

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PUCP**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOMENDACIÓN DE  
MEDICAMENTOS EN BASE A LA NATURALEZA DEL PACIENTE  
GERIÁTRICO**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Informática**

**AUTORA:**

Lourdes Giannina Montalvo Luján

**ASESOR:**

Ing. Luis Esteban Ríos Alejos

Lima, octubre de 2019

## RESUMEN

El presente proyecto de tesis desarrolla la implementación de un sistema de recomendación de medicamentos en base a la naturaleza del paciente geriátrico. Las personas geriátricas enfrentan problemas de salud, principalmente con enfermedades crónicas como hipertensión, diabetes, osteoartritis, entre otros, que requieren continuo tratamiento.

La prescripción de múltiples medicamentos es una práctica común en este grupo de personas, en ese sentido aumenta el riesgo de interacciones farmacológicas no deseadas o peligrosas. Al aumentar la cantidad de medicamentos crece constantemente la probabilidad de padecer interacciones medicamentosas. Por lo tanto, es deseable tener sistemas de soporte médico que digieran todos los datos disponibles y adviertan sobre posibles interacciones de acuerdo al perfil médico del paciente.

El sistema de recomendación desarrollado toma en cuenta las enfermedades preexistentes del paciente geriátrico, los síntomas actuales y verificación de interacciones farmacológicas. Este proyecto se inició con la construcción del simulador del paciente geriátrico basado en una red bayesiana, el cual incluye los antecedentes médicos del paciente, como punto de partida; los medicamentos a recomendar y por último el diagnóstico actual del paciente definido por el médico. Seguidamente, el desarrollo de un algoritmo genético se utilizó junto con el simulador del paciente para obtener la mejor combinación de medicamentos utilizando una función costo que optimiza la ausencia de los síntomas. Por último, el desarrollo de un sistema web consolidó todo lo construido anteriormente para que pueda ser utilizado por el usuario médico.

Con ello se incluye un aporte a la mejora de la calidad de vida de los pacientes adultos mayores; con mayor énfasis, en brindar soluciones individualizadas, según su situación particular.



A mis padres por su apoyo y cariño incondicional, a mi asesor Luis Ríos por los consejos durante el desarrollo de mi tesis y a mi co-asesor Edwin Villanueva por su apoyo constante durante la implementación del algoritmo.

## INDICE

Capítulo 1. Generalidades	11
1.1 Problemática	11
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo General	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.2.3 Resultados Esperados	14
1.2.4 Mapeo de objetivos, resultados y verificación	14
1.3 Herramientas y Métodos	17
1.3.1 Herramientas	19
1.3.2 Criterios, Metodologías y Procedimientos	21
1.3.2.1 Criterios STOPP-START	22
1.3.2.2 Criterios de Beers	22
1.3.2.3 Uso de la Red Bayesiana	22
1.3.3 Metodología ágil de programación extrema	23
1.3.4 Entrevistas	24
1.3.5 Reuniones	24
1.4 Alcance, Limitaciones y Riesgos	24
1.4.1 Alcance	24
1.4.2 Limitaciones	25
1.4.3 Riesgos	26
1.5 Justificación	27
1.6 Viabilidad	28
1.6.1 Viabilidad Técnica	28

1.6.2	Viabilidad Económica	28
1.6.3	Viabilidad Temporal	28
Capítulo 2.	Marco Conceptual	32
2.1	Multimorbilidad	32
2.2	Código CIE-10	32
2.3	Código ATC	32
2.4	Reacción adversa a medicamentos (RAM)	33
2.5	Paciente Polimedicado	33
2.6	Morbimortalidad	33
2.7	Prescripción Médica	33
2.8	Algoritmo metaheurístico	34
2.9	Algoritmo evolutivo	34
2.10	Redes Bayesianas	35
Capítulo 3.	Estado del Arte	37
3.1	Revisión y discusión	38
3.2	Conclusiones	45
Capítulo 4.	Modelo computacional del paciente geriátrico	46
4.1	Construcción de la base de conocimiento	46
4.1.1	Selección de las patologías más frecuentes en adultos mayores	46
4.1.2	Selección de Medicamentos	48
4.1.2.1	Medicamentos que tratan una patología	48
4.1.2.2	Medicamentos que interactúan con otros medicamentos y/o alguna patología	49
4.2	Simulador de medicamentos y síntomas del perfil del paciente geriátrico	52

4.2.1	Construcción de la red Bayesiana	52
Capítulo 5. Desarrollo del servicio de optimización de combinación de medicamentos		
	57	
5.1	Planteamiento del Algoritmo Genético	57
5.1.1	Planteamiento de variables	57
5.1.2	Función Fitness	58
5.1.3	Selección y Cruzamiento	60
5.1.4	Mutación	60
5.1.5	Población inicial	60
5.1.6	Implementación del Algoritmo Genético	60
5.1.6.1	Casos de prueba de distintos pacientes geriátricos	60
5.1.7	Verificación de la eficacia del algoritmo genético	63
5.2	Implementación del servicio de arquitectura REST	63
5.2.1	Diagrama de despliegue	63
5.2.2	Ejecución del API en Flask	64
Capítulo 6. Implementación del sistema web		67
6.1	Documentación de análisis y diseño del sistema web	67
6.1.1	Listado de Requerimientos	67
6.1.2	Historias de usuarios	67
6.1.3	Modelamiento de la base de datos	82
6.2	Patrón Arquitectónico	84
6.3	Desarrollo del sistema de recomendación	84
Capítulo 7. Conclusiones y trabajos futuros		89
7.1	Conclusiones	89

7.1.1	Simulador del paciente geriátrico	89
7.1.2	Algoritmo genético para optimizar la combinación de medicamentos	89
7.1.3	Aplicación web de recomendación de medicamentos	90
7.2	Trabajos Futuros	90
Capítulo 8. Referencias		91
Capítulo 9. Anexos		96
9.1	Comparación de resultados con la ejecución de la red bayesiana	96
9.2	Listado de Requerimientos	97

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Mapeo de objetivos, resultados y medio de verificación	15
Tabla 2	Resultados Esperados y Herramientas a Usarse	18
Tabla 3	Listado de Riesgos del proyecto	26
Tabla 4	Cronograma de actividades a desarrollar para el objetivo 1	29
Tabla 5	Cronograma de actividades a desarrollar para el objetivo 2	30
Tabla 6	Cronograma de actividades a desarrollar para el objetivo 3	31
Tabla 7	Patologías elegidas para el modelamiento	47
Tabla 8	Algunos casos de Interacciones entre medicamentos utilizados	50
Tabla 9	Artículos revisados como evidencia de la toma de datos para la base de conocimiento	51
Tabla 10	Detalle de los efectos secundarios de algunos medicamentos para tratar el Alzheimer	53
Tabla 11	Variables planteadas para la construcción del algoritmo genético	58
Tabla 12	Parámetros de la función fitness	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Metáfora entre la evolución y la resolución de problemas reales (Francisco Herrera, 2000) .....	35
Ilustración 2 Flujo de creación de evolución del individuo (elaboración propia) .....	35
Ilustración 3 Ejemplo de una red bayesiana junto con las distribuciones de probabilidades condicionales de las variables (Luis Enrique Sucar) .....	36
Ilustración 4 Se muestran las características y puntajes de un paciente.....	40
Ilustración 5 Ejemplo de objetivos de atención médica que pueden abordarse con apoyo para la toma de decisiones clínicas .....	42
Ilustración 6 Resultado de la búsqueda de la interacción de medicamentos usando la base de datos DrugBank .....	43
Ilustración 7 Resultado de Interacción entre dos y más medicamentos con Drug Interaction Checker.....	44
Ilustración 8 Ejemplo del funcionamiento de la aplicación Pocket Pharmacist.....	44
Ilustración 9 Patologías más frecuentes de una muestra de adultos mayores (A. López-Sáeza, P. Sáez-López, S. Paniagua-Tejoc, M.A. Tapia-Galánd, 2012).....	47
Ilustración 10 Antihipertensivos usados en el manejo de la hipertensión arterial en el Hospital San Pedro y San Pablo de la Virginia, Risaralda, 2014 .....	48
Ilustración 11 Antihipertensivos usados en el manejo de la hipertensión arterial en el Hospital San Pedro y San Pablo de la Virginia, Risaralda, 2014 .....	49
Ilustración 12 Construcción del modelo bayesiano del sistema de Cardiología (elaboración propia).....	54
Ilustración 13 Construcción del modelo bayesiano del sistema de Neurología (elaboración propia).....	55



Ilustración 14 Construcción del modelo bayesiano del sistema de Traumatología (elaboración propia).....	55
Ilustración 15 Construcción del modelo bayesiano del sistema de Endocrinología (elaboración propia).....	56
Ilustración 16 Pasos que realiza el algoritmo genético.....	57
Ilustración 17 Ejecución de la recomendación al primer caso del paciente geriátrico (elaboración propia).....	61
Ilustración 18 Ejecución de la recomendación del segundo caso del paciente geriátrico (elaboración propia).....	62
Ilustración 19 Ejecución de la recomendación del tercer caso del paciente geriátrico (elaboración propia).....	62
Ilustración 20 Diagrama de despliegue del sistema de recomendación de medicamentos (elaboración propia).....	64
Ilustración 21 Ejecución del API de recomendación desarrollado en Flask usando la herramienta Postman (elaboración propia).....	65
Ilustración 22 Iteración de la combinación de medicamentos a lo largo de 50 iteraciones (elaboración propia).....	66
Ilustración 23 Diagrama Entidad-Relación de la Administración de la Historia Clínica (elaboración propia).....	82
Ilustración 24 Diagrama Entidad-Relación de la Administración de la Receta Médica (elaboración propia).....	82
Ilustración 25 Diagrama Entidad-Relación de la Administración de Usuarios (elaboración propia).....	83
Ilustración 26 Diagrama de despliegue del sistema web (elaboración propia).....	84
Ilustración 27 Interfaz del inicio de sesión del sistema web (elaboración propia) .....	85
Ilustración 28 Registro de Consulta - Anamnesis del Paciente (elaboración propia) ...	85
Ilustración 29 Registro de Consulta - Diagnostico del Paciente (elaboración propia) ..	86

Ilustración 30 Registro de Consulta - Examen Físico del Paciente (elaboración propia)	86
Ilustración 31 Historia Clínica del Paciente (elaboración propia)	87
Ilustración 32 Historia Clínica del Paciente - Seguimiento de Signos Vitales (elaboración propia)	87
Ilustración 33 Recomendación de medicamentos a seleccionar por el médico (elaboración propia)	88
Ilustración 34 Prescripción médica final (elaboración propia)	88
Ilustración 35 Resultados de la red bayesiana a partir de la recomendación propuesta del algoritmo genético (elaboración propia)	96



## **Capítulo 1. Generalidades**

### **1.1 Problemática**

La selección de la farmacoterapia adecuada para las personas mayores se ha reconocido como un proceso complejo y desafiante; el cual, se ha convertido en un importante problema de salud pública (Dieter Genser, 2008). Uno de los problemas que enfrentan los pacientes geriátricos son las reacciones adversas a los medicamentos (RAM). Dicho problema es una de las causas principales de ingresos hospitalarios, lo que conlleva a problemas médicos y económicos importantes (Köhler GI, Bode-Böger SM, Busse R, Hoopmann M, Welte T, Böger RH, 2000). En los adultos mayores, la multimorbilidad, coexistencia de dos o más afecciones crónicas, está en aumento y; en consecuencia, la polifarmacia y los casos de RAM también (Ingolf Cascorbi, 2012). Estos dos últimos problemas generan efectos graves en la salud y reducción del efecto terapéutico de algunos compuestos. Lo cual genera el aumento de los riesgos y los costos en la atención primaria (World Health Organization, 2016).

En Estados Unidos, las interacciones entre medicamentos, originadas por la polifarmacia, han sido responsables de aproximadamente el 26% de las RAM anualmente, afectando al 50% de los pacientes hospitalizados y causando casi 74,000 visitas a la sala de emergencias y 195,000 hospitalizaciones (Wen-Hao Chiang, Li Shen, Lang Li, Xia Ning, Dieter Genser, 2018).

En efecto, diversos estudios demuestran que las personas mayores usan al menos tres veces más medicamentos, si se comparan con las personas jóvenes, lo que se debe principalmente a una mayor prevalencia de enfermedades crónicas en edad avanzada (Diana Pizarro Méndez, 2016). Por tanto, para mejorar la seguridad en la atención primaria del paciente y la prescripción segura de medicamentos, es esencial tener en cuenta las condiciones de salud que trae consigo el paciente y los medicamentos que consume regularmente (World Health Organization 2016).

A continuación, se explicará en detalle los problemas que generan la falta de verificación personalizada para la protección del tratamiento médico del paciente geriátrico.

En primer lugar, no es usual que se estudien las posibles interacciones entre fármacos (Diana Pizarro Méndez, 2016). La explicación de por qué no es usual dichas comprobaciones es que ello tomaría tiempo, y en ciertas ocasiones, sería ineficaz, pues si el médico no recuerda qué interacciones tienen los medicamentos sobre otros y qué efectos podrían ocasionar si se toman en conjunto, entonces el paciente geriátrico no se beneficiará del tratamiento o; en todo caso, empeorará. Por tanto, la utilización inapropiada de medicamentos en los adultos mayores conlleva frecuentemente a la génesis de reacciones adversas debido a los cambios fisiológicos asociados a la edad y a estas interacciones. Esto aumenta la multimortalidad, determinando un mayor número de admisiones hospitalarias, con incremento de la utilización de recursos sanitarios y gastos en salud (Cristian Gallo, Javier Vilosio y J.Saimovici, 2015).

En segundo lugar, en la prescripción existen algunos medicamentos que no están acordes al historial médico del paciente; por ejemplo, si un paciente geriátrico tiene insuficiencia cardíaca puede recibir tratamiento apropiado con 3 o 4 fármacos. Sin embargo, si este paciente tiene hiperlipidemia y diabetes mellitus, se podrían requerir otros 2 o 3 medicamentos (G. Michael Harper MD, AGSF William L. Lyons MD, AGSF; Jane F. Potter MD, FACP, AGSF, 2019).

Es decir, que según los antecedentes o condiciones que posea el paciente geriátrico, será necesario personalizar la prescripción médica. Además, en un estudio realizado en la Universidad Mayor de San Marcos se utilizaron los criterios de Beers, los cuales describen un listado de medicamentos apropiados para ser utilizados con seguridad en las personas mayores; por ejemplo, el uso de beta bloqueadores en un paciente con asma puede empeorar la función respiratoria, pero reduce los eventos cardiovasculares en pacientes que han sufrido infarto agudo de miocardio (Teodoro J Oscanoa, 2005).

En tercer lugar, existen bases de datos de consultas como PubMed, DrugBank, InterDrug, InteractionChecker, MedScape, entre otras, que cubren la revisión de interacciones medicamentosas que las organizaciones de salud indican. Este tipo de verificaciones no están vinculadas con el historial clínico del paciente geriátrico, lo que origina que la revisión no sea automática con los antecedentes o condiciones que el paciente haya tenido o sigue tratando.

Por tanto, el cuidado del paciente geriátrico involucra la protección del tratamiento médico. Esta protección debería cubrir en primer lugar, la verificación de interacciones entre medicamentos; en segundo lugar, la verificación entre un medicamento y alguna condición actual del paciente; y, en tercer lugar, la verificación inteligente de los medicamentos en conjunto con el historial médico del paciente siguiendo los criterios médicos STOPP-START y de Beers (G. Michael Harper MD, AGSF William L. Lyons MD, AGSF; Jane F. Potter MD, FACP, AGSF, 2019).

Ante la evidencia presentada anteriormente descrita, el presente proyecto busca implementar un sistema de recomendación de medicamentos en base a las enfermedades crónicas y síntomas actuales del paciente geriátrico, y la verificación de las interacciones entre medicamentos.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Implementar un sistema de recomendación de medicamentos en base a la naturaleza del paciente geriátrico.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

O1. Construir un modelo computacional del paciente geriátrico que relacione los antecedentes del paciente, que incluye enfermedades registradas y medicamentos recetados anteriormente; el diagnóstico actual; y los medicamentos a recetar; con lo cual se permita realizar inferencias cuando se disponga de la información del paciente.

O2. Implementar un algoritmo evolutivo para optimizar la búsqueda de los mejores medicamentos a recetar, usando el modelo computacional del paciente geriátrico, que maximice la ausencia de los síntomas y efectos secundarios.

O3. Implementar un sistema web que permita utilizar el algoritmo propuesto en base al diagnóstico del paciente, la relación de medicamentos y condiciones preexistentes; y así poder visualizar la prescripción médica con los medicamentos recomendados.

### **1.2.3 Resultados Esperados**

R1 al O1. Data estructurada con información de composición farmacológica del medicamento, los efectos que tiene con otros medicamentos, los efectos que tiene con otros trastornos médicos y el beneficio sintomático de su uso en pacientes geriátricos.

R2 al O1. Modelo Simulador del paciente geriátrico que relacione las enfermedades actuales crónicas o no crónicas, medicamentos a recetar, y síntomas y efectos secundarios a tratar.

