tuberculosis PafA Inhibitors. *Journal of Medicinal Chemistry*, 65(16). <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.2c00289>
- Mahesh, B. (2019). *Machine Learning Algorithms - A Review*. 9(1), 381-386. <https://doi.org/10.21275/ART20203995>
- Mahindrakar, P., & Hanumanthappa, D. M. (2013). *Data Mining in Healthcare: A Survey of Techniques and Algorithms with Its Limitations and Challenges*. 3(6), 937-941. https://www.ijera.com/papers/Vol3_issue6/EZ36937941.pdf
- Maimon, O. Z., & Rokach, L. (2014). *Data Mining With Decision Trees: Theory And Applications (2nd Edition)*. World Scientific.

- Makantasis, K., Karantzalos, K., Doulamis, A., & Doulamis, N. (2015). *Deep supervised learning for hyperspectral data classification through convolutional neural networks*. 4959-4962.
- Manca, D. P. (2015). Do electronic medical records improve quality of care? *Canadian Family Physician*, 61(10), 846-847. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4607324/>
- Manyazewal, T., Woldeamanuel, Y., Fekadu, A., Holland, D. P., & Marconi, V. C. (2022). Effect of Digital Medication Event Reminder and Monitor-Observed Therapy vs. Standard Directly Observed Therapy on Health-Related Quality of Life and Catastrophic Costs in Patients with Tuberculosis: A Secondary Analysis of a Randomized Clinical Trial. *JAMA Network Open*, 5(9), e2230509. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.30509>
- McDougall, R. J. (2019). Computer knows best? The need for value-flexibility in medical AI. *Journal of Medical Ethics*, 45(3), 156-160. <https://doi.org/10.1136/medethics-2018-105118>.
- Mejía, L. A. S. (2022). *Carlos Armando Zelaya Rosales*. 35. <https://www.tsc.gob.hn/web/leyes/Decreto-60-2022.pdf>
- Microsoft. (2023). *¿Qué es Microsoft Forms? - Soporte técnico de Microsoft*. <https://support.microsoft.com/es-es/office/-qu%C3%A9-es-microsoft-forms-6b391205-523c-45d2-b53a-fc10b22017c8>
- Minitab. (2023). *Herramientas estadísticas, de análisis de datos y de mejora de procesos | Minitab*. <https://www.minitab.com/es-mx/>
- Morimoto, J., & Ponton, F. (2021). Virtual reality in biology: could we become virtual naturalists? *Evolution: Education and Outreach*, 14(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s12052-021-00147-x>
- Munavalli, J. R., Boersma, H. J., Rao, S. V., & van Merode, G. G. (2021). Real-Time Capacity Management and Patient Flow Optimization in Hospitals Using AI Methods. En M. Masmoudi, B. Jarboui, & P. Siarry (Eds.), *Artificial Intelligence and Data Mining in Healthcare* (pp. 55-69). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45240-7_3

- Neda, A. T. L. (2020). *Reglamento sobre gobierno electrónico*. 35. <https://www.tsc.gob.hn/biblioteca/index.php/reglamentos/947-reglamento-sobre-gobierno-electronico>
- Nieto, L. M. (2021). *Estudios de la tuberculosis desde la Sucursal del Cielo*. Editorial Universidad Santiago de Cali.
- Noumeir, R. (2019). Active Learning of the HL7 Medical Standard. *Journal of Digital Imaging*, 32(3), 354-361. <https://doi.org/10.1007/s10278-018-0134-3>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2014). Treatment strategies for MDR-TB and XDR-TB. En *Companion Handbook to the WHO Guidelines for the Programmatic Management of Drug-Resistant Tuberculosis*. World Health Organization. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK247431/>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2015). *The end TB strategy*. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/WHO-HTM-TB-2015.19>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2016). *Implementación de la estrategia fin de la TB: aspectos esenciales* (p. 130). OMS. https://www.afro.who.int/sites/default/files/2017-06/spanish_1.pdf
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2021). *Incidencia de tuberculosis (por cada 100 000 personas)—Honduras | Data*. Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SH.TBS.INCD?end=2020&locations=HN>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2022). *2.3 drug-resistant TB*. Who.int. <https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports/global-tuberculosis-report-2022/tb-disease-burden/2-3-drug-resistant-tb>
- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2016a). *Registros médicos electrónicos en América Latina y el Caribe* (p. 32). <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/registros-medicos-electronicos.pdf>

- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2016b). *Registros médicos electrónicos en América Latina y el Caribe: análisis sobre la situación actual y recomendaciones para la región*. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/registros-medicos-electronicos.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2022). *Tuberculosis - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*. <https://www.paho.org/es/temas/tuberculosis>
- O'Shea, K., & Nash, R. (2015). *An Introduction to Convolutional Neural Networks*. <https://arxiv.org/abs/1511.08458>
- Petrov, V., & Mordecki, E. (2008). *Teoría de la probabilidad* (2da ed.). DIRAC.
- Pineda Ponce, R., Hernández Córdova, J. A., & Flores Lagos, H. (1999). *Ley del Derecho de Autor y de los Derechos Conexos*. Tribunal Superior de Cuentas. <https://www.tsc.gob.hn/biblioteca/index.php/leyes/34-ley-del-derecho-de-autor-y-de-los-derechos-conexos>
- Ponce, P., Méndez, E., & Molina, A. (2021). Teaching fuzzy controllers through a V-model based methodology. *Computers & Electrical Engineering*, 94, 107267. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107267>
- Rashidi, H. H., Khan, I. H., Dang, L. T., Albahra, S., Ratan, U., Chadderwala, N., To, W., Srinivas, P., Wajda, J., & Tran, N. K. (2022). Prediction of tuberculosis using an automated machine learning platform for models trained on synthetic data. *Journal of Pathology Informatics*, 13, 100172. https://doi.org/10.4103/jpi.jpi_75_21
- Ravi, D., Wong, C., Deligianni, F., Berthelot, M., Andreu-Perez, J., Lo, B., & Yang, G.-Z. (2017). Deep Learning for Health Informatics. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 21(1), 4-21. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2016.2636665>
- Rigby, M., Ammenwerth, E., Beuscart-Zephir, M.-C., Brender, J., Hyppönen, H., Melia, S., Nykänen, P., Talmon, J., & de Keizer, N. (2013). Evidence Based Health Informatics: 10 Years of Efforts to Promote the Principle: Joint Contribution of IMIA WG EVAL and EFMI WG EVAL. *Yearbook of Medical Informatics*, 22(01), 34-46. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1638830>

- Robbiati, C., Tosti, M. E., Mezzabotta, G., Dal Maso, F., Lulua Sachicola, O. M., Siene Tienabe, P., Nsuka, J., Simonelli, M., Dente, M. G., & Putoto, G. (2022). Improving TB Surveillance and Patients' Quality of Care Through Improved Data Collection in Angola: Development of an Electronic Medical Record System in Two Health Facilities of Luanda. *Frontiers in Public Health*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.745928>
- Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial: 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. Planeta, S. A.
- Secretaría de Salud de Honduras [SESAL]. (2016). *Salud lanza el Plan Estratégico de Respuesta Nacional de Prevención y Control de la Tuberculosis en Honduras*. <https://www.salud.gob.hn/site/index.php/component/k2/item/524-salud-lanza-el-plan-estrategico-de-respuesta-nacional-de-prevencion-y-control-de-la-tuberculosis-en-honduras>
- Secretaría de Salud de Honduras [SESAL]. (2021). *Salud y Embajada de Taiwán firman "Proyecto la mejora de la eficiencia en la gestión hospitalaria de la informática en salud en Honduras"*. Secretaría de Salud. <https://www.salud.gob.hn/site/index.php/component/k2/item/2151-salud-y-embajada-de-taiwan-firman-proyecto-la-mejora-de-la-eficiencia-en-la-gestion-hospitalaria-de-la-informatica-en-salud-en-honduras>
- Secretaría de Salud de Honduras [SESAL]. (2022). *Salud conmemora el Día Mundial de Lucha contra la Tuberculosis*. <https://www.salud.gob.hn/site/index.php/component/k2/item/2484-salud-conmemora-el-dia-mundial-de-lucha-contra-la-tuberculosis>
- Singh, R., Dwivedi, S., Gaharwar, U., Meena, R., Rajamani, P., & Prasad, T. (2020). Recent updates on drug resistance in Mycobacterium tuberculosis. *Journal of applied microbiology*, 128(6), 1547–1567. <https://doi.org/10.1111/jam.14478>.
- Suárez-Obando, F., & Camacho Sánchez, J. (2013). Estándares en informática médica: generalidades y aplicaciones. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 42(3), 295-302. [https://doi.org/10.1016/S0034-7450\(13\)70023-4](https://doi.org/10.1016/S0034-7450(13)70023-4)