R3 al O2. Algoritmo metaheurístico evolutivo para generar combinaciones de medicamentos que respeten las restricciones o antecedentes del paciente geriátrico.

R4 al O2. Servicio de arquitectura REST que muestre la comunicación entre el cliente y el servidor, la cual demuestre la entrega de enfermedades actuales crónicas o no crónicas y diagnóstico del paciente, para la salida respectiva de recomendación de medicamentos.

R5 al O3. Documento de análisis y diseño del sistema web de recomendación de medicamentos.

R6 al O3. Sistema web para visualizar la recomendación de medicamentos.

### **1.2.4 Mapeo de objetivos, resultados y verificación**

En la tabla 1 se detallan los objetivos, resultados y el medio de verificación de cada uno con una breve descripción de cada fase.

Tabla 1 Mapeo de objetivos, resultados y medio de verificación

<p><b>Objetivo 1:</b> Construir un modelo computacional del paciente geriátrico que relacione los antecedentes del paciente, que incluye enfermedades registradas y medicamentos recetados anteriormente; el diagnóstico actual; y los medicamentos a recetar; con lo cual se permita realizar inferencias cuando se disponga de la información del paciente.</p>		
Resultado	Meta física	Medio de verificación
<p>Data estructurada con información de composición farmacológica del medicamento, los efectos que tiene con otros medicamentos, los efectos que tiene con otros trastornos médicos y el beneficio sintomático de su uso en pacientes geriátricos.</p>	<p>Base de conocimiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evidencias de pacientes que hayan consumido medicamentos adecuados y no adecuados.</li> <li>- Verificación de los datos con un médico especialista.</li> </ul>
<p>Modelo Simulador del paciente geriátrico que relacione las enfermedades actuales crónicas o no crónicas, medicamentos a recetar, y síntomas y efectos secundarios a tratar.</p>	<p>Modelo de Red Bayesiana. Código fuente de la red Bayesiana en Python</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evidencias de pacientes que hayan consumido medicamentos adecuados y no adecuados.</li> <li>- Validación con expertos médicos, sobre la coherencia de probabilidad de ausencia y presencia del síntoma.</li> </ul>

**Objetivo 2:** Implementar un algoritmo evolutivo para optimizar la búsqueda de los mejores medicamentos a recetar, usando el modelo computacional del paciente geriátrico, que maximice la ausencia de los síntomas y efectos secundarios.

<b>Resultado</b>	<b>Meta física</b>	<b>Medio de verificación</b>
Algoritmo metaheurístico evolutivo para generar combinaciones de medicamentos que respeten las restricciones o antecedentes del paciente geriátrico.	Código fuente del algoritmo evolutivo implementado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificación por diversidad de interacciones de medicamentos</li> <li>- Evidencias de pacientes que hayan consumido medicamentos adecuados y no adecuados.</li> <li>- Validación con expertos médicos, sobre la coherencia de probabilidad de ausencia y presencia del síntoma.</li> </ul>
Servicio de arquitectura REST que muestre la comunicación entre el cliente y el servidor, la cual demuestre la entrega de enfermedades actuales crónicas o no crónicas y diagnóstico del paciente, para la salida respectiva de recomendación de medicamentos.	Código fuente del servicio REST Diseño de la arquitectura REST	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pruebas unitarias realizadas sobre el registro de información del usuario al sistema.</li> </ul>



<b>Objetivo 3:</b> Implementar un sistema web que permita utilizar el algoritmo propuesto en base al diagnóstico del paciente, la relación de medicamentos y condiciones preexistentes; y así poder visualizar la prescripción médica con los medicamentos recomendados.		
<b>Resultado</b>	<b>Meta física</b>	<b>Medio de verificación</b>
Documento de análisis y diseño del sistema web de recomendación de medicamentos.	Documentación del software, diagrama de modelamiento de base de datos y mockups del software	- Validación con expertos médicos para verificar los flujos de registro de receta e historia
Sistema web para visualizar la recomendación de medicamentos.	Software	- Pruebas unitarias realizadas sobre el registro de información del usuario al sistema. - Pruebas funcionales del sistema.

### 1.3 Herramientas y Métodos

En la presente sección se detallarán las herramientas, procedimientos, métodos y metodologías que se utilizaron a lo largo del proyecto. Para efectos de cumplir con los objetivos antes mencionados, se incluyeron registros de datos de pacientes y bases de datos de enfermedades y medicamentos. En la tabla 2, se describen las herramientas utilizadas por cada resultado expuesto anteriormente.

Tabla 2 Resultados Esperados y Herramientas a Usarse

Resultados Esperados	Herramientas a usarse
<p>Data estructurada con información de composición farmacológica del medicamento, los efectos que tiene con otros medicamentos, los efectos que tiene con otros trastornos médicos y el beneficio sintomático de su uso en pacientes geriátricos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Lenguaje de programación Python</li> <li>● Excel</li> </ul>
<p>Simulador del paciente geriátrico que involucre los antecedentes actuales, medicamentos a recetar, y síntomas y efectos secundarios a tratar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Lenguaje de programación Python</li> <li>● Herramienta Nética</li> <li>● Librerías de Python como pgmpy</li> </ul>
<p>Algoritmo metaheurístico evolutivo para generar combinaciones de medicamentos que respeten las restricciones exploradas del usuario.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Lenguaje de programación Python</li> <li>● Paquete multiprocessing de Python</li> </ul>
<p>Servicio de arquitectura REST que muestre la comunicación entre el cliente y el servidor, la cual demuestre la entrega de antecedentes y diagnóstico del paciente, para la salida respectiva de recomendación de medicamentos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Lenguaje de programación Python</li> <li>● Herramienta Postman</li> <li>● Framework Flask</li> </ul>
<p>Documento de análisis y diseño del sistema web de recomendación de medicamentos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Herramientas de modelamiento de base de datos</li> <li>● Balsamiq</li> </ul>

Resultados Esperados	Herramientas a usarse
Construcción del sistema web para visualizar la recomendación de medicamentos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ruby on rails</li> <li>● Base de datos Postgresql</li> </ul>

### 1.3.1 Herramientas

En esta sección se justifica, en relación al proyecto, el uso de las herramientas mencionadas en la tabla anterior.

- Lenguaje de programación Python
  - Justificación: Es un lenguaje de programación interpretado, orientado a objetos y de alto nivel con semántica dinámica. Sus estructuras de datos integradas de alto nivel, combinadas con el denominado tipado dinámico y el enlace dinámico, lo hacen muy atractivo para el desarrollo rápido de aplicaciones, así como también para usarlo como scripting o lenguaje de pegado para conectar componentes existentes (Python Software Foundation).
  - Además, es ampliamente usado en informática científica y numérica. Las librerías estándar de Python admiten muchos protocolos de Internet (Python Software Foundation).
  
- Software Nética
  - Justificación: Software de desarrollo de redes bayesianas, diseñado para ser simple, confiable y de alto rendimiento (Norsys Software Corp. 2015). Tiene una interfaz de usuario intuitiva y fluida para dibujar las redes bayesianas, y las relaciones entre variables pueden ingresarse como probabilidades individuales, en forma de ecuaciones, o aprendidas de archivos de datos. Asimismo, Nética puede usar las redes para realizar varios tipos de inferencias utilizando algoritmos más rápidos y modernos. Dado un nuevo caso del cual tenemos un conocimiento limitado, Nética

encontrará los valores o probabilidades apropiados para todas las variables desconocidas (Norsys Software Corp. 2015).

- Librería pgmpy de Python
  - Justificación: En primer lugar “PGM” hace referencia a Modelos Gráficos Probabilísticos (en inglés: Probabilistic Graphical Models), el cual es una técnica de representación compacta de una distribución conjunta explotando las dependencias entre las variables aleatorias. También permite hacer inferencias sobre distribuciones conjuntas de una manera computacionalmente más barata que los métodos tradicionales. Por tanto, pgmpy es una librería de Python que trabaja con modelos gráficos, el cual permite responder inferencias o consultas de mapas sobre ellos (Ankur Ankan, Abinash Panda, 2015).
- Paquete multiprocessing de Python
  - Justificación: Este paquete admite la generación o creación de procesos usando un API similar al módulo de subprocessos. Ofrece tanto la concurrencia local como remota, de manera efectiva, paralela al bloqueo global de intérpretes mediante el uso de subprocessos en lugar de hilos. Debido a esto, el módulo de multiprocesamiento permite aprovechar al máximo los múltiples procesadores de la máquina determinada (Python Software Foundation).
- Lenguaje de programación Ruby
  - Justificación: Es un lenguaje de programación dinámico y de código abierto enfocado en la simplicidad y productividad. Su elegante sintaxis se siente natural al leerla y fácil al escribirla (Yukihiro «Matz» Matsumoto).
- Framework Rails
  - Justificación: Rails es un framework de aplicaciones web que incluye todo lo necesario para crear aplicaciones web respaldadas por bases de datos de acuerdo con el patrón Model-View-Controller (MVC). MVC divide su

aplicación en tres capas: modelo, vista y controlador, cada uno con una responsabilidad específica (David Heinemeier Hansson, 2005).

- Base de datos Postgresql:
  - Justificación: PostgreSQL es un potente sistema de base de datos relacional de objetos de código abierto con más de 30 años de desarrollo activo que ha valido una sólida reputación de fiabilidad, robustez de las características y rendimiento. Hay una gran cantidad de información que describe cómo instalar y usar PostgreSQL a través de la documentación oficial (PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database, 1996).
- Herramienta Postman:
  - Justificación: Postman es una gran herramienta para tratar de analizar las APIs RESTful creadas por otros o para probar las que se han creado por uno mismo. Ofrece una interfaz de usuario elegante para realizar solicitudes HTML, sin la molestia de escribir mucho código para probar la funcionalidad de una API (Abhinav Asthana, Ankit Sobti, Abhijit Kane, 2014).
- Framework Flask:
  - Justificación: Flask es un framework web Python construido con un núcleo pequeño y una filosofía fácil de ampliar. Flask se considera más idiomático a Python que el marco web de Django, porque en situaciones comunes, la aplicación web Flask equivalente es más explícita. Flask también es fácil de comenzar para principiantes, porque existe un pequeño código repetitivo para poner en marcha una aplicación simple (Matt Makai, 2012).

### **1.3.2 Criterios, Metodologías y Procedimientos**

En esta sección se presentarán los métodos que se emplearon para conocer la información de las interacciones entre medicamentos, los cuales son STOPP/START y los criterios de Beers, que recogen los errores más comunes del tratamiento y omisión en la prescripción los cuales son fáciles de relacionarse con los diagnósticos activos. Además, se justificará el uso de la red bayesiana para la construcción del simulador del

paciente, la metodología para el desarrollo del proyecto y la presentación de entrevistas y reuniones realizadas.

#### **1.3.2.1 Criterios STOPP-START**

Los criterios explícitos STOPP-START publicados en el 2008 se han impuesto como referencia en Europa aplicándose en diferentes ámbitos asistenciales. Este criterio describe los errores más comunes de tratamiento y de omisión en la prescripción en adultos mayores, son fáciles de relacionar con el diagnóstico (ya que están agrupados por sistemas fisiológicos) y pueden integrarse en los sistemas informáticos de prescripción (Cristian Gallo, Javier Vilosio y J.Saimovici, 2015). Básicamente, la lista de fármacos consta de dos criterios; los de STOPP de medicamentos a detener y los de START de medicamentos a iniciar (Alberto González-Pedraza Avilés, Alejandro Sánchez-Reyes, Ricardo González-Domínguez, 2016). Se presentan 65 criterios para la suspensión de medicación potencialmente inapropiada y 22 criterios basados en evidencia para el inicio de medicamentos necesarios para un diagnóstico concreto, a menos que existiera contraindicación (Zúñiga Tello, Exequiel Orlando, 2013).

#### **1.3.2.2 Criterios de Beers**

Los criterios de Beers describen 2 series de medicamentos que no deben ser utilizados en los adultos mayores: a) independientemente del diagnóstico o condiciones del paciente, y b) dependientes del diagnóstico o de sus condiciones clínicas, y son de aplicación en ancianos del ámbito ambulatorio domiciliario, hospitalizados e institucionalizados.

La obtención de resultados de calidad relacionados con el tratamiento minimiza la probabilidad de morbimortalidad farmacoterapéutica, la cual implica la asunción de responsabilidades y la comunicación entre todos los profesionales que intervienen en la cadena farmacoterapéutica (médicos, farmacéuticos, enfermeros(as), entre otros) (A. López-Sáeza, P. Sáez-López, S. Paniagua-Tejoc, M.A. Tapia-Galánd, 2012).

#### **1.3.2.3 Uso de la Red Bayesiana**

Las redes bayesianas han demostrado tener un alto rendimiento de predicción en el dominio médico. En particular, los enfoques bayesianos se han aplicado con éxito en el

diagnóstico de neumonía y cáncer de mama, predicción del cumplimiento del paciente con la medicación, pronóstico de las lesiones de la cabeza, entre otras aplicaciones médicas (Lee SM, Abbott PA, 2003). Por tanto, si anteriormente se ha trabajado con las redes bayesianas en el ámbito médico, se apuesta por su uso en la recomendación de medicamentos para los adultos mayores.

Por otro lado, las ventajas de las redes bayesianas son las siguientes: brindan semántica de la estructura, permiten conocer el dominio del modelo, brindan una interpretación causal, capacidad de hacer inferencias, la cual procesa incertezas y con esto se puede encontrar una respuesta dado las evidencias en algunas variables (Ankur Ankan, Abinash Panda, 2015).

### **1.3.3 Metodología ágil de programación extrema**

Se utilizó la metodología ágil de programación extrema, también conocida como una metodología ligera de desarrollo de aplicaciones que se basa en la simplicidad, la comunicación y la retroalimentación del código desarrollado (geekytheory, 2019).

Para el proyecto en mención se trabajará de forma individual con la colaboración del usuario final, el médico, para la validación del software. Se seguirán los principios de construcción de ciclos de desarrollo cortos con entregables funcionales al finalizar cada ciclo. En cada iteración se realiza un ciclo completo de análisis, diseño, desarrollo y pruebas, pero utilizando los planes de XP, los cuales son los siguientes:

- Simplicidad del plan, no se espera que el plan requiera de un experto con complicados sistemas de gerenciamiento de proyectos (Ing. José Joscowicz, 2008).
- Los planes no son predicciones del futuro, sino simplemente la mejor estimación de cómo saldrán las cosas. Los planes son útiles, pero necesitan ser cambiados cuando las circunstancias lo requieren (Ing. José Joscowicz, 2008)
- Los tiempos de trabajo se manejarán con más claridad y exactitud, pues para el caso en mención se está trabajando con una persona.
- Las tareas serán priorizadas de acuerdo al valor que brinde al usuario final.

Seguidamente, para la fase de retroalimentación, hubo comunicación constante con el médico para validar las recomendaciones de medicamentos, y validar el flujo del registro de la historia clínica, la consulta y la receta médica.

Para la presentación de las funcionalidades de la plataforma, se trabajará con el documento de historias de usuarios, el cual representará una breve descripción del comportamiento del sistema y el cumplimiento de la estimación realizada, con lo cual reemplazará un gran documento de requisitos y la creación de las pruebas de aceptación (BR. SINTYA MILENA MELÉNDEZ VALLADAREZ, BR. MARIA ELIZABETH GAITAN, BR. NELDIN NOEL PÉREZ REYES, 2016).

#### **1.3.4 Entrevistas**

Se realizaron entrevistas a dos médicos, el primero fue un médico de la especialidad de Infecciones Médicas, el cual explicó el flujo del registro de consulta y el registro de la receta. Por otro lado, el segundo médico de la especialidad de Neurología, detalló las preguntas realizadas al familiar o cuidador del paciente; el tiempo entre paciente y paciente; y la cantidad de enfermedades que puede padecer el adulto mayor. Durante el desarrollo de la red bayesiana y el algoritmo genético, se tuvieron reuniones con médicos de las especialidades de Cardiología, Endocrinología, Traumatología y Neurología para validar los correctos tratamientos a recomendar respecto de cada patología.

#### **1.3.5 Reuniones**

Se establecieron reuniones con los médicos para mostrarles los avances de los procedimientos de la recomendación de medicamentos. Con la finalidad de corroborar el correcto uso de los datos de las enfermedades crónicas del paciente, los medicamentos y los síntomas recolectados.

### **1.4 Alcance, Limitaciones y Riesgos**

#### **1.4.1 Alcance**

El proyecto de fin de carrera cubre el componente de verificación, que será materializado con el modelo computacional, y el componente de recomendación, con el algoritmo evolutivo. Se consideran las patologías más frecuentes en pacientes geriátricos, mas no



las enfermedades como cáncer, pues el tratamiento implica múltiples intervenciones adicionales a los medicamentos lo cual escapa del modelo a desarrollar. De las patologías existentes, se escogieron dieciséis, pues de acuerdo con el Consejo Nacional sobre el Envejecimiento, alrededor del 92% de adultos mayores tienen al menos una enfermedad crónica y el 77% tiene al menos dos; de las cuales las enfermedades cardíacas, los accidentes cerebrovasculares, el cáncer y la diabetes se encuentran entre las enfermedades crónicas más comunes y costosas que causan dos tercios de las muertes cada año. Entre las patologías elegidas, ocho fueron de Cardiología, una fue de Endocrinología, cinco fueron de Traumatología y dos fueron de Neurología.

Durante el desarrollo del sistema se tomó en cuenta las siguientes actividades; en primer lugar, la construcción de un modelo probabilístico de patologías en pacientes geriátricos para relacionar la información de enfermedades crónicas, con los medicamentos a recetar junto a los síntomas actuales del paciente; en segundo lugar, la implementación de un algoritmo evolutivo que busque la optimización de combinaciones de medicamentos que maximice la ausencia de los síntomas en el paciente geriátrico tomando en cuenta la seguridad del paciente en cuanto a posibles interacciones medicamentosas; y por último, el desarrollo de una aplicación web que permita utilizar la función del algoritmo propuesto.

Se trabajará con los códigos CIE-10 destinados para enfermedades, los cuales son validados por la Organización Mundial de la Salud. Además, para construir el listado de interacciones de medicamentos hacia alguna enfermedad se utilizó la base de datos de medicamentos denominada “*drugbank*” (*Drugbank, 2019*).

Por último, el software planteado funcionará igual en cualquier centro de salud, lo único que se necesita es la base de datos de los pacientes (historia clínica, consultas, citas) y los médicos (especialidad, historial de citas), ya que en cualquiera de los casos se utiliza la misma base de datos para los medicamentos y patologías. Y durante su uso se podrá someter a la actualización o ajuste del porcentaje de efectividad de algún medicamento o el porcentaje de ausencia o presencia de alguna patología.

#### **1.4.2 Limitaciones**

Las limitaciones encontradas en el desarrollo de este proyecto son las siguientes:

- Se depende de fuentes de información médicas y evidencias de casos de pacientes geriátricos, ya que la realización de este proyecto no es realizada por un experto en medicina ni fármacos.
- Se utilizarán las enfermedades más frecuentes y de mayor impacto en la calidad de vida de los pacientes geriátricos.
- Se utilizarán los medicamentos referidos a las enfermedades más frecuentes en pacientes geriátricos que se cuente con mayor evidencia estadística.

### 1.4.3 Riesgos

En la tabla 3 se muestran los riesgos identificados con su respectivo impacto y controles de prevención.

*Tabla 3 Listado de Riesgos del proyecto*

<b>Riesgo</b>	<b>Impacto en el proyecto</b>	<b>Controles de prevención o mitigación</b>
No contar con la validación de los expertos médicos.	No se podrá validar de manera rápida la información resultante del algoritmo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigar casos o evidencias de pacientes que hayan padecido de síntomas y que hayan tomado medicamentos, que hayan resultado adecuados o inadecuados.</li> <li>- Se buscará contactar a otros médicos que tengan la disponibilidad para validar los resultados</li> </ul>
Obtener tiempos altos para encontrar una recomendación de medicamentos	Podría afectar el desarrollo de la interfaz.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocar un tiempo máximo de respuesta.</li> <li>- Permitir a la interfaz extraer la solución actual en el momento que el usuario lo desee.</li> </ul>

<b>Riesgo</b>	<b>Impacto en el proyecto</b>	<b>Controles de prevención o mitigación</b>
Pérdida del código desarrollado	Se pierde el trabajo desarrollado.	- Se trabajará con un repositorio en la nube (Github)
Indisponibilidad de los asesores y expertos	No se podrá validar los resultados realizados con el asesor.	- Convocar reuniones virtuales por Skype o Google Hangout.

### **1.5 Justificación**

Por muchos años la prescripción para los pacientes geriátricos es y ha sido compleja debido a la gran cantidad de medicamentos que consumen, la cantidad de enfermedades que padecen y, por obvias razones, los cambios fisiológicos de la edad; por tanto, la justificación de este proyecto se basa en mitigar la prescripción inapropiada de medicamentos en adultos mayores.

Por tanto, la finalidad del proyecto de fin de carrera es la implementación del software de recomendación de medicamentos que cubra la mayor cantidad de factores que hará que el paciente geriátrico se aproxime al tratamiento correcto. Asimismo, el hecho de mantener en la historia médica las enfermedades crónicas del paciente y los medicamentos que consume se logrará formar un perfil médico adecuado para precisar el tratamiento correcto. Este software podrá ayudar a los médicos, pues cubrirá la verificación de interacciones medicamentosas e interacciones entre un medicamento hacia alguna condición médica. Por cada paciente se podrá brindar una recomendación personalizada ingresando los síntomas, enfermedades pre-existentes y medicamentos de uso regular.

Por otra parte, para investigaciones futuras se sugiere tener mayor data histórica de pacientes geriátricos para enriquecer el modelo probabilístico.

## **1.6 Viabilidad**

En la presente sección se mostrará la viabilidad del proyecto de fin de carrera basado en el estudio de la viabilidad técnica, temporal y económica. Asimismo, se detallará la justificación de la realización de dicho proyecto.

### **1.6.1 Viabilidad Técnica**

Los lenguajes de programación, *frameworks* y librerías a necesitar se encuentran al alcance de ser instaladas y utilizadas para el desarrollo del sistema, sin necesidad de adquisición de licencias, ya que son de uso público. Además, se cuenta con conocimiento necesario de cursos pasados que mostraron la teoría y práctica.

Se cuenta con un repositorio privado para el almacenamiento seguro del proyecto.

### **1.6.2 Viabilidad Económica**

Si bien las herramientas que se usarán para el desarrollo son de uso libre o en otras palabras; de uso gratuito, la estimación del costo del presente trabajo se hará conforme a las horas hombre que se emplearán para la implementación, donde cada día se trabajará 5 horas diarias.

### **1.6.3 Viabilidad Temporal**

En la tabla 4, 5 y 6 se detallan las tareas a realizarse durante el proyecto en mención.

Tabla 4 Cronograma de actividades a desarrollar para el objetivo 1

Tarea	Duración (días)	Esfuerzo (horas por días)	Horas totales
OB1: Construir un modelo computacional del paciente geriátrico que relacione los antecedentes del paciente, que incluye enfermedades registradas y medicamentos recetados anteriormente; el diagnóstico actual; y los medicamentos a recetar; con lo cual se permita realizar inferencias cuando se disponga de la información del paciente.			
R1: Data estructurada con información de composición farmacológica del medicamento, los efectos que tiene con otros medicamentos, los efectos que tiene con otros trastornos médicos y el beneficio sintomático de su uso en pacientes geriátricos.			
T1. Investigación de patologías más frecuentes en pacientes geriátricos	1	5	5
T2. Recopilar data de medicamentos	2	5	10
T3. Recopilar los criterios STOPP-START	2	5	10
T4. Creación de base de datos con las relaciones entre enfermedades, síntomas y medicamentos para realizar consultas de verificación con el modelo a plantear.	3	5	15
T5. Revisión de datos encontrados con experto médico (Dr. Pedro Legua)	2	2	4
T6. Reunión con el asesor para verificación de lo que dijeron los expertos	1	2	2
T7. Documentación del resultado 1	2	4	8
R2: Simulador de medicamentos y síntomas del perfil del paciente geriátrico.			
T1. Construcción del modelo probabilístico para relacionar enfermedades pre-existentes, junto con las enfermedades y los síntomas a ingresar por el paciente	4	5	20
T2. Revisión de respuestas del modelo probabilístico en base a las inferencias en casos donde se conoce el diagnóstico y prescripción médica.	3	4	12
T3. Reunión con el profesor Edwin Villanueva para verificar el modelo computacional planteado.	1	3	3
T4. Ajustes del modelo computacional realizado	3	3	9
T5. Documentación del resultado 2	2	4	8

Tabla 5 Cronograma de actividades a desarrollar para el objetivo 2

Tarea	Duración (días)	Esfuerzo (horas por días)	Horas totales
OB2. Implementar un algoritmo evolutivo para optimizar la búsqueda de los mejores medicamentos a recetar, usando el modelo computacional del paciente geriátrico, que maximice la ausencia de los síntomas y efectos secundarios.			
R3. Algoritmo metaheurístico evolutivo para generar combinaciones de medicamentos que respeten las restricciones o antecedentes del paciente geriátrico.			
T1. Especificar restricciones y función fitness para el algoritmo	2	4	8
T2. Diseñar el algoritmo evolutivo	3	5	15
T3. Implementar el algoritmo evolutivo	3	5	15
T4. Reunión con el profesor Edwin Villanueva para el asesoramiento del desarrollo del algoritmo	1	2	2
T5. Realizar pruebas del algoritmo y verificar las prescripciones obtenidas, verificando con el ploteo de la gráfica del crecimiento del fitness	1	5	5
T6. Reunión con el profesor Edwin para el asesoramiento en la realización de mejoras del algoritmo	1	2	2
T7. Realizar mejoras del algoritmo para resultados óptimos	4	3	12
T8. Documentación del resultado 3	2	5	10
R4. Servicio de arquitectura REST que muestre la comunicación entre el cliente y el servidor.			
T1. Diseñar la arquitectura REST mostrando la comunicación entre el API en Flask y el sistema de recomendación	1	4	4
T2. Implementación del servicio REST que será invocado por el backend del sistema de recomendación	2	5	10
T3. Pruebas del servicio REST desarrollado	1	4	4
T4. Documentación del resultado 4	2	3	6

Tabla 6 Cronograma de actividades a desarrollar para el objetivo 3

Tarea	Duración (días)	Esfuerzo (horas por días)	Horas totales
OB3: Implementar un sistema web que permita utilizar el algoritmo propuesto en base al diagnóstico del paciente, la relación de medicamentos y condiciones preexistentes; y así poder visualizar la generación de la prescripción médica.			
R5: Diseño y documentación del sistema web			
T1. Diseño del modelamiento de base de datos	2	4	8
T2. Documentación de las historias de usuarios	2	5	10
T3. Diseño de los mockups con la herramienta Balsamiq que muestre el flujo de creación de historia clínica, consulta médica y receta.	2	6	12
T4. Verificación del flujo con expertos médicos	1	3	3
T5. Documentación del resultado 5	2	4	8
R6. Sistema web para visualizar la recomendación de medicamentos.			
T1. Desarrollo del módulo de seguridad	3	6	18
T2. Desarrollo del módulo de configuración inicial	3	6	18
T3. Desarrollo del módulo de citas	2	4	8
T4. Desarrollo del módulo de gestión de consulta	3	6	18
T5. Desarrollo del módulo de gestión de la receta	4	6	24
T6. Pruebas unitarias y de integración del sistema de recomendación	4	4	16
T6. Revisión del sistema con el asesor	1	2	2
T7. Revisión con los médicos expertos en pacientes geriátricos	1	2	2
T8. Revisión con el asesor después de la reunión con los médicos	1	2	2
T9. Documentación del resultado 6	2	4	8

## **Capítulo 2.Marco Conceptual**

En el presente capítulo, se definirán los conceptos que serán abordados para entender la falta de adherencia al tratamiento médico en el adulto mayor.

### **2.1 Multimorbilidad**

Es la coexistencia de dos o más condiciones crónicas en un mismo paciente, el cual tiene un impacto específico en los problemas de seguridad en la atención primaria (World Health Organization 2016).

### **2.2 Código CIE-10**

Es la décima revisión de la Clasificación Internacional de Enfermedades, la cual permite el registro sistemático, el análisis, la interpretación y la comparación de los datos de mortalidad y morbilidad recolectados en diferentes países o áreas y en diferentes épocas. Convertir los términos diagnósticos y de otros problemas de salud, de palabras a códigos alfanuméricos permite el fácil almacenamiento y posterior recuperación para el análisis de la información (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 1992).

Un ejemplo son los siguientes:

- A68: Fiebre recurrente
- E10: Diabetes mellitus insulino dependiente

### **2.3 Código ATC**

El Sistema de Clasificación Anatómica, Terapéutica y Química es un índice de sustancias farmacológicas y de medicamentos, dichas sustancias activas se clasifican en una jerarquía con cinco niveles diferentes. Cada grupo principal de ATC se divide en 2 niveles que pueden ser grupos farmacológicos o terapéuticos. Los niveles segundo, tercero y cuarto a menudo se utilizan para identificar subgrupos farmacológicos (WHO Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology, 2018).

Un ejemplo es el siguiente:

- A10BA02, el cual representa a la metformina



## **2.4 Reacción adversa a medicamentos (RAM)**

Es la respuesta de un medicamento o de un conjunto de medicamentos que es nociva y no intencionada y que se produce con las dosis utilizadas normalmente en el ser humano (Farmacovigilancia, 2019). Las RAM severas, que llevan a la muerte o requieren terapia intensiva para revertirla, han recibido mayor atención por los enormes gastos en recursos de salud pública que han ocasionado. Por ejemplo, si el médico receta medicamentos para la fiebre que puedan afectar la presión del paciente, entonces se está generando una reacción adversa al medicamento.

## **2.5 Paciente Polimedocado**

Se llama paciente polimedocado a aquel que consume cinco o más medicamentos durante un periodo mínimo de 6 meses por cualquier vía, ya sea oral, parenteral o inhalada; aun cuando los medicamentos pertenezcan a un mismo grupo terapéutico (Diana Pizarro Méndez, 2016) .

## **2.6 Morbimortalidad**

Enfermedades causantes de la muerte en determinadas poblaciones, espacios y tiempos. Como es el caso de la insuficiencia cardiaca, la cual es un problema de salud de creciente magnitud e importancia en las sociedades industrializadas a causa del envejecimiento poblacional. La incidencia de dicha enfermedad ha ido aumentando en los últimos 20 años, así como las altas hospitalarias y las tasas de muerte (Carlos Brotons, Irene Moral, Aida Ribera, Gloria Pérez, Purificación Cascant, Montse Bustins, Gaietà Permanyer-Miralda, 1998).

## **2.7 Prescripción Médica**

La prescripción médica corresponde a un acto complejo, que requiere de conocimientos, experiencia profesional, habilidades específicas, un gran sentido de responsabilidad y una actitud ética. Asimismo, se debe recordar que el prescriptor asume la responsabilidad legal por las implicancias de la prescripción. La prescripción de medicamentos que realiza el profesional de la salud es el resultado de una serie de consideraciones y decisiones relacionadas con la evolución de una enfermedad y con el papel que los fármacos desempeñan en su tratamiento. Así, después de establecido

el diagnóstico definitivo se requiere de un ejercicio de inteligencia clínica para valorar cuál será la mejor estrategia terapéutica (farmacológica o no), entre todas las posibles alternativas existentes (DPTO. POLÍTICAS FARMACÉUTICAS Y PROFESIONES MÉDICAS, 2010).

### **2.8 Algoritmo metaheurístico**

Son algoritmos aproximados de optimización y búsqueda de propósito general. Son procedimientos iterativos que guían una heurística subordinada combinando de forma inteligente distintos conceptos para explorar y explotar adecuadamente el espacio de búsqueda (Francisco Herrera, 2000).

### **2.9 Algoritmo evolutivo**

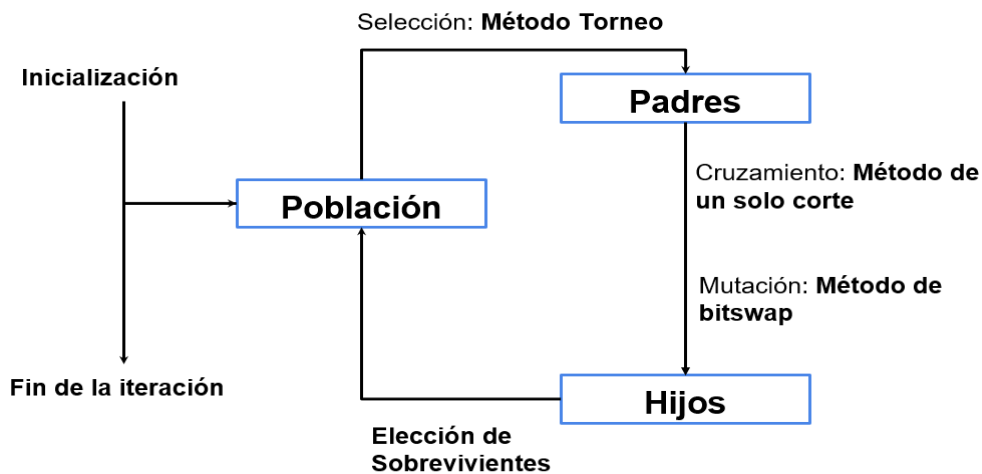
Está compuesto por modelos de evolución basados en poblaciones cuyos elementos representan soluciones a problemas. La simulación de este proceso en una computadora resulta ser una técnica de optimización probabilística, que con frecuencia mejora a otros métodos clásicos en problemas difíciles. La evolución es un proceso que opera sobre los cromosomas más que sobre las estructuras de la vida que están codificadas en ellos (Francisco Herrera, 2000). En la ilustración 1, se muestra la metáfora entre un caso real de resolución de problemas y la visión del algoritmo evolutivo. Seguidamente en la ilustración 2, específicamente el flujo del algoritmo genético, simulando una cantidad “n” de generaciones.