- Suárez-Obando, F., & Vásquez, A. O. (2012). Aspectos éticos de la informática médica: principios de uso y usuario apropiado de sistemas computacionales en la atención clínica. *Acta Bioethica*, 18(2), 199-208. <http://dx.doi.org/10.4067/S1726-569X2012000200008>
- Torres-Duque, C. A., Fuentes Alcalá, Z. M., Rendón, A., & Battista, G. (2018). *Hoja de ruta para la eliminación de la tuberculosis en Latinoamérica y el Caribe*. 54(1), 7-9. <https://doi.org/DOL:10.1016/j.arbres.2017.07.004>
- TSC. (1995). *Ley Marco del Sector de Telecomunicaciones*. Tribunal Superior de Cuentas. <https://www.tsc.gob.hn/biblioteca/index.php/leyes/122-ley-marco-del-sector-de-telecomunicaciones>
- Tweya, H., Feldacker, C., Gadabu, O. J., Ng'ambi, W., Mumba, S. L., Phiri, D., Kamvazina, L., Mwakilama, S., Kanyerere, H., Keiser, O., Mwafilaso, J., Kamba, C., Egger, M., Jahn, A., Simwaka, B., & Phiri, S. (2016). Developing a point-of-care electronic medical record system for TB/HIV co-infected patients: experiences from Lighthouse Trust, Lilongwe, Malawi. *BMC Research Notes*, 9, 146. <https://doi.org/10.1186/s13104-016-1943-4>
- Valipour, M. H., Amirzafari, B., Maleki, K. N., & Daneshpour, N. (2009). A brief survey of software architecture concepts and service-oriented architecture. *2009 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*, 34-38. <https://doi.org/10.1109/ICCSIT.2009.5235004>
- Vásquez, J. B. (2012). *Análisis y diseño de algoritmos* (1era ed.). Red Tercer Milenio S. C.
- Verma, R., Khanna, P., & Mehta, B. (2013). Revised National Tuberculosis Control Program in India: The Need to Strengthen. *International Journal of Preventive Medicine*, 4(1), 1-5. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3570899/>
- Villanueva, A. B. (2012). El progreso de la estadística y su utilidad en la evaluación del desarrollo. *Papeles de Población*, 18(73), 1-31. <https://www.redalyc.org/pdf/112/11224638010.pdf>
- Yogish, D., Manjunath, T. N., & Hegadi, R. S. (2019). Review on Natural Language Processing Trends and Techniques Using NLTK. En K. C. Santosh & R. S. Hegadi (eds.), *Recent Trends in Image*

Processing and Pattern Recognition (pp. 589-606). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9187-3_53

Zapata, C. (2020). *Inteligencia artificial para la toma de decisiones*. 7(2-1), 3-5. <https://doi.org/10.16967/23898186.663>

XI. ANEXOS

Anexo 1 - Encuesta realizada al personal de salud de centros de atención médica de la región de San Pedro Sula

1. Profesión *

- Médico General
- Médico Especialista
- Enfermera

2. ¿Qué tipo de registros médicos utiliza actualmente para llevar el control y seguimiento de pacientes con TB? *

- Papel
- Excel u otro tipo de hoja de cálculo
- Sistema de registro médico electrónico (EMR)
- Otro