Ilustración 1 Metáfora entre la evolución y la resolución de problemas reales (Francisco Herrera, 2000)

## LA METÁFORA

EVOLUCIÓN		RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS
Individuo	↔	Solución Candidata
Adaptación	↔	Calidad
Entorno	↔	Problema

Ilustración 2 Flujo de creación de evolución del individuo (elaboración propia)



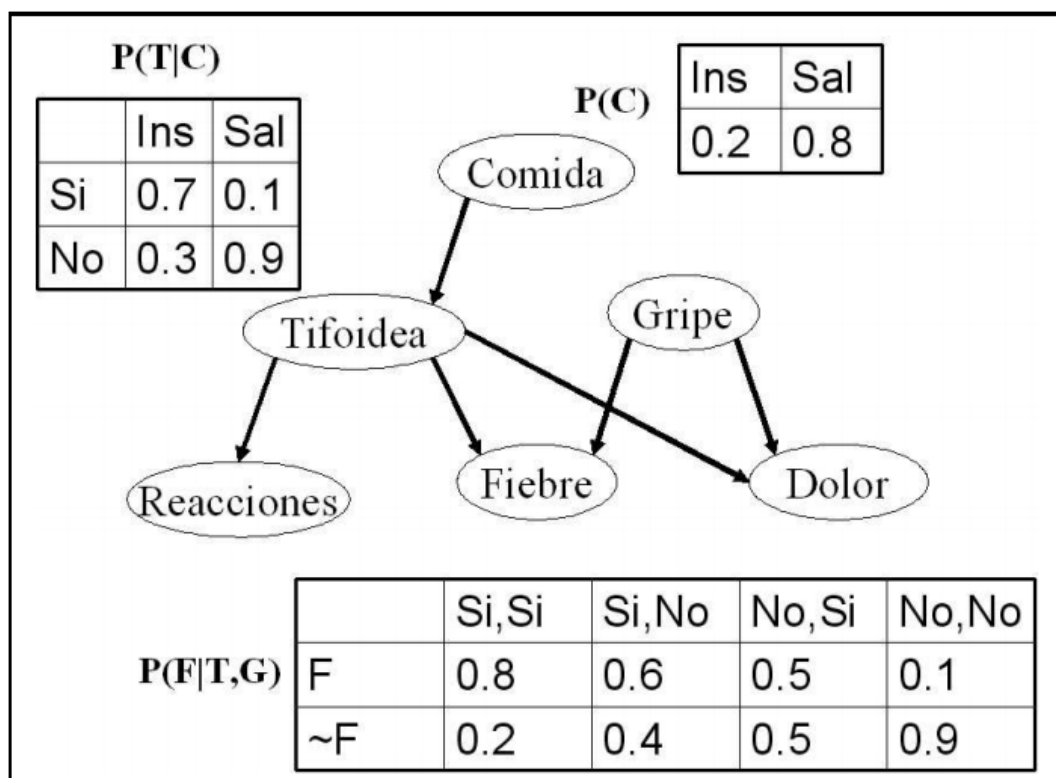
### 2.10 Redes Bayesianas

Las redes bayesianas modelan un fenómeno mediante un conjunto de variables aleatorias y las relaciones de dependencia entre ellas. Dado este modelo, se puede hacer inferencia bayesiana; es decir, estimar la probabilidad posterior de las variables no conocidas, en base a valores conocidos en variables conocidas (evidencias). Estos modelos pueden tener diversas aplicaciones, para clasificación, predicción, diagnóstico, etc. (Luis Enrique Sucar).

Además, las redes bayesianas son una representación gráfica de dependencias para razonamiento probabilístico, en la cual los nodos representan variables aleatorias y los arcos representan relaciones de dependencia directa entre las variables. La topología o estructura de la red nos da información sobre las dependencias probabilísticas entre las variables. La red también representa las independencias condicionales de una variable (o conjunto de variables) dadas (s) otra(s) variable(s) (Luis Enrique Sucar).

En la ilustración 3 se muestra un ejemplo de distribuciones de probabilidades condicionales de cada variable.

*Ilustración 3 Ejemplo de una red bayesiana junto con las distribuciones de probabilidades condicionales de las variables (Luis Enrique Sucar).*



## Capítulo 3. Estado del Arte

Se realizó una revisión sistemática de la literatura con el fin de encontrar y resumir toda la información existente y actualizada de los factores que contribuyen a la protección del paciente geriátrico en base a evidencias de estudios médicos, según aspectos cuantitativos y cualitativos de estudios primarios (Carlos Manterola, Paula Astudillo, Esteban Arias, Nataniel Claros, Grupo MINCIR, 2013)

El método de revisión se basó en los siguientes pasos

### 1. Selección de palabras clave (en inglés: keywords)

Según el contexto médico se utilizaron las siguientes palabras clave

- A. Interacciones de medicamentos (drug-drug interactions | drug-drug)
- B. Síntomas (symptom)
- C. Criterios de STOPP-START (STOPP-START Criteria)
- D. Recomendación (recommendation | recommender)
- E. Redes Bayesianas (Bayesian network)
- F. Predicción (predicting)
- G. Sistema (system)
- H. Aplicación (application)
- I. Modelo (model)

### 2. Construcción de cadenas de búsqueda

Indican las reglas de búsqueda para poder filtrar por orden de importancia los términos y para conocer en qué parte del artículo buscarlo. Para la elaboración de las cadenas se utilizaron los conectores AND y OR para unir los términos expuestos en el punto anterior.

- (drug-drug interactions) AND (recommendation OR recommender) AND (application)
- (STOPP-START Criteria) AND (drug-drug) AND (symptom) AND (application)
- (drug-drug interactions) AND (predicting) AND (recommendation OR recommender) AND (System) AND (STOPP-START Criteria)

### **3. Bases de datos a buscar**

Las cadenas de búsqueda planteadas se buscan en los motores de búsqueda como Google Scholar, Web of Science, IEEEExplore, Springer, US National Library of Medicine National Institutes of Health (NLM NIH), entre otros. Y de ellas resultó efectivo el uso de NLM NIH y Web of Science, donde se obtuvieron mayores similitudes en los temas.

### **4. Filtro de artículos relevantes**

Se seleccionaron los artículos que fueron relevantes según los siguientes criterios:

- a. Revisión de los títulos, temas y métodos
- b. Se filtraron aquellos artículos que no tengan mayor relación con la problemática del presente proyecto.
- c. Se descartaron los artículos que desarrollen modelos con las moléculas del medicamento; es decir, que entren en lo más profundo del medicamento.

Se incluirán los estudios o evidencias de pacientes geriátricos que hayan consumido medicamentos con ciertas enfermedades crónicas para verificar los efectos que hayan pasado.

### **5. Preguntas planteadas**

- ¿Qué algoritmos se han utilizado para la recomendación de medicamentos?
- ¿Cuáles son los parámetros que incluyeron otros autores para la recomendación de medicamentos?
- ¿Qué diferencia el sistema propuesto con los sistemas desarrollados?

#### **3.1 Revisión y discusión**

Se encontraron trabajos relacionados al sistema de recomendación de medicamentos propuesto y se realizó un benchmarking de las aplicaciones médicas que brindan el resultado de interacción entre un conjunto de medicamentos.

### **3.1.1 Investigaciones relacionadas al trabajo propuesto**

#### **3.1.1.1 BetterChoice: A Migraine Drug Recommendation System Based on Neo4J**

(Benjamin Stark, Constanze Knahl, Mert Aydin, Mohammad Samarah, Karim O. Elish, 2017)

BetterChoice se desarrolló como un sistema de recomendación de medicamentos para la migraña que personaliza la atención médica en una escala más pequeña que la tecnología de Watson Health; sin embargo, aún brinda la oportunidad a las instalaciones médicas de mejorar el resultado del tratamiento de un paciente mediante el uso de análisis de datos. Por lo general, lleva varios meses hasta que sea posible decidir si un medicamento es adecuado para un paciente o no. Esto no solo conduce a altos costos, sino que también es una gran carga física y psicológica para el paciente. Además, es crucial que el tratamiento contra la migraña se adapte individualmente a cada paciente.

El sistema sugerido en este documento tiene como objetivo reducir el tiempo de búsqueda del medicamento más efectivo y adaptación al tratamiento a las características individuales del paciente. El médico puede seleccionar a uno de sus pacientes de una lista que se sincronizó del registro médico electrónico y ejecutar el algoritmo. El algoritmo toma en cuenta el estado de salud actual del paciente, la historia previa, los medicamentos actuales y pasados y las alergias. El motor busca pacientes en la base de datos con parámetros similares y agrega pacientes con antecedentes similares junto con su tratamiento e historial recibidos después de que abandonaron las instalaciones. Una vez que finaliza el algoritmo, el médico ve los cinco medicamentos con la menor cantidad de días de migraña por mes, la cantidad de días y la cantidad de recetas como un nivel de confianza.

Todos los datos relevantes para el sistema de recomendaciones se almacenarán en la base de datos de gráficos Neo4J para crear una red de pacientes, medicamentos y otros elementos antes mencionados. Para evaluar el sistema, los autores simulaban datos médicos de 100,000 pacientes y recopilaron datos de 68 medicamentos comunes utilizados para la migraña, incluidas sus contraindicaciones y uso. La ilustración 4 muestra las características y puntajes brindados a un paciente general.

Ilustración 4 Se muestran las características y puntajes de un paciente

Parameter	Range	Explanation	Weight
Age	$\pm 3 \leq \text{diff} < \pm 5$ → -0.1	For a difference of more than two years to the active patient, 0.1 will be subtracted from 1 (=100% similarity) for each additional two years	3
	$\pm 5 \leq \text{diff} < \pm 7$ → -0.2 etc.		
Allergy	-	The type of allergy has to match each allergy of the active patient. If it only matches partially, e.g. 1 out of 3, the score will be 1/3	1
Preexisting conditions	-	Same as allergy	1
History of disease	-	Same as allergy	3
Current drug prescription	-	Same as allergy	1
Blood pressure	$\pm 10 < \text{diff} \leq \pm 15$ → -0.1	If the difference of the sum of systolic and diastolic blood pressure is more than $\pm 10$ but less than $\pm 15$ , 0.1 will be subtracted from 1, etc.	1
	$\pm 15 < \text{diff} \leq \pm 20$ → -0.2 etc.		

### 3.1.1.2 Health Recommender System using Big data analytics (J.Archenaa, Dr E.A.Mary Anita, 2017)

Se puede evitar un mayor gasto en sistemas de salud adoptando la analítica de Big Data en la práctica. Los datos generados por la industria de la salud aumentan día a día. El sistema de análisis de Big Data con Spark ayuda a realizar análisis predictivos de los datos del paciente. Esto ayuda a alarmar al paciente sobre los riesgos para la salud de forma previa. También ayuda a los médicos a proporcionar tratamientos efectivos a sus pacientes mediante el monitoreo del estado de salud del paciente en tiempo real.

Un sistema de recomendación de salud (HRS) sugiere información médica que debe ser altamente relevante para el avance en el tratamiento médico asociado con el historial del paciente. Las características comunes de los sistemas HRS incluyen proporcionar orientación pertinente al paciente, como información clínica, integrar datos de diversas fuentes (como informes de laboratorio, historial de medicamentos, imágenes, sensores portátiles, sitios de redes sociales, foros de salud) en el sistema



de diagnóstico clínico (CDS) y proporcionar recomendaciones relevantes como la lista de diagnósticos, alertas de interacción de medicamentos, alertas de atención preventiva, sugerir planes de seguro de salud centrados en el paciente, enviar alertas sobre el transporte hospitalario requerido, enviar alertas a los pacientes sobre seguimientos, recomendaciones de dieta, recarga de medicamentos, etc. Las predicciones y recomendaciones son aprobadas por los médicos. El sistema HRS requiere información de entrada para generar predicciones y recomendaciones. En este trabajo, los datos de diabetes se utilizan como estudio de caso. Un conjunto de datos de 1000 casos fue preparado para recolectar datos de forma aleatoria de diferentes grupos de la sociedad con el objetivo de tener una variedad en el conjunto de datos.

En este trabajo se estudió tanto el sistema de predicción como el de recomendación en el contexto de la diabetes. La predicción se realiza utilizando el clasificador bayesiano. Los sistemas de recomendación de atención médica son importantes ya que las personas usan las redes sociales para conocer su estado de salud.

**3.1.1.3 Clinical Decision Support in Electronic Prescribing: Recommendations and an Action Plan** (JONATHAN M. TEICH, MD, PHD, JEROME A. OSHEROFF, MD, ERIC A. PIFER, MD, DEAN F. SITTIG, PHD, y ROBERT A. JENDERS, MD, MS, THE CDS EXPERT REVIEW PANEL, 2005)

El soporte de decisión clínica (CDS) en los sistemas de prescripción electrónica (eRx) puede mejorar la seguridad, la calidad, la eficiencia y la rentabilidad de la atención. Sin embargo, en la actualidad, estos beneficios potenciales no se han realizado plenamente. Los avances en las capacidades del sistema CDS se pueden dividir en cuatro áreas: el estado de la base de conocimiento (el conjunto de reglas, el contenido y las oportunidades de intervención del flujo de trabajo); elementos de base de datos necesarios para sean soportados por CDS; características operativas para promover la usabilidad y medir el rendimiento; y estructuras organizativas para ayudar a gestionar y gobernar las intervenciones CDS actuales y nuevas.

Los autores de dicha investigación han adaptado estos y otros escritos para establecer una definición en términos funcionales: "proporcionar a los médicos o pacientes conocimientos clínicos e información relacionada con los pacientes, filtrados de forma inteligente y presentados en los momentos apropiados, para mejorar la atención al paciente". Esto incluye no solo las alertas y recordatorios reactivos familiares (como alertas para alergias a medicamentos e interacciones entre medicamentos), sino también muchos otros tipos de intervención, incluidos formularios de pedidos estructurados que promueven entradas correctas, listas de selección y verificación de dosis específica del paciente, proactiva guía de apoyo para evitar errores de omisión (como asegurar que los pacientes apropiados reciban aspirina), información de referencia de medicamentos para prescriptores y pacientes, y cualquier otra intervención basada en el conocimiento que pueda promover la seguridad, la educación, la mejora del flujo de trabajo, la comunicación y mejor calidad de atención. En la ilustración 5, se detallan los ejemplos de objetivos de atención médica que pueden abordarse con apoyo para la toma de decisiones clínicas.

*Ilustración 5 Ejemplo de objetivos de atención médica que pueden abordarse con apoyo para la toma de decisiones clínicas*

**Table 1 ■ Sampling of Health Care Objectives That Can Be Addressed with Clinical Decision Support**

---

Reduced medication errors and adverse medical events  
 Improved management of specific acute and chronic conditions, as described in the Institute of Medicine 2001 report<sup>23</sup>  
 Improved personalization of care for individual patients  
 Best clinical practices consistent with available medical evidence  
 Cost-effective and appropriate prescription medication use  
 Effective professional and consumer education about medication use  
 Effective communication and collaboration about medications across clinical/prescribing/dispensing/administering settings  
 Efficient and convenient clinical practice and self-care  
 Better reporting and follow-up of adverse events  
 Compliance with accreditation and regulatory requirements  
 Improved dissemination of expert knowledge from government and professional bodies to clinicians and patients

---

### 3.1.2 Benchmarking de aplicaciones médicas

#### 3.1.2.1 Drugbank: Drug - drug interaction

Los datos de alta calidad son el primer paso para entrenar los algoritmos de Machine Learning (ML) e Inteligencia Artificial (AI), pero obtener esta información es difícil, ya que la mayor parte del conocimiento sobre los medicamentos existe en publicaciones científicas en un formato de texto no estructurado. La base de datos de DrugBank es un recurso único de bioinformática y química que combina datos detallados de medicamentos con información exhaustiva sobre los objetivos de los medicamentos (Drugbank). En la ilustración 6 se muestra el resultado de la interacción entre dos medicamentos usando la base de datos Drugbank.

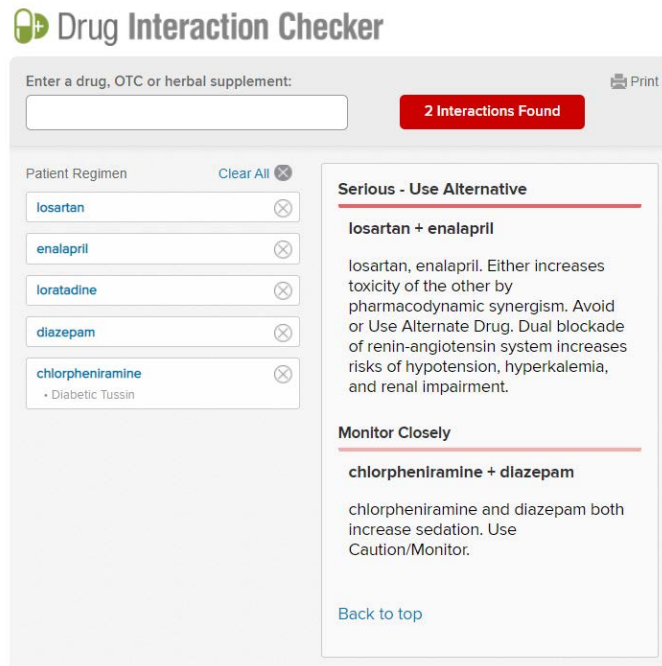
*Ilustración 6 Resultado de la búsqueda de la interacción de medicamentos usando la base de datos DrugBank*

INTERACTING DRUG	INTERACTION DESCRIPTION
<b>1 interaction with Losartan:</b>	
Enalaprilat	The risk or severity of renal failure, hypotension, and hyperkalemia can be increased when Enalaprilat is combined with Losartan.
<b>1 interaction with Enalaprilat:</b>	
Losartan	The risk or severity of renal failure, hypotension, and hyperkalemia can be increased when Enalaprilat is combined with Losartan.

#### 3.1.2.2 Drug Interaction Checker

Buscar una interacción farmacológica antes de que ocurra puede reducir drásticamente la posibilidad de un problema. Por lo general, el médico y farmacéutico realizan dicha acción con sus medicamentos recetados, pero es una buena idea que el paciente pueda verificar y conocer estos medicamentos. Esta aplicación brinda, a comparación de la anterior, el resultado de la interacción entre dos y más medicamentos. En la ilustración 7 se muestra el resultado de Interacción entre dos y más medicamentos (Drug Interactions Checker).

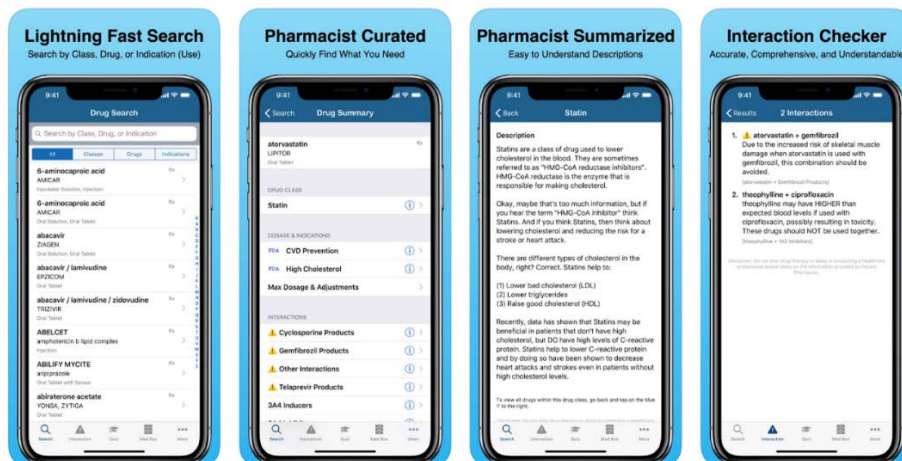
Ilustración 7 Resultado de Interacción entre dos y más medicamentos con Drug Interaction Checker



### 3.1.2.3 Pocket Pharmacist

Esta aplicación móvil informa sobre las interacciones médicas, así como precauciones y efectos secundarios superpuestos. Además, es preciso, pues capta todas las interacciones y proporciona información que puede salvar vidas. En la ilustración 8, se muestra las pantallas de la aplicación Pocket Pharmacist (Danike, Inc. 2010).

Ilustración 8 Ejemplo del funcionamiento de la aplicación Pocket Pharmacist



### **3.2 Conclusiones**

Luego de revisar los trabajos de investigación, se concluye que comparten el mismo objetivo, el cual es mejorar el tratamiento médico del paciente. Sea cual sea el tipo de paciente a tratar o el tipo de tratamiento a recomendar, siempre se buscará reducir el tiempo de búsqueda del medicamento más efectivo por cada tipo de paciente, mejorar el resultado del tratamiento de un paciente y reducir los efectos adversos al medicamento.

Se puede destacar que el conocimiento pre-existente es prometedor para construir un modelo de recomendación de medicamentos; pues como se menciona en los trabajos anteriores, ya se ha trabajado con tecnología que analizan los datos con sistemas expertos o algoritmos basados en reglas que recomiendan los medicamentos que se debe tomar en base al diagnóstico del paciente, para evitar prescripciones inadecuadas. Se enfatiza la importancia de contar con conocimiento médico sobre interacciones de medicamentos, síntomas y enfermedades para poder construir un correcto modelo inicial. Además, se destacan los parámetros médicos como las alergias, condiciones pre-existentes, el historial de enfermedades que ha tenido el paciente y los medicamentos que actualmente está tomando el paciente. Estos parámetros serán de gran utilidad para el modelado de la red bayesiana orientada a la recomendación de medicamentos de forma causal, para la cual se deberá tener claro los atributos del conjunto de datos y los estados a asignar.

Por otro lado, para el desarrollo del sistema de recomendación se realizó un benchmarking de las aplicaciones médicas que se utilizan en la actualidad tanto por pacientes, médicos y personal farmacéutico. Se destacó la respuesta de la interacción entre uno y muchos medicamentos, pues en detalle se muestra la gravedad de la interacción que debe ser notaria durante la creación de la prescripción médica.

Hasta el momento no se ha encontrado un sistema de recomendación que consolide la recomendación de medicamentos en base a las interacciones medicamentosas y las interacciones entre los medicamentos y las enfermedades del paciente,

## **Capítulo 4. Modelo computacional del paciente geriátrico**

En este capítulo se describe el desarrollo del objetivo 1 detallando los resultados R1, el cual es la base de conocimiento de las patologías y medicamentos; y R2, el cual es el simulador del paciente geriátrico, correspondientes a la construcción de un modelo computacional del paciente geriátrico que relacione las enfermedades y medicamentos preexistentes, el diagnóstico actual y los medicamentos a recetar junto con sus interacciones; con lo cual se permita realizar inferencias cuando se disponga de alguna información del paciente.

### **4.1 Construcción de la base de conocimiento**

Para el primer resultado, se optó por realizar una revisión de las patologías más frecuentes en adultos mayores; seguidamente, se buscaron los medicamentos más frecuentes para tratar dichas enfermedades. Dentro de cada medicamento se priorizó la búsqueda de las condiciones que trata el medicamento, las contraindicaciones, las precauciones, las reacciones adversas, y las interacciones medicamentosas.

#### **4.1.1 Selección de las patologías más frecuentes en adultos mayores**

Para la selección de las patologías se revisaron artículos de la OMS e investigaciones realizadas por expertos médicos sobre las prescripciones potencialmente inadecuadas en pacientes adultos mayores grandes polimedicados según criterios STOPP, donde se indica que, de una muestra de 349 pacientes, 223 padecían de hipertensión arterial, lo que hace que sea la patología más frecuente en esta muestra de pacientes. Asimismo, se tuvieron entrevistas con el médico Pedro Legua de Infecciones Médicas para conocer su opinión acerca de la frecuencia de patologías en pacientes geriátricos en los centros de salud como la Clínica Internacional, Clínica Oncosalud y Hospital Cayetano Heredia. En la ilustración 9 se detalla el listado de patologías registradas en una muestra de adultos mayores (A. López-Sáeza, P. Sáez-López, S. Paniagua-Tejoc, M.A. Tapia-Galánd, 2012).

*Ilustración 9 Patologías más frecuentes de una muestra de adultos mayores (A. López-Sáeza, P. Sáez-López, S. Paniagua-Tejoc, M.A. Tapia-Galánd, 2012)*

**Tabla 2** Patologías registradas en los grandes polimedicados mayores de 65 años, ordenadas de mayor a menor frecuencia

Patología	Frecuencia	Porcentaje
Hipertensión arterial	223	63,9
Diabetes mellitus	156	44,7
Patología osteoarticular	142	40,7
Ansiedad/depresión	121	34,7
Cardiopatía isquémica	120	34,4
Dislipemia	112	32,1
E. respiratorias crónicas	106	30,4
Arritmias cardiacas	103	29,5
Insuficiencia cardiaca	79	22,6

En la tabla 7 se listan algunas de las patologías elegidas para la construcción de la red bayesiana. Cabe resaltar que la primera columna indica el código de la Clasificación Internacional de Enfermedades versión 10.

*Tabla 7 Patologías elegidas para el modelamiento*

<b>Código CIE - 10</b>	<b>Nombre de la patología</b>	<b>Descripción de la patología</b>	<b>Fuente de información</b>
I10	Hipertensión Arterial	Incremento de la presión de la sangre a niveles no saludables	Arterial Hypertension - European Society of Cardiology
E10	Diabetes mellitus tipo 2	El cuerpo produce insulina, pero no la usa de la forma correcta.	Understanding Type 2 Diabetes - Healthline
F00	Alzheimer	Alzheimer es una forma progresiva de demencia.	Everything You Need to Know About Alzheimer's Disease - Healthline
M15	Osteoartritis o Artrosis	Condición crónica más común de la articulación.	Everything You Need to Know About Osteoarthritis - Healthline

#### 4.1.2 Selección de Medicamentos

La selección de medicamentos se basó en la patología; sin embargo, se realizaron investigaciones médicas, y entrevistas a expertos para confirmar cuáles eran los medicamentos más usados por cada una.

##### 4.1.2.1 Medicamentos que tratan una patología

Por cada patología señalada se realizó una investigación para determinar cuáles eran los medicamentos más efectivos y frecuentes según evidencias médicas. Por ejemplo, en la ilustración 10, las evidencias estadísticas mostraron las combinaciones de medicamentos más frecuentes en cuanto a hipertensión arterial se refiere (Juan Daniel Castrillón-Spitia, Adriana Franco-Hurtado, Carolina Garrido-Hernández, Juliana Jaramillo-Patiño, María Alejandra Londoño-Moncada, Jorge Enrique Machado-Alba, 2018).

*Ilustración 10 Antihipertensivos usados en el manejo de la hipertensión arterial en el Hospital San Pedro y San Pablo de la Virginia, Risaralda, 2014*

Antihipertensivo	nDDD <sup>a</sup>	Frecuencia	Porcentaje
<i>Losartán</i>	2,17	165	20,8
<i>Hidroclorotiazida</i>	0,80	165	20,8
<i>Amlodipino</i>	2,03	99	12,5
<i>Enalapril</i>	3,28	99	12,5
<i>Metoprolol tartrato</i>	1,12	79	10,0
<i>Furosemida</i>	1,41	61	7,7
<i>Prazosín</i>	0,39	48	6,0
<i>Verapamilo</i>	1,01	21	2,6
<i>Espironolactona</i>	0,38	18	2,3
<i>Nifedipino</i>	2,06	16	2,0
<i>Carvedilol</i>	0,68	9	1,1
<i>Captopril</i>	2,50	5	0,6
<i>Propranolol</i>	0,62	4	0,5
<i>Nimodipino</i>	0,16	4	0,5
<i>Combinaciones más frecuentes</i>			
Losartán/hidroclorotiazida		59	19,3
Enalapril/Hidroclorotiazida		46	14,9
Amlodipino/Losartán		36	11,7
Metoprolol/Losartán		16	5,2
Metoprolol/Hidroclorotiazida		12	2,9
Captopril/Hidroclorotiazida		3	0,9

<sup>a</sup> (relación entre la dosis media y la dosis diaria definida).



Asimismo, para reforzar los medicamentos seleccionados se encontró un conjunto de datos en la plataforma Kaggle, detallada en la ilustración 11, que tenía clasificado los medicamentos más usados por especialidad, el cual se pre-procesó para obtener solo los medicamentos que tratan las patologías seleccionadas (Keith Trnka, 2018).

*Ilustración 11 Antihipertensivos usados en el manejo de la hipertensión arterial en el Hospital San Pedro y San Pablo de la Virginia, Risaralda, 2014*

Medicine List	Specialty
('LEVOTHYROXINE SODIUM', 685976), ('FUROSEMIDE', 621648), ('AMLODIPINE BESYLATE', 564070), ('LISINAPRIL', 554959), ('SIMVASTATIN', 528906), ('OMEPRAZOLE', 486456), ('WARFARIN SODIUM', 421629), ('METOPROLOL TARTRATE', 405028), ('HYDROCODONE-ACETAMINOPHEN', 359258), ('ATORVASTATIN CALCIUM', 350441), ('NAMENDA', 346319), ('DONEPEZIL HCL', 313151), ('GABAPENTIN', 290421), ('POTASSIUM CHLORIDE', 281238), ('METFORMIN HCL', 276595), ('CITALOPRAM HBR', 243252), ('MIRTAZAPINE', 228144), ('SERTRALINE HCL', 224585), ('METOPROLOL SUCCINATE', 223256), ('HYDROCHLOROTHIAZIDE', 219668)	Geriatric Medicine
('LEVOTHYROXINE SODIUM', 893179), ('SYNTHROID', 605229), ('METFORMIN HCL', 472268), ('BD ULTRA-FINE PEN NEEDLE', 369784), ('LANTUS SOLOSTAR', 366915), ('GLIMEPIRIDE', 289753), ('SIMVASTATIN', 255593), ('ATORVASTATIN CALCIUM', 251505), ('HUMALOG', 244284), ('LANTUS', 242647), ('NOVOLOG FLEXPEN', 214134), ('METFORMIN HCL ER', 206649), ('JANUVIA', 200470), ('LISINAPRIL', 189738), ('AMLODIPINE BESYLATE', 152956), ('NOVOLOG', 135094), ('LEVEMIR FLEXPEN', 133376), ('METHIMAZOLE', 130270), ('LOSARTAN POTASSIUM', 112864), ('PRAVASTATIN SODIUM', 106035)	Endocrinology, Diabetes & Metabolism
('AMLODIPINE BESYLATE', 481), ('METOPROLOL SUCCINATE', 312), ('SPIRONOLACTONE', 211), ('CARVEDILOL', 187), ('LOSARTAN POTASSIUM', 182), ('EPLERENONE', 166), ('DOXAZOSIN MESYLATE', 144), ('HYDROCHLOROTHIAZIDE', 128), ('TORSEMIDE', 126), ('LISINAPRIL', 103), ('CRESTOR', 85), ('CHLORTHALIDONE', 78), ('BISOPROLOL FUMARATE', 66), ('ATORVASTATIN CALCIUM', 65), ('FUROSEMIDE', 60), ('INDAPAMIDE', 59), ('SPIRONOLACTONE-HCTZ', 59), ('CLONIDINE HCL', 58), ('DIOVAN', 54), ('CITALOPRAM HBR', 48)	Hypertension Specialist
('CLONAZEPAM', 7359), ('QUETIAPINE FUMARATE', 4536), ('ESCITALOPRAM OXALATE', 4385), ('TRAZODONE HCL', 4082), ('ALPRAZOLAM', 3994), ('RISPERIDONE', 3933), ('ZOLPIDEM TARTRATE', 3889), ('LORAZEPAM', 3495), ('SERTRALINE HCL', 3202), ('CYMBALTA', 3092), ('ABILIFY', 2856), ('LAMOTRIGINE', 2741), ('NAMENDA', 2568), ('DONEPEZIL HCL', 2336), ('BENZTROPINE MESYLATE', 2335), ('FLUOXETINE HCL', 2327), ('CITALOPRAM HBR', 2273), ('OLANZAPINE', 2042), ('MIRTAZAPINE', 1783), ('BUPROPION XL', 1713)	Mental Health
('GABAPENTIN', 859104), ('CARBIDOPA-LEVODOPA', 702950), ('DONEPEZIL HCL', 674043), ('LEVETIRACETAM', 659510), ('NAMENDA', 489026), ('TOPIRAMATE', 414603), ('LAMOTRIGINE', 309915), ('CLONAZEPAM', 283759), ('HYDROCODONE-ACETAMINOPHEN', 238912), ('PRIMIDONE', 238348), ('ROPINIROLE HCL', 214853), ('LYRICA', 208698), ('BACLOFEN', 201740), ('PRAMIPEXOLE DIHYDROCHLORIDE', 178454), ('CARBIDOPA-LEVODOPA ER', 170338), ('CARBAMAZEPINE', 168343), ('AMITRIPTYLINE HCL', 162567), ('EXELON', 159527), ('PHENYTOIN SODIUM EXTENDED', 152603), ('QUETIAPINE FUMARATE', 148460)	Neurology
('METHOTREXATE', 1016102), ('PREDNISONE', 987808), ('HYDROXYCHLOROQUINE SULFATE', 708719), ('HYDROCODONE-ACETAMINOPHEN', 508610), ('TRAMADOL HCL', 340202), ('GABAPENTIN', 276715), ('MELOXICAM', 227091), ('LEFLUNOMIDE', 185982), ('ENBREL', 184837), ('ALENDRONATE SODIUM', 184243), ('ALLOPURINOL', 172233), ('CELEBREX', 147678), ('OMEPRAZOLE', 139613), ('HUMIRA', 134476), ('CYMBALTA', 128104), ('LYRICA', 107109), ('CYCLOBENZAPRINE HCL', 105810), ('COLCRYS', 82413), ('VOLTAREN', 78176), ('ZOLPIDEM TARTRATE', 77869)	Rheumatology

Cabe resaltar, que, la selección efectiva entre un medicamento y otro, que traten la misma patología, se verificó la menor presencia de efectos secundarios y con eso se asignó un porcentaje de probabilidad a la efectividad del medicamento. En algunos casos, hay medicamentos que podrían ir combinados, en otros casos hay efectos secundarios con severidad leve, pero en otros casos esa acción es inadecuada, pues podría ser mortal para el paciente geriátrico.