3. ¿Con que frecuencia actualiza la información de los pacientes? *

- Diariamente
- Semanalmente
- Mensualmente

4. ¿Ha tenido algún problema para acceder a los registros médicos de los pacientes? *

- 1: Nunca
- 2: Raramente
- 3: A veces
- 4: Con frecuencia
- 5: Siempre

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

5. ¿Qué dificultades ha presentado? *

Puede seleccionar varias

- No encuentra el registro o historial médico del paciente
- No tiene acceso inmediato a la información del pacientes
- Pérdida de información
- Duplicación de información
- Ninguno

6. ¿Tiene acceso a un computador en su lugar de trabajo? *

- Si
- No

7. ¿Tiene acceso a internet/WIFI en su lugar de trabajo? *

- Si
- No

8. ¿Qué tan cómodo se siente utilizando herramientas tecnológicas para realizar su trabajo? *

- 1: Nada cómodo
- 2: Poco cómodo
- 3: Neutral
- 4: Cómodo
- 5: Muy cómodo

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

9. ¿Cuál es su nivel de conocimiento en el uso de tecnologías de la información y la comunicación? *

- 1: Novato
- 2: Principiante
- 3: Intermedio
- 4: Avanzado
- 5: Experto

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

10. ¿Alguna vez ha trabajado con un sistema EMR? *

- Si
- No

11. ¿Considera que la infraestructura tecnológica en su lugar de trabajo es adecuada para el uso de un sistema EMR? *

- Si
- Necesita mejorar
- No

12. ¿Qué tan dispuesto estaría a utilizar un sistema EMR basado en IA para el control y seguimiento de pacientes con TB ? *

- 1: Nada dispuesto
- 2: Poco dispuesto
- 3: Neutral
- 4: Dispuesto
- 5: Muy dispuesto

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

13. ¿Qué factores influyen en su decisión de utilizar o no el sistema EMR? *

Puede seleccionar varias

- Disponibilidad y accesibilidad del sistema
- Fiabilidad y precisión del sistema
- Conveniencia y facilidad de uso
- Otros

14. ¿Considera que la implementación de un sistema EMR basado en IA mejoraría el control y seguimiento de pacientes con TB? *

- Sí
- Quizás
- No

15. ¿Cuál es su nivel de confianza en un sistema EMR basado en IA? *

1: Ninguna confianza
2: Poca confianza
3: Neutral
4: Bastante confianza
5: Total confianza

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Anexo 2. Matriz bibliográfica

Tabla 21. Matriz bibliográfica del estado del arte

Autor	Año	Título de investigación	País	Área de conocimiento	Propósito de la investigación
Abdekhoda et al.	2016	Applying Electronic Medical Record in Healthcare	Iran	Applied clinical informatics	Presentar un modelo integrado de aplicación de EMR por parte de los médicos.
Abraham et al.	2020	Mechanism of Drug Resistance in Mycobacterium Tuberculosis	Nigeria	Biomedical science and research	Presentar hallazgos sobre el mecanismo de resistencia a los medicamentos en TB, por lo que se presenta una revisión comparativa del mecanismo molecular, las características adaptativas y los mecanismos innatos a través de los cuales el organismo desarrolla resistencia a los medicamentos antituberculares.
Ahmed et al.	2020	Intention to use electronic medical record and its predictors among health care providers at referral hospitals, north-west Ethiopia, 2019: using unified theory of acceptance and use technology 2 (UTAUT2) model	Etiopía	Biomedical informatics and decision making	Evaluar la intención de uso del proveedor de atención médica hacia los sistemas de EMR en tres hospitales de referencia en el noroeste de Etiopía, 2019.