#### 4.1.2.2 Medicamentos que interactúan con otros medicamentos y/o alguna patología

Para establecer la relación entre un medicamento y otro, fue necesaria la revisión de artículos médicos por cada patología elegida la cual se muestra en la tabla 9. En primer

lugar, se encontraron interacciones con nivel de severidad, en la cual se mencionaba que al combinar; por ejemplo, el medicamento A con el B, se podría incrementar el riesgo o severidad de efectos adversos; en otros casos, los efectos de las interacciones medicamentosas generaban el incremento de los síntomas de alguna patología preexistente; y en otros casos, la eficacia terapéutica de algún medicamento disminuía al combinarse.

En la tabla 8 se muestra un ejemplo de las interacciones medicamentosas encontradas en el banco de medicamentos de 'drugbank' por cada patología elegida (Drugbank)

*Tabla 8 Algunos casos de Interacciones entre medicamentos utilizados*

<b>Medicamento Inicial</b>	<b>Medicamento Afectado</b>	<b>Severidad de la interacción</b>
Metoprolol	Losartán	Metoprolol puede aumentar las actividades hipotensoras de Losartan.
Metoprolol	Enalapril	Metoprolol puede aumentar las actividades hipotensoras de Enalapril.
Amlodipino	Enalapril	Amlodipino puede aumentar las actividades hipotensoras de Enalapril.
Galantamina	Donepezil	La galantamina puede aumentar las actividades bradicárdicas de Donepezil.
Galantamina	Rivastigmina	La galantamina puede aumentar las actividades bradicárdicas de la Rivastigmina.
Naproxeno	Ibuprofeno	El riesgo o la gravedad de los efectos adversos pueden aumentar cuando Naproxeno se combina con Ibuprofeno.
Naproxeno	Losartán	El riesgo o la gravedad de la insuficiencia renal, la Hiperpotasemia y la hipertensión se pueden aumentar cuando Losartán se combina con Naproxeno
Metformina	Glimepirida	El riesgo o la gravedad de la hipoglucemia se pueden aumentar cuando Glimepirida se combina con Metformina.
Ibuprofeno	Metformina	El Ibuprofeno puede disminuir la tasa de excreción de la Metformina, lo que podría resultar en un nivel sérico más alto.

Tabla 9 Artículos revisados como evidencia de la toma de datos para la base de conocimiento

Artículos revisados	Patología Estudiada	Autores
Tratamiento de la Diabetes Tipo 2 en el paciente anciano	Diabetes Tipo 2	Ricardo Gómez Huelgas, Javier Díez-Espino, Francesc Formiga, Javier Lafita Tejedor, Leocadio Rodríguez Mañas, Enrique González-Sarmiento, Edelmiro Menéndez y Javier Sangrós
Efficacy of glimepiride/metformin fixed-dose combination vs metformin up-titration in type 2 diabetic patients inadequately controlled on low-dose metformin monotherapy: A randomized, open label, parallel group, multicenter study in Korea	Diabetes Tipo 2	Hye-soon Kim, Doo-man Kim, Bong-soo Cha, Tae Sun Park, Kyoung-ah Kim, Dong-lim Kim, Choon Hee Chung, Jeong-hyun Park, Hak Chul Jang, Dong-seop Choi
Drug for Alzheimer's Disease: Are They Effective?	Alzheimer	David A. Casey, MD, Demetra Antimisiaris, PharmD, and James O'Brien, MD
Alzheimer's Disease: Treatments	Alzheimer	BrightFocus Foundation. Cure in Mind. Cure in Sight.
Seguridad y efectividad de amlodipino en pacientes hipertensos no controlados farmacológicamente en el ámbito de Atención Primaria	Hipertensión Arterial	A. Gil de Miguel, R. Jiménez García, P. Carrasco Garrido, J. Martínez González, I. Fernández González y J. Espejo Martínez
Utilización de fármacos antihipertensivos, efectividad e inercia clínica en pacientes	Hipertensión Arterial	Juan Daniel Castrillón-Spitia, Adriana Franco-Hurtado, Carolina Garrido-Hernández, Juliana Jaramillo-Patiño, María Alejandra Londoño-Moncada y Jorge Enrique Machado-Alba
The current status of betablockers use in the management of hypertension	Hipertensión Arterial	Shahid Akbar, MD, PhD, Mohammad S. Alorainy, BSc Pharm, PharmD.
Over-the-counter Meds Have Risks Too (A. Foundation, 2018).	Osteoarthritis	Arthritis Foundation
Medication Choices for Osteoarthritis Pain (Chris Iliades, 2015)	Osteoarthritis	Chris Iliades, MD

## **4.2 Simulador de medicamentos y síntomas del perfil del paciente geriátrico**

Para el segundo resultado, el cual es la construcción del simulador del paciente, se inclinó por el modelamiento probabilístico basado en Redes Bayesianas entre las enfermedades y medicamentos preexistentes, el síntoma ingresado, los medicamentos a recetar y las contraindicaciones del medicamento. Para el modelamiento de la red Bayesiana se envuelve una serie de algoritmos computacionales, los cuales se aplican comúnmente para descubrir la estructura bayesiana y/o estimar valores de los parámetros a partir de los datos. La estructura y los parámetros necesarios para caracterizar una red pueden ser proporcionados por expertos o por automatización de un conjunto de datos (Flávio LuizSeixas, Bianca Zadrozny, Jerson Laks, Aura Conci, Débora Christina Muchaluat Saadea, 2014).

Por tanto, el uso de dichas redes permitirá integrar la base de conocimiento construida para realizar inferencias cuando se disponga del conjunto de evidencias del paciente.

### **4.2.1 Construcción de la red Bayesiana**

El formalismo de la red bayesiana se inventó para permitir una representación eficiente y un razonamiento riguroso con conocimiento incierto, donde la herramienta efectiva para abordar estas incertezas son las probabilidades. Las probabilidades son una forma de resumir la incerteza que viene dada por un conjunto pequeño de evidencias no frecuentemente demostradas en la práctica; por tanto, a lo largo del tiempo se va precisando si la probabilidad aumenta o disminuye según sea el caso (Ankur Ankan, Abinash Panda, 2015).

Por otro lado, para el tratamiento del Alzheimer, hay alguna evidencia que ciertas personas pueden beneficiarse de dosis más altas de inhibidores de colinesterasa. Sin embargo, cuanto más alta la dosis, más alta también es la probabilidad de tener efectos secundarios. Las dosis recomendadas de los medicamentos recetados para tratar los síntomas de la enfermedad de Alzheimer y los posibles efectos secundarios de estos medicamentos están resumidas en la tabla 10 (NIH, 2018).

Tabla 10 Detalle de los efectos secundarios de algunos medicamentos para tratar el Alzheimer

Nombre del medicamento	Tipo de medicamento y su uso	Efectos secundarios comunes
Donepezilo	Inhibidor de colinesterasa recetado para el tratamiento de los síntomas de grado leve, moderado, y severo de la enfermedad de Alzheimer.	Náusea, vómitos, diarrea, calambres musculares, fatiga, pérdida de peso.
Rivastigmina	Inhibidor de colinesterasa recetado para el tratamiento de los síntomas de grado leve a moderado de la enfermedad de Alzheimer. (El parche también es para casos de grado severo).	Náusea, vómitos, diarrea, pérdida de peso, indigestión, debilidad muscular.
Memantina	Antagonista del N-metil D-aspartato (NMDA) recetado para el tratamiento de los síntomas de grado moderado a severo de la enfermedad de Alzheimer.	Mareo, dolor de cabeza, diarrea, estreñimiento, confusión.
Memantina y Donepezilo	NMDA antagonista e inhibidor de colinesterasa recetado para el tratamiento de los síntomas de grado moderado a severo de la enfermedad de Alzheimer.	Dolor de cabeza, náusea, vómitos, diarrea, mareo, anorexia.

Muchas de las probabilidades rescatadas se obtuvieron de evidencias textuales, mas no de fuentes numéricas, esto fue entre la comparación de medicamentos, donde se indicó que se prefería usar la combinación entre los medicamentos A y B, que la de A y C, pues además de ser más efectiva, causa menores efectos secundarios. O, por otro lado, se prefirió el uso de un solo medicamento, por el hecho de generar menores reacciones adversas.

En cuanto a las condiciones del paciente geriátrico (enfermedades y medicamentos preexistentes) con los medicamentos a prescribir, se encontraron casos donde era inevitable recetar los medicamentos, porque si no empeoraba o agraviaba el comportamiento actual de la enfermedad crónica, como el aumento de la presión, disminución del nivel del azúcar en la sangre, aumento del ritmo cardiaco, entre otros.

Para la construcción de la red bayesiana se optó por definir una nomenclatura para la creación de las variables aleatorias, lo cual ayudó a diferenciar entre una enfermedad preexistente (EP), medicamento preexistente (MP), síntoma actual (SA) y medicamento a recetar o prescribir (MR)

En la ilustración 12 se muestra el modelo del sistema de Cardiología, en combinación con las condiciones más comunes en pacientes hipertensos y los medicamentos más utilizados.

*Ilustración 12 Construcción del modelo bayesiano del sistema de Cardiología (elaboración propia)*

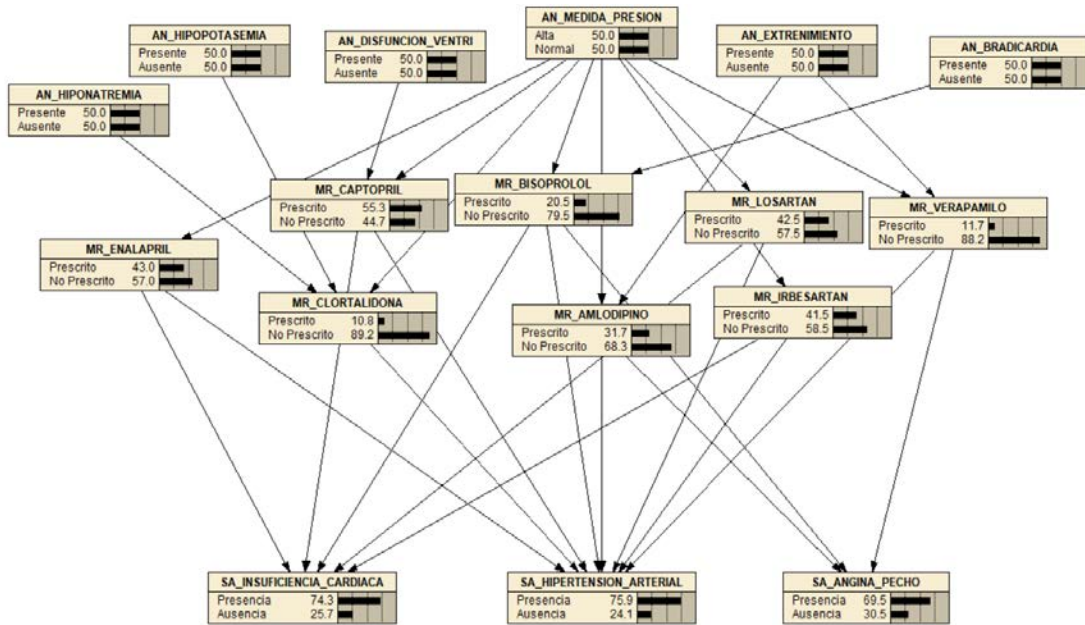


Ilustración 13 Construcción del modelo bayesiano del sistema de Neurología (elaboración propia)

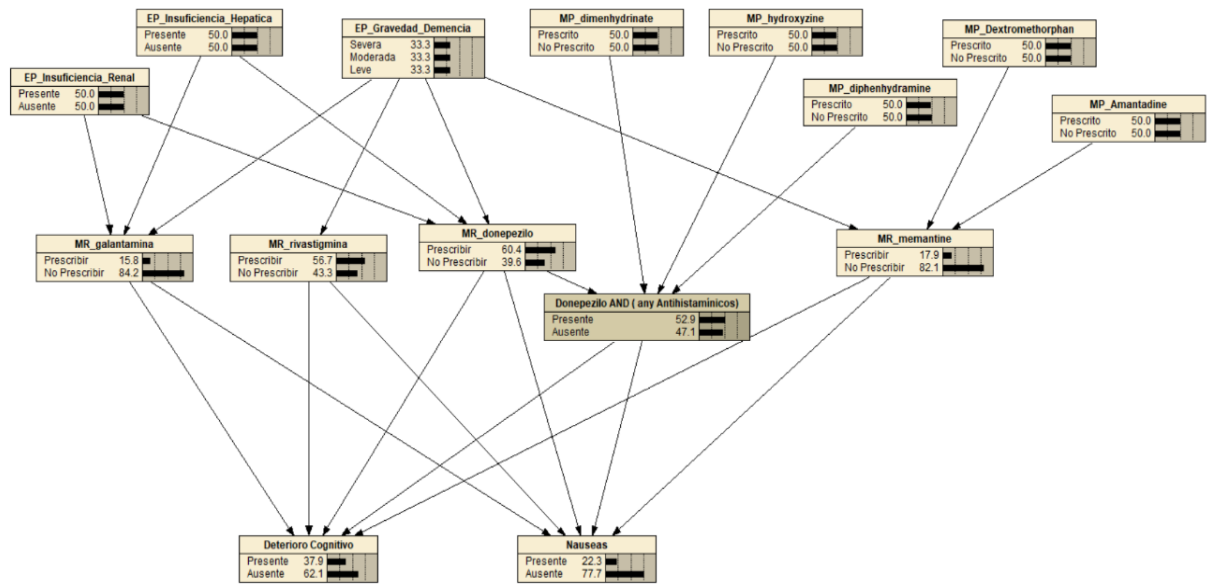
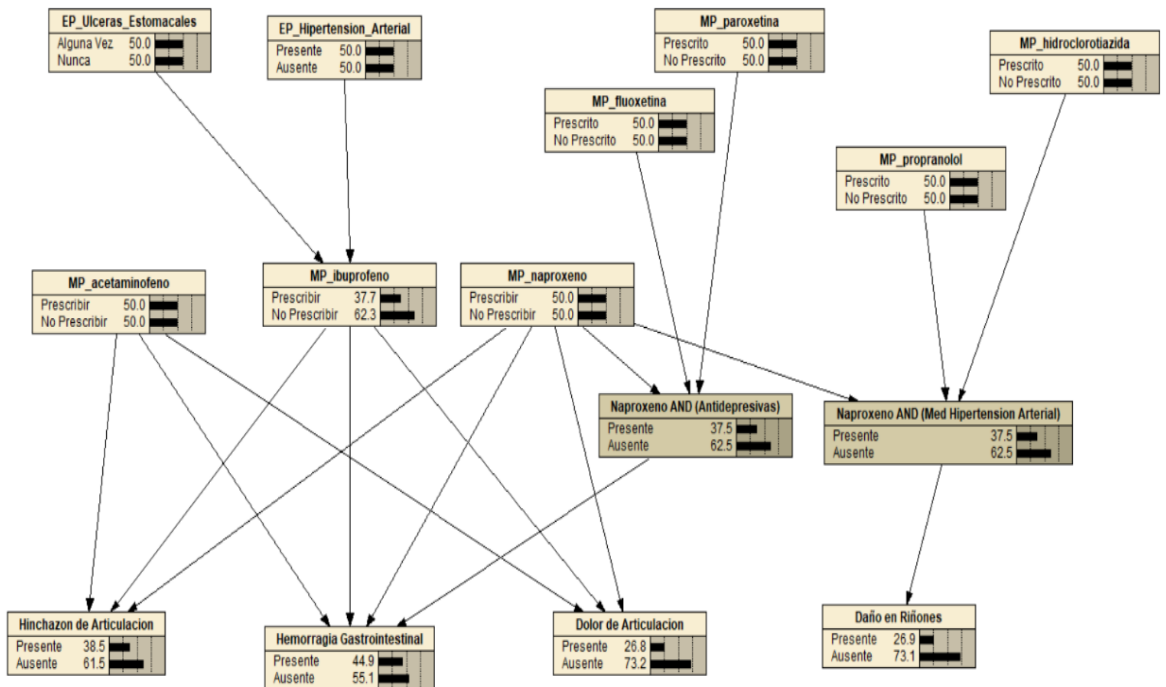
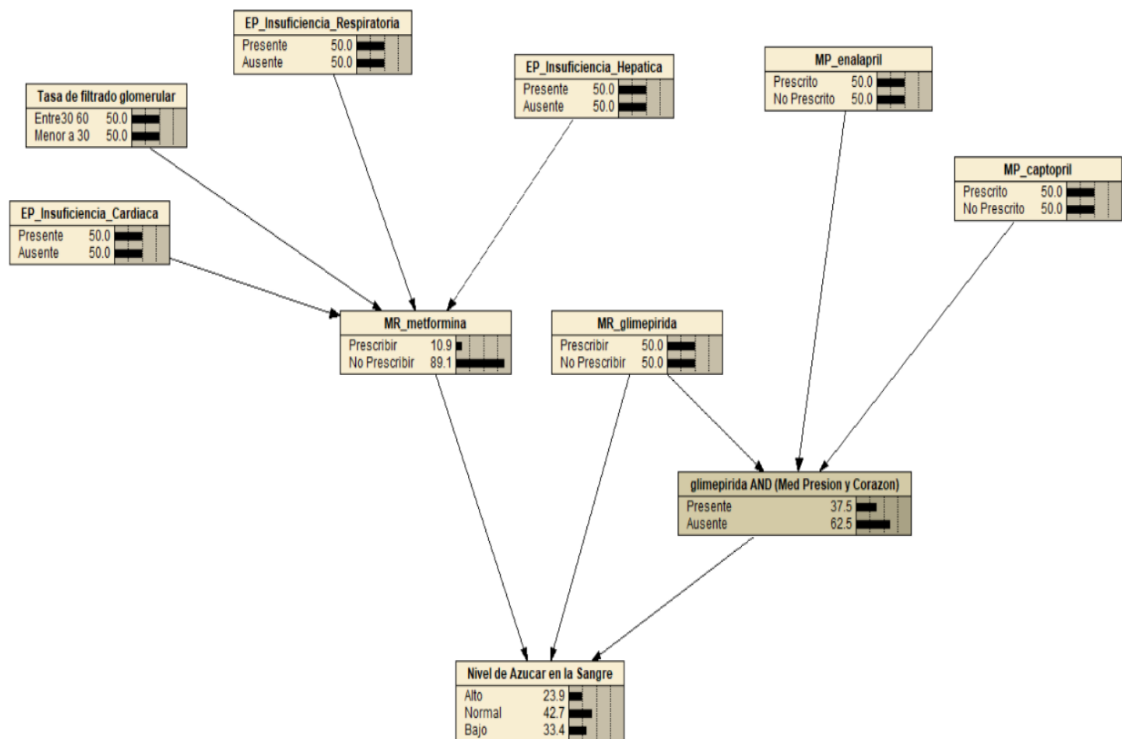


Ilustración 14 Construcción del modelo bayesiano del sistema de Traumatología (elaboración propia)



Para la construcción de las redes bayesianas, se utilizó la librería pgmpy de Python para realizar las inferencias probabilísticas, y la librería BIFWriter, también de Python, se utilizó para exportar la red las cuales serán llamadas por el algoritmo genético del próximo capítulo.

*Ilustración 15 Construcción del modelo bayesiano del sistema de Endocrinología (elaboración propia)*





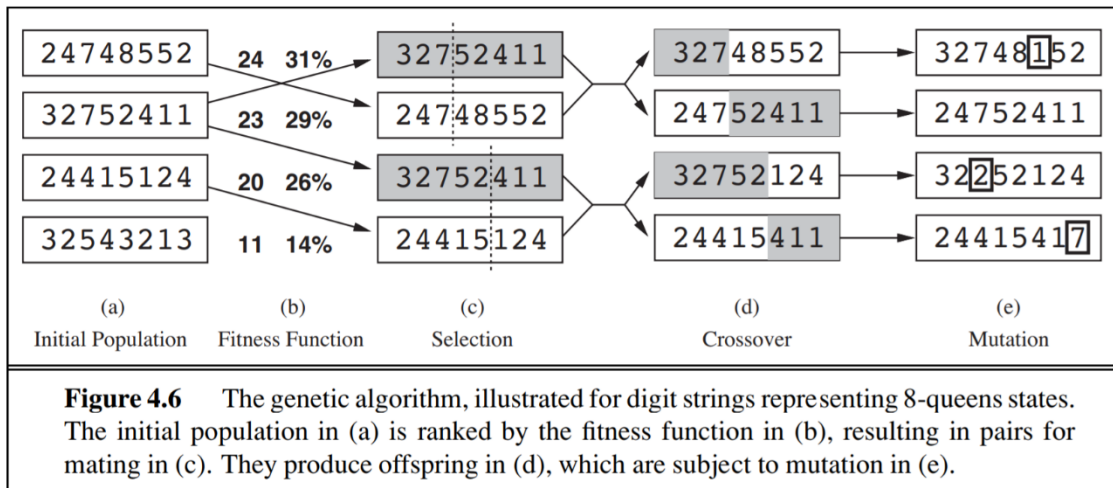
## Capítulo 5. Desarrollo del servicio de optimización de combinación de medicamentos

En este capítulo se describe el desarrollo de los resultados R3 y R4, correspondientes al desarrollo del algoritmo genético y a la implementación de servicio de arquitectura REST que muestre la comunicación entre el cliente y el servidor.

### 5.1 Planteamiento del Algoritmo Genético

En la práctica, los algoritmos genéticos han tenido un impacto generalizado en los problemas de optimización. Para el proyecto en mención, se busca obtener la mejor combinación de medicamentos para el paciente geriátrico con diversos antecedentes médicos. En la ilustración 16 se muestra el flujo de pasos que realiza el algoritmo genético (Peter Norvig, 2010).

Ilustración 16 Pasos que realiza el algoritmo genético



#### 5.1.1 Planteamiento de variables

Para la construcción del algoritmo genético se planteó las siguientes variables a utilizar que se detallan en la tabla 11.

Tabla 11 Variables planteadas para la construcción del algoritmo genético

Variablen	Definición
Gen	Medicamento por patología seleccionada Ejemplo: "Enalapril", "Propanolol", "Losartán"
Alelo	Estado del Medicamento Ejemplo: "Prescrito" (0) y "No Prescrito" (1)
Cromosoma	Propuesta de combinación de medicamentos representada por los estados del medicamento. Ejemplo: En el caso de tener cinco medicamentos [0,1,1,1,1]

Se considera la probabilidad de interacción entre medicamentos y entre un medicamento hacia alguna patología; la probabilidad de efectividad de uno o varios medicamentos hacia el síntoma relacionado con la patología a tratar; y la probabilidad de efectos secundarios que originan algunos medicamentos.

### 5.1.2 Función Fitness

Para obtener el score de cada cromosoma se utilizarán el modelo de inferencia o simulador del paciente construido en el capítulo anterior, donde se contará con los parámetros detallados en la tabla 12.

Tabla 12 Parámetros de la función fitness

Parámetros	Detalle de importancia
Diccionario de antecedentes del paciente geriátrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El diccionario (llave, valor) contendrá el nombre de la patología y el estado (presente, ausente).</li> <li>- Para el caso en el que el paciente no cuente con alguno de los antecedentes modelados en la red bayesiana, se considerará la probabilidad promedio o evidencias de investigaciones médicas de alguna muestra evaluada.</li> </ul>

Parámetros	Detalle de importancia
Diccionario de medicamentos a prescribir para la patología señalada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El diccionario (llave, valor) contendrá el nombre del medicamento y el estado (prescrito, no prescrito).</li> <li>- En este caso si se considerará o el estado 0 o el estado 1.</li> </ul>
Arreglo de síntomas de la patología señalada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Será necesario pasar todos los síntomas relacionados con la patología señalada.</li> </ul>
Arreglo de pesos de los síntomas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El médico podrá considerar la importancia de cada síntoma, por tanto, se le asignará un peso respectivo entre 0 a 1.</li> </ul>
Red Bayesiana	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para el proyecto planteado se modelaron 4 patologías, las cuales fueron elegidas por ser las más frecuentes en pacientes adultos mayores. Por cada patología modelada, se plantea una red bayesiana.</li> </ul>

El objetivo de la función fitness es maximizar la ausencia de los síntomas que presente el paciente geriátrico, donde luego de capturar la probabilidad de ausencia de cada uno, se multiplicará por el peso o importancia brindado por el médico. Todas las probabilidades mencionadas serán sumadas y luego divididas entre el número de síntomas multiplicado por su peso en todo caso.

$$fitness = \frac{\sum_{i=0}^n PAXi * pi}{\sum_{i=0}^n pi}$$

$PAXi$  = Probabilidad de ausencia del síntoma  $i$

$i$  = Número de síntoma

$p$  = Peso asignado al sintoma  $i$  por el médico

### **5.1.3 Selección y Cruzamiento**

En primer lugar, se seleccionan a las parejas, las dos combinaciones de medicamentos, para el cruzamiento, con el método de torneo. Este método consiste en comparar aleatoriamente  $k$  individuos y escoger el mejor de ellos para formar a las parejas. Para la formación de la pareja se pondrá la restricción de no utilizar a los mismos individuos en ambas iteraciones, pues podría causar que el mismo individuo compita con sí mismo.

En segundo lugar, surge el cruzamiento entre parejas seleccionadas por medio del método de corte de un solo punto, lo que resultará en dos hijos (dos nuevas combinaciones de medicamentos). Esta combinación se obtendrá al combinar los genes de cada uno de los padres en los respectivos hijos. Estos genes son ciertos medicamentos como Losartán, Enalapril, Propanolol, entre otros; con sus respectivos estados prescrito o no prescrito.

### **5.1.4 Mutación**

Del total de cromosomas generados, se escogió el 25% de ellos aleatoriamente para realizar la mutación y explorar espacios aún no conocidos por los individuos. Se utilizará el método de mutación por cambio de estados, lo cual cambiará aleatoriamente algunos de los alelos de los genes del individuo. Estos alelos serán los estados que poseen los medicamentos (prescrito, no prescrito).

### **5.1.5 Población inicial**

La población inicial está conformada por las combinaciones de medicamentos generadas aleatoriamente. El tamaño de la población inicial será de 20 individuos.

### **5.1.6 Implementación del Algoritmo Genético**

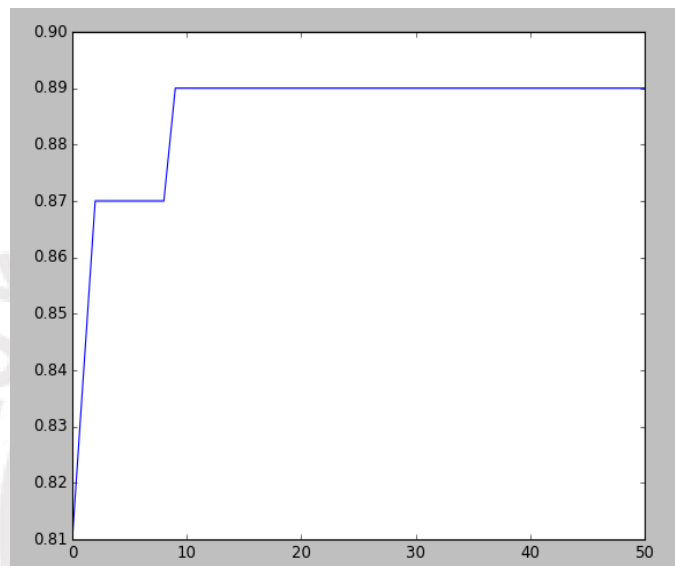
Se realizaron pruebas para demostrar la eficacia y eficiencia del algoritmo, las cuales se basaron en los siguientes casos.

#### **5.1.6.1 Casos de prueba de distintos pacientes geriátricos**

Como premisa inicial se utilizaron 8 medicamentos destinados al tratamiento del sistema médico de Cardiología, con una población de 30 individuos, 25% de individuos mutados y con 50 generaciones iteradas.

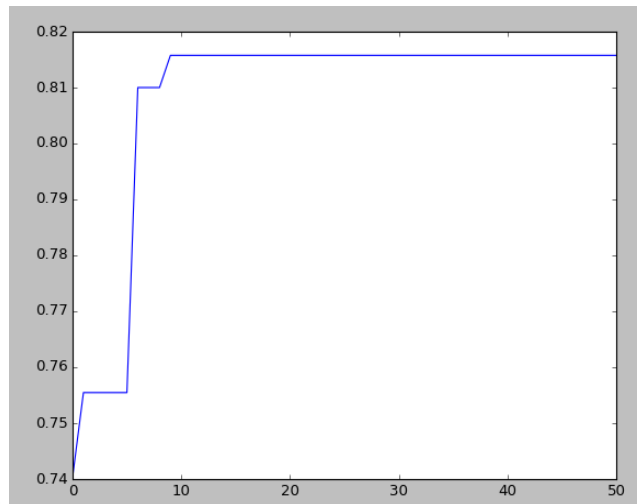
En la ilustración 17, el paciente presenta antecedentes de Bradicardia y Estreñimiento Crónico, seguidamente se mide la presión y se encuentra alta; por tanto, el médico decide seleccionar el diagnóstico actual como Hipertensión Arterial con un peso de 100%. Esto resultó en la recomendación de los medicamentos Enalapril y Clortalidona, con un fitness de 89% en 3 minutos.

*Ilustración 17 Ejecución de la recomendación al primer caso del paciente geriátrico (elaboración propia)*



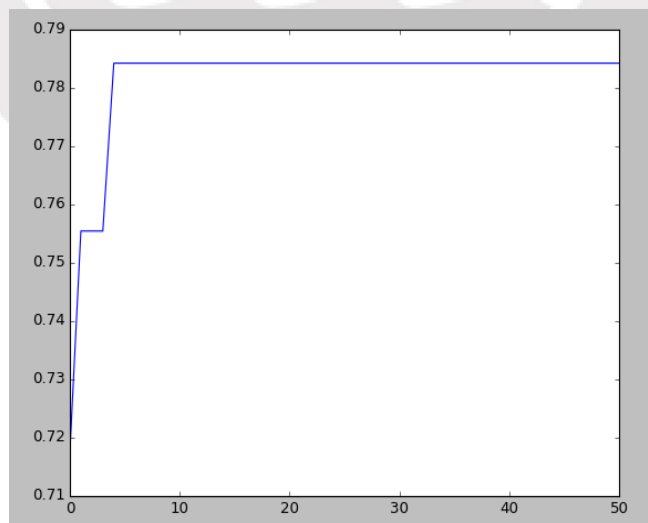
En la ilustración 18, el paciente presenta antecedentes de Disfunción Ventricular y Bradicardia, seguidamente se mide la presión y se encuentra alta; por tanto, el médico decide seleccionar el diagnóstico actual como la presencia de Hipertensión Arterial con un peso de 100% y con un posible diagnóstico de Angina de Pecho con un peso de 65% de acuerdo a los exámenes realizados al paciente. Esto resultó en la recomendación de los medicamentos Verapamilo y Bisoprolol, con un fitness de 82% en 3 minutos.

*Ilustración 18 Ejecución de la recomendación del segundo caso del paciente geriátrico (elaboración propia)*



En la ilustración 19, el paciente presenta antecedentes de Hipopotasemia y Estreñimiento Crónico, seguidamente se mide la presión y se encuentra alta; por tanto, el médico decide seleccionar el diagnóstico actual como la presencia de Hipertensión Arterial con un peso de 100% y con un posible diagnóstico de Insuficiencia Cardíaca con un peso de 65% de acuerdo a los exámenes realizados al paciente. Esto resultó en la recomendación de los medicamentos Verapamilo y Bisoprolol, con un fitness de 79% en 3 minutos.

*Ilustración 19 Ejecución de la recomendación del tercer caso del paciente geriátrico (elaboración propia)*



### **5.1.7 Verificación de la eficacia del algoritmo genético**

Para verificar que los resultados sean coherentes con lo buscado por los médicos se aplicaron dos medios de verificación.

- Simular los medicamentos recomendados en la red bayesiana propuesta inicialmente y validar si cumple con la probabilidad dada.
- Preguntar a un médico especialista si el sistema responde al diagnóstico y antecedentes del paciente.

Sobre el primer medio de verificación los resultados se encuentran en el Anexo 9.1 y con respecto al segundo se consultó con un médico especialista en Cardiología y rescató que la recomendación se podría mejorar con una mayor cantidad de antecedentes de los pacientes y mayor registro de respuesta de los medicamentos, pero como medida inicial aproximada era correcta la recomendación.

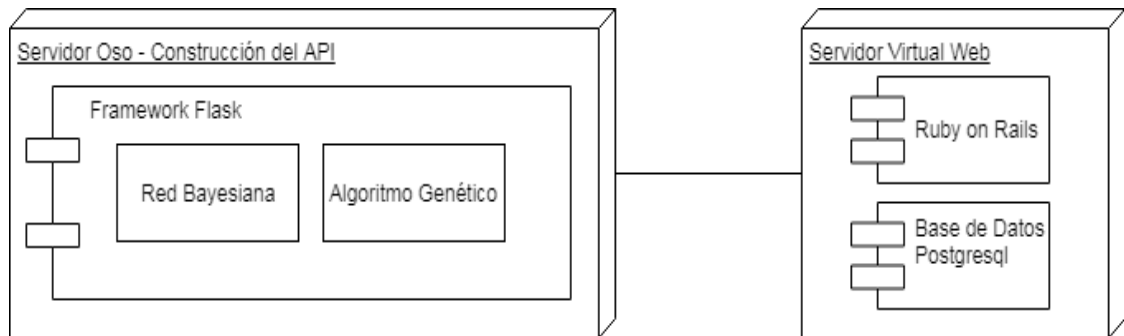
## **5.2 Implementación del servicio de arquitectura REST**

REST es un conjunto de principios que define la interacción entre distintos componentes; es decir, las reglas que dichos componentes tienen que seguir. El protocolo más usado que cumple esta definición es el protocolo HTTP (Alberto Fernández, 2013).