Autor	Año	Título de investigación	País	Área de conocimiento	Propósito de la investigación
Athota et al.	2020	Chatbot para sistema de salud usando IA	India	Information and communication technologies and optimization	Crear un chatbot médico que utiliza IA que puede diagnosticar la enfermedad y proporcionar detalles básicos sobre la enfermedad antes de consultar a un médico.
Avera Health y Brooks, P.	2010	Standards and Interoperability in Healthcare Information Systems: Current Status, Problems, and Research Issues	N/A	Information systems and healthcare data standards	Discutir el problema de la interoperabilidad y los estándares al describir la recopilación de datos subyacente y los procesos de intercambio en el contexto de las funciones clave de una organización sanitaria.
Ayaad et al.	2019	The role of electronic medical records in improving the quality of health care services: comparative study	N/A	Medical informatics	Identificar las diferencias en la calidad de los servicios de atención médica entre los sistemas EMR adoptados y los hospitales con registro en papel.
Barreto-Villanueva	2012	El progreso de la estadística y su utilidad en la evaluación del desarrollo	México	Estadística	Demostrar la utilidad práctica de la estadística y ver cómo permite esta medir otros valores más allá de los estrictamente económicos para incursionar en la construcción de indicadores alternativos del progreso económico y la prosperidad, para poner en evidencia que el desarrollo de los pueblos no radica solo en el bienestar material.

Autor	Año	Título de investigación	País	Área de conocimiento	Propósito de la investigación
Barrios Contreras	2018	Arquitectura de microservicios	Colombia	Arquitectura de <i>software</i>	Conocer las nuevas demandas de desarrollo requeridas en arquitecturas de <i>software</i> .
W. D. Bidbood Jr. et al.	1997	Understanding and using DICOM, the data interchange standard for biomedical imaging	N/A	Medical imaging informatics	Explicar los estándares y conceptos fundamentales del protocolo de mensajes DICOM.
Caminero, J. A. et al.	2017	Diagnóstico y tratamiento de la tuberculosis con resistencia a fármacos	N/A	Bronconeumología	Razonar las bases del diagnóstico y tratamiento de todos los pacientes afectados por TB, desde aquellos que tienen formas de la enfermedad con sensibilidad a todos los fármacos hasta aquellos que son portadores de los patrones más extensos de resistencia. Asimismo, se dan recomendaciones específicas para cada uno de estos supuestos.
Cecilia Castañeda	2022	Taller de fundamentos de programación estructurada para el diseño	México	Diseño y programación	Indicar algunos conceptos clave de programación computacional y su aplicación en un proyecto de diseño.

Autor	Año	Título de investigación	País	Área de conocimiento	Propósito de la investigación
Chijioke-Akaniro et al.	2022	Improving TB case notification and treatment coverage through data use	Nigeria	Public health	Evaluar la mejora en la notificación de casos de TB y la cobertura del tratamiento a través de un mejor uso de los datos para la acción en Nigeria.
Cortéz, A.	2004	Teoría de la complejidad computacional y teoría de la computabilidad	Perú	Sistemas e Informática	Explicar dos teorías fundamentales de la ciencia de la computación.
Das et al.	2015	Applications of Artificial Intelligence in Machine Learning: Review and Prospect	N/A	Computer applications	Analizar las diversas aplicaciones bajo el correspondiente. Se ha destacado la categoría de ML y se presentan una visión más general y una visión realista de las aplicaciones del mundo real.
Díaz, G. M.	2020	Telemedicina ética para Honduras en tiempos de COVID-19	Honduras	Tecnologías de la información en salud	Reflexionar sobre la necesidad de implementar una telemedicina ética y humanista, cuyo fin prioritario sea preservar la vida, la confidencialidad, la seguridad de los pacientes, la calidad y la continuidad de la atención médica.

Autor	Año	Título de investigación	País	Área de conocimiento	Propósito de la investigación
Glickman, M., y Orlova, A.	2015	Building Interoperability Standards and Ensuring Patient Safety	N/A	Health informatics	Detallar los estándares de interoperabilidad mencionados por HL7 Y HITSP.
Gómez Ortega	2013	Informática médica: sistemas de información y estándares en salud: modelo de aplicación	N/A	Informática médica	Referenciar algunos estándares reconocidos internacionalmente que son adoptados por algunos de los sistemas de información.
González y Fernández	2012	Patrón modelo-vista-controlador	N/A	Programación	Analizar el patrón MVC.
Huaman et al.	2019	Treatment of latent tuberculosis infection - an update. Clinics in chest medicine	N/A	Medicine	Explicar la sintomatología de la TB latente y su tratamiento.
Huang et al.	2019	Added Value of Comprehensive Program to Provide Universal Access to Care for Sputum Smear-negative Drug-Resistant Tuberculosis, China	China	Health planning	Ampliar el algoritmo diagnóstico para el diagnóstico y el tratamiento de la TB pulmonar confirmada bacteriológicamente y la TB resistente a rifampicina.
Hylock y Harris	2016	Healthcare Database Management for Health Informatics and Information Management Students: Challenges and Instruction Strategies - Part 1	Estados Unidos	Health informatics	Presentar la metodología detrás de la creación del curso de posgrado en sistemas de EMR en la Universidad de Carolina del Este.

Autor	Año	Título de investigación	País	Área de conocimiento	Propósito de la investigación
Janiesch et al.	2021	Machine learning and deep learning	N/A	Artificial intelligence	Proporcionar una distinción conceptual entre términos y conceptos relevantes y del proceso de construcción de modelos analíticos automatizados, destacando las particularidades del ML y DL. Asimismo, se discuten varios desafíos inducidos al implementar sistemas inteligentes dentro de las organizaciones o los mercados electrónicos.
Jilani et al.	2022	Active Tuberculosis	N/A	Medicine	Informar la sintomatología de la enfermedad TB activa, su diagnóstico y su tratamiento.
LeCun et al.	2015	Deep learning	N/A	Machine intelligence	Explicar los conceptos básicos de funcionamiento y estructura del <i>deep learning</i> .
Lee et al.	2017	Medical big data: promise and challenges	N/A	Data mining	Se discute la importancia, para qué sirven, cómo se pueden analizar y cuáles son los desafíos para el <i>big data</i> médico.
Li et al.	2021	Discovery and Mechanistic Study of Mycobacterium Tuberculosis PafA Inhibitors	N/A	Medicinal chemistry	Proporcionar nuevas herramientas para la investigación de la TB y una base para el futuro desarrollo de fármacos dirigidos a PafA para el tratamiento de la TB.

Autor	Año	Título de investigación	País	Área de conocimiento	Propósito de la investigación
Mahesh, B.	2019	Machine Learning Algorithms -A Review	N/A	Machine learning	Presentar una breve revisión y perspectiva futura de las vastas aplicaciones de los algoritmos de ML.
Mahindrakar y Hanumanthappa	2013	Data Mining in Healthcare: A Survey of Techniques and Algorithms with Its Limitations and Challenges	India	Data mining algorithms in healthcare	Identificar y evaluar los algoritmos de minería de datos más comunes implementados en los servicios de salud modernos.
Makantasis et al.	2015	Deep supervised learning for hyperspectral data classification through convolutional neural networks	Grecia	Deep and machine learning	Trabajar en una red neuronal convencional para codificar la información espectral y espacial de los píxeles y una percepción multicapa para realizar la tarea de clasificación.
Manca, D. P.	2015	Do electronic medical records improve quality of care?	Canadá	Health informatics	Analizar cómo los EMR han mejorado la asistencia sanitaria y qué desafíos han presentado a lo largo del tiempo.
Morimoto y Ponton	2021	Virtual reality in biology: could we become virtual naturalists?	Reino Unido	Biological sciences	Debatir sobre cómo las nuevas tecnologías pueden revolucionar la enseñanza y el aprendizaje en diferentes escenarios, lo que puede ser útil para mejorar los resultados del aprendizaje de conceptos biológicos en programas de aprendizaje presencial, mixto y a distancia.

Autor	Año	Título de investigación	País	Área de conocimiento	Propósito de la investigación
Munavalli et al.	2020	Real-Time Capacity Management and Patient Flow Optimization in Hospitals Using AI Methods	N/A	Computer science	Analizar los problemas y posibilidades de que los hospitales incorporen la IA en su capacidad de gestión y se conviertan en sistemas inteligentes en los que las operaciones y los procesos estén regulados por retroalimentación.
Noumeir, R.	2019	Active Learning of the HL7 Medical Standard	Canada	Digital imaging	Describir un enfoque innovador de aprendizaje activo basado en la resolución de problemas de escenarios clínicos reales para aprender el estándar HL7 rápidamente.
O'Shea y Nash	2015	An Introduction to Convolutional Neural Networks	Estados Unidos	Neural and evolutionary computing	Proporcionar una breve introducción a las CNN, y analizar artículos publicados recientemente y técnicas recién formadas para desarrollar modelos de reconocimiento de imágenes.
Rashidi et al.	2022	Prediction of tuberculosis using an automated machine learning platform for models trained on synthetic data	N/A	Pathology informatics	Determinar la utilidad de los "datos sintéticos" en el entrenamiento de algoritmos de ML para la detección de TB a partir de perfiles de biomarcadores inflamatorios.

Autor	Año	Título de investigación	País	Área de conocimiento	Propósito de la investigación
Ravi et al.	2017	Deep Learning for Health Informatics	Reino Unido	Biomedical and health informatics	Presentar una revisión exhaustiva y actualizada de la investigación que hace el aprendizaje profundo en la informática de la salud, y proporcionar un análisis crítico del mérito relativo y los posibles peligros de la técnica, así como su perspectiva futura.
Rigby et al.	2013	Evidence-Based Health Informatics: 10 Years of Efforts to Promote the Principle: Joint Contribution of IMIA WG EVAL and EFMI WG EVAL	Irlanda	Medical informatics	Presentar la importancia de la Informática en Salud Basada en la Evidencia (EBHI) y el imperativo ético de este enfoque; destacar el trabajo del grupo de trabajo de IMIA sobre evaluación de tecnología y mejora de la calidad, y el grupo de trabajo de EFMI sobre evaluación de sistemas de información de salud; y mostrar otros aspectos importantes de evaluación y evidencia que se están abordando.

Autor	Año	Título de investigación	País	Área de conocimiento	Propósito de la investigación
Suárez-Obando, F., y Camacho Sánchez, J.	2013	Estándares en informática médica: generalidades y aplicaciones	Colombia	Medical informatics	Describir el concepto de estándar aplicado a la informática médica y su importancia en el desarrollo de diversas aplicaciones, como la representación computacional del conocimiento médico, la codificación diagnóstica, la búsqueda de literatura médica y la integración de las ciencias biológicas a las aplicaciones clínicas.
Suárez-Obando, F., y Vásquez, A. O.	2012	Aspectos éticos de la informática médica: principios de uso y usuario apropiado de sistemas computacionales en la atención clínica	Colombia	Biomedical informatics	Plantear que los principios de uso y usuario apropiado de las aplicaciones en informática médica sean los fundamentos con los cuales se maneje adecuadamente la tecnología computacional en salud.
Torres-Duque et al.	2018	Hoja de ruta para la eliminación de la tuberculosis en Latinoamérica y el Caribe	N/A	Bronconeumología	Resumir las acciones para la eliminación de la TB.
Tweya et al.	2016	Developing a point-of-care electronic medical record system for TB/HIV co-infected patients: experiences from Lighthouse Trust, Lilongwe, Malawi.	Malawi	Informatics	Desarrollar e implementar un sistema EMR en el punto de atención en una clínica pública integrada en Malawi que atiende a personas infectadas con VIH y TB.

Autor	Año	Título de investigación	País	Área de conocimiento	Propósito de la investigación
Valipour et al.	2009	A brief survey of software architecture concepts and service-oriented architecture	N/A	Electrical and computer engineering	Describir los conceptos básicos y la estructura principal de la arquitectura de <i>software</i> .
Verma et al.	2013	Revised National Tuberculosis Control Program in India: The Need to Strengthen	India	Preventive medicine	Discutir los problemas que enfrenta India con los programas de control de TB vigentes.
Zapata, C.	2020	Inteligencia artificial para la toma de decisiones	Colombia	IA	Explicar por qué los procesos de toma de decisión pueden ser eficientes con la ayuda de la IA.