### **5.2.1 Diagrama de despliegue**

En un diagrama de despliegue se modela la arquitectura en tiempo de ejecución de un sistema. Esto muestra la configuración de los elementos de hardware y cómo los artefactos del software se trazan en esos nodos (Sparx Systems, 2000). En la ilustración 19, se muestra el diagrama de despliegue entre la comunicación del API y la aplicación web.

Ilustración 20 Diagrama de despliegue del sistema de recomendación de medicamentos (elaboración propia)



### 5.2.2 Ejecución del API en Flask

En la ilustración 21, se detalla la ejecución del API construido en Python con el *microframework* Flask, que contiene el desarrollo del algoritmo genético y la red bayesiana. Se detallan las entradas y salidas del algoritmo, así como el estado y el tiempo de ejecución que en este caso resultó ser aproximadamente 3 minutos. Por otro lado, en la ilustración 22, se detalla la ejecución del algoritmo genético y se destaca el cambio de medicación en la iteración de la generación 42.



Ilustración 21 Ejecución del API de recomendación desarrollado en Flask usando la herramienta Postman (elaboración propia)

The screenshot displays the Postman interface for a REST client. At the top, the request method is set to POST and the URL is http://127.0.0.1:5000/processmedication. The request body is a JSON object with the following structure:

```
1 {
2   "sistema_medico": "Cardiologia",
3   "antecedentes":
4     {
5       "AN_BRADICARDIA": 1,
6       "AN_DISFUNCION_VENTRI": 1,
7       "AN_EXTREMIMIENTO": 0,
8       "AN_HIPONATREMIA": 1,
9       "AN_HIPOPOTASEMIA": 0,
10      "AN_MEDIDA_PRESION": 0
11    },
12   "medicamentos":
13     {
14       "MR_AMLODIPINO": 0,
15       "MR_BISOPROLOL": 0,
16       "MR_CAPTOPRIL": 0,
17       "MR_CLORTALIDONA": 0,
18       "MR_ENALAPRIL": 0,
19       "MR_IRBESARTAN": 0,
20       "MR_LOSARTAN": 0,
21       "MR_VERAPAMILLO": 0
22     },
23   "estados_medicamentos": [2,2,2,2,2,2,2],
24   "diagnostico": ["SA_ANGINA_PECOHO", "SA_INSUFICIENCIA_CARDIACA", "SA_HIPERTENSION_ARTERIAL"],
25   "pesos_diagnostico": [0.65, 0, 0.88]
26 }
27 }
```

The response status is 200 OK, with a time of 179583 ms and a size of 221 B. The response body is shown in the 'Body' tab, displaying the following JSON:

```
1 {
2   "med_recomendados": [
3     "MR_BISOPROLOL",
4     "MR_VERAPAMILLO"
5   ]
6 }
```



## Capítulo 6. Implementación del sistema web

En este capítulo se describe el desarrollo de los resultados R5 y R6, correspondientes al diseño y documentación del sistema web y al desarrollo de cada módulo propuesto en el cronograma de actividades.

### 6.1 Documentación de análisis y diseño del sistema web

#### 6.1.1 Listado de Requerimientos

En el Anexo 9.2 se detalla la relación de los requerimientos del sistema de recomendación de medicamentos.

#### 6.1.2 Historias de usuarios

Según la metodología utilizada (XP), se presentan las historias relacionadas a los usuarios paciente, médico, recepcionista, enfermero(a) y administrador del sistema.

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US001</b>
<b>Rol</b>	Como usuario Recepcionista
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito registrar nuevo paciente</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de que el paciente pueda registrar una cita a su nombre, será necesario registrar al usuario paciente inicialmente.
<b>Número de Escenario</b>	1
<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se visualiza los registros de los nuevos pacientes en la tabla pacientes.</li></ul>
<b>Contexto</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Antes de registrar una cita con algún médico, será necesario registrar al paciente.</li></ul>

<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Input del DNI del paciente</li> <li>• Input de los nombres, apellidos, fecha de nacimiento, dirección, teléfono y correo electrónico del paciente</li> <li>• El estado del paciente por defecto será 'Activo'</li> <li>• Seleccionar Botón Guardar</li> </ul>
<b>Output</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación automática de la historia clínica vacía del nuevo paciente.</li> <li>• Visualización del nuevo paciente en la tabla de pacientes.</li> <li>• Mensaje de éxito del registro del paciente.</li> </ul>
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema registra exitosamente al nuevo paciente.

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US002</b>
<b>Rol</b>	Como usuario Médico y Paciente
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito registrar una cita</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de que se reserve una cita con el médico de la respectiva especialidad.
<b>Número de Escenario</b>	1
<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se visualiza la cita registrada en la tabla de Citas Pendientes para ambos usuarios.</li> </ul>
<b>Contexto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El paciente podrá reservar alguna cita.</li> <li>• Al finalizar una cita, el médico puede reservar una cita para una próxima visita.</li> </ul>

<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buscador del paciente por medio del DNI, se completarán los campos nombres, apellidos y correo electrónico.</li> <li>• Combo-box de la especialidad elegida.</li> <li>• Combo-box de los médicos de dicha especialidad</li> <li>• Combo-box de los horarios que dispone el médico.</li> <li>• Botón Guardar</li> </ul>
<b>Output</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación automática del registro de consulta que podrá ser editado por el Enfermero(a) o el Médico.</li> <li>• Visualización de la cita creada en la tabla de Citas Pendientes.</li> <li>• Mensaje de éxito de la cita registrada.</li> </ul>
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema registra exitosamente la cita.

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US003</b>
<b>Rol</b>	Como usuario Médico
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito registrar el diagnóstico del paciente por medio del registro de consulta</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de que se mantenga registrado los diferentes diagnósticos de los pacientes.
<b>Número de Escenario</b>	1
<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se visualiza el registro de consulta creado en la tabla de Citas Realizadas.</li> </ul>
<b>Contexto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para poder tener mapeado los diagnósticos de los pacientes será necesario registrarlo en el documento de consulta.</li> </ul>

<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Signos Vitales a la fecha <ul style="list-style-type: none"> <li>• Input de la talla del paciente</li> <li>• Input del peso del paciente</li> <li>• Input del nivel de la presión del paciente</li> <li>• Input del nivel del azúcar del paciente</li> <li>• Input de la temperatura</li> </ul> </li> <li>• Anamnesis, Examen y Diagnóstico: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Input de la Anamnesis o Relato del paciente</li> <li>• Input de la Descripción del Examen Físico del paciente</li> <li>• Input del resultado del Examen Físico del paciente</li> <li>• Tabla de Diagnósticos que involucren los pesos para el algoritmo. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan de trabajo para el médico</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Botón Guardar</li> </ul>
<b>Output</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actualización de los datos ingresados en la historia clínica.</li> <li>• Visualización del nuevo registro de consulta.</li> <li>• Mensaje de éxito de la consulta registrada.</li> </ul>
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema registra exitosamente al registro de consulta.

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US004</b>
<b>Rol</b>	Como usuario Médico
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito actualizar la historia clínica del paciente</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de administrar correctamente los nuevos registros de consulta (signos vitales, alergias y operaciones realizadas) y recetas médicas del paciente.
<b>Número de Escenario</b>	1

<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se visualiza los nuevos registros en la historia del paciente.</li> </ul>
<b>Contexto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durante la cita del paciente, se registran consultas las cuales contienen los signos vitales y el diagnóstico del paciente. Esto se registra automáticamente en la historia clínica del mismo.</li> <li>• Se incluirá el plan de trabajo</li> <li>• Luego de registrar la consulta, se procede a registrar la receta médica que también se registra en la historia clínica.</li> </ul>
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro de Consulta</li> <li>• Receta Médica</li> </ul>
<b>Output</b>	Mensaje de éxito de la actualización de la historia clínica.
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema actualiza exitosamente la historia clínica.

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US005</b>
<b>Rol</b>	Como usuario Médico
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito recibir la recomendación de medicamentos más efectivos y cercanos a la naturaleza del paciente</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de conocer las interacciones medicamentosas y la probabilidad de efectividad de los medicamentos será necesario recibir la recomendación de medicamento más afín al paciente.
<b>Número de Escenario</b>	1

<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se visualizan las tres mejores recomendaciones de medicamentos junto con su probabilidad de efectividad.</li> </ul>
<b>Contexto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luego de registrar el diagnóstico actual del paciente y conocer los antecedentes del paciente por medio de la historia clínica, se realizará la recomendación de medicamentos.</li> </ul>
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diagnóstico actual</li> <li>Antecedentes de enfermedades crónicas del paciente.</li> </ul>
<b>Output</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Listado de las tres mejores combinaciones de medicamentos.</li> </ul>
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema retorna exitosamente las mejores combinaciones de medicamentos.

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US006</b>
<b>Rol</b>	Como usuario Médico
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito registrar la receta médica del paciente.</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de administrar correctamente la receta médica de los pacientes que involucre las prescripciones de diversos medicamentos.
<b>Número de Escenario</b>	1



<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se visualiza la receta registrada en la historia clínica del paciente.</li> <li>• Para el médico y el paciente se visualiza las recetas registradas en la tabla Citas Realizadas.</li> </ul>
<b>Contexto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luego de registrar la consulta, se procede a registrar la receta médica.</li> </ul>
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autocomplete del medicamento</li> <li>• Input de forma farmacéutica</li> <li>• Input de vía de administración</li> <li>• Combo-box frecuencia de dosis</li> </ul>
<b>Output</b>	Mensaje de éxito de la actualización de la historia clínica.
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema actualiza exitosamente la historia clínica.

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US007</b>
<b>Rol</b>	Como usuario Médico y Paciente
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito visualizar las recetas registradas de las citas realizadas</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de realizar un seguimiento de las recetas registradas.
<b>Número de Escenario</b>	1
<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la tabla de Citas Realizadas se visualiza en cada fila el botón Ver Receta Médica.</li> <li>• Luego de seleccionar al botón Ver Receta Médica se podrá visualizar la receta del paciente respectivo.</li> </ul>

<b>Contexto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luego de registrar la receta de cada paciente, se puede visualizar cada una en la tabla de Citas Realizadas</li> </ul>
<b>Input</b>	Ir a la vista de Citas Realizadas (Habrá dos botones Ver Consulta y Ver Receta Médica)
<b>Output</b>	Visualizar la receta de un paciente
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema muestra correctamente la receta médica del paciente.

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US008</b>
<b>Rol</b>	Como usuario Enfermero(a)
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito actualizar los datos de los pacientes</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de actualizar los datos de los pacientes como la dirección, el teléfono o el correo electrónico.
<b>Número de Escenario</b>	1
<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se podrá verificar el detalle de los datos actualizados del paciente.</li> </ul>
<b>Contexto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El paciente podrá actualizar sus datos personales.</li> </ul>
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Input de dirección nueva del paciente</li> <li>Input de teléfono nuevo del paciente</li> <li>Input del correo electrónico nuevo del paciente</li> <li>Botón Guardar</li> </ul>
<b>Output</b>	Visualizar los datos del paciente actualizados

<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema muestra correctamente la actualización de los datos del paciente.
---------------------------------	--

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US009</b>
<b>Rol</b>	Como usuario Médico
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito administrar mi disponibilidad</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de registrar los horarios disponibles para las próximas citas.
<b>Número de Escenario</b>	1
<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se podrá verificar la tabla de horarios de dicho médico.</li> </ul>
<b>Contexto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El paciente podrá registrar, editar e incluso eliminar algún horario con la debida anticipación.</li> </ul>
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de un pop-up <ul style="list-style-type: none"> <li>• Input del horario (10-12)</li> <li>• Input del día (lunes de 10-12)</li> <li>• Botón Guardar</li> </ul> </li> </ul>
<b>Output</b>	Visualizar los horarios del médico
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema muestra correctamente los horarios registrados o actualizados del médico.

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US010</b>
<b>Rol</b>	Como usuario Enfermero(a) o Médico

<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito administrar los signos vitales del paciente</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de registrar o actualizar los signos vitales del paciente durante la cita respectiva.
<b>Número de Escenario</b>	1
<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se podrá verificar el seguimiento de los signos vitales del paciente en la historia clínica.</li> </ul>
<b>Contexto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durante la consulta el enfermero(a) o médico registra los signos vitales del paciente</li> </ul>
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Input de temperatura, peso, talla, presión arterial y nivel del azúcar</li> <li>Botón Guardar</li> </ul>
<b>Output</b>	Visualizar los datos del paciente actualizados
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema muestra correctamente la actualización de los datos del paciente.

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US011</b>
<b>Rol</b>	Como Administrador del Sistema
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito registrar y/o actualizar los datos de los colaboradores del centro de salud.</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de administrar correctamente los datos de los colaboradores.
<b>Número de Escenario</b>	1

<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se visualiza el colaborador registrado en la tabla de colaboradores.</li> <li>• Se visualiza el mensaje de éxito del registro o actualización de los datos del colaborador.</li> </ul>
<b>Contexto</b>	En caso se necesite registrar o actualizar los datos de algún colaborador.
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combo-box del rol (médico, enfermero o recepcionista)</li> <li>• Input de los nombres, apellidos, dni, teléfono, correo electrónico, dirección, nombre de usuario y contraseña del colaborador.</li> <li>• Radio-button del género</li> <li>• Por defecto el estado del colaborador, inicialmente, es Activo</li> <li>• Botón Guardar</li> </ul>
<b>Output</b>	Mensaje de éxito del registro o actualización del colaborador.
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema crea o actualiza exitosamente un colaborador.

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US012</b>
<b>Rol</b>	Como Administrador del Sistema
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito actualizar el estado del colaborador del centro de salud.</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de administrar correctamente los estados de los colaboradores.
<b>Número de Escenario</b>	2

<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se visualiza el colaborador con un estado diferente (estados Activo y No Activo).</li> <li>• Se visualiza el mensaje de éxito del cambio de estado del colaborador.</li> </ul>
<b>Contexto</b>	En caso se haya registrado o actualizado los datos de algún colaborador.
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se abrirá un pop-up con el anuncio del cambio de estado y todo lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Radio-button estado del colaborador</li> <li>• Botón Guardar</li> </ul> </li> </ul>
<b>Output</b>	Mensaje de éxito de la edición del estado del colaborador.
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema actualiza exitosamente el estado del colaborador.

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US013</b>
<b>Rol</b>	Como Administrador del Sistema
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito administrar las patologías que serán utilizadas al momento de registrar los diagnósticos respectivos del paciente</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de administrar correctamente las patologías
<b>Número de Escenario</b>	1
<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se visualiza la patología registrada o actualizada en la tabla de patologías.</li> </ul>

<b>Contexto</b>	Para la actualización de patologías según lo indicado por la OMS.
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se ingresa en el formulario <ul style="list-style-type: none"> <li>• Input del Código CIE-10</li> <li>• Input del Nombre de la patología</li> <li>• Input de la Descripción de la patología</li> <li>• Tabla de Medicamentos que tratan dicha patología <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada medicamento será buscado y se le asignará un input de probabilidad de la efectividad del medicamento sobre dicha patología.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Botón Guardar</li> </ul>
<b>Output</b>	Mensaje de éxito de la patología registrada o actualizada.
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema registra o actualiza exitosamente la patología.

<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US014</b>
<b>Rol</b>	Como Administrador del Sistema
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito administrar los medicamentos que serán utilizadas al momento de registrar las recetas médicas de los pacientes.</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de administrar correctamente los medicamentos.
<b>Número de Escenario</b>	1

<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se visualiza el nuevo medicamento registrado en la tabla de medicamentos.</li> <li>• Se visualiza el medicamento actualizado en la tabla de medicamentos.</li> </ul>
<b>Contexto</b>	Para la actualización de medicamentos según lo indicado por la OMS.
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se ingresa en el formulario <ul style="list-style-type: none"> <li>• Input del Código Drug Bank</li> <li>• Input del Nombre del Medicamento</li> <li>• Input de la Forma Farmacéutica</li> <li>• Tabla de Concentraciones del medicamento (porque un medicamento contiene uno o más concentraciones)</li> <li>• Tabla de interacciones medicamento-medicamento <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se busca al medicamento afectado o causa</li> <li>• Input Descripción Interacción</li> <li>• Combo-box Severidad</li> <li>• Input Probabilidad del Efecto</li> </ul> </li> <li>• Tabla de interacciones medicamento-patología <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se busca la patología afectada</li> <li>• Input Descripción Interacción</li> <li>• Combo-box Severidad</li> <li>• Input Probabilidad del Efecto</li> </ul> </li> <li>• Tabla de Contraindicaciones y Precauciones del medicamento</li> <li>• Botón Guardar</li> </ul> </li> </ul>
<b>Output</b>	Mensaje de éxito del medicamento registrado o actualizado.
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema registra o actualiza exitosamente el medicamento.



<b>Identificador de la Historia</b>	<b>US015</b>
<b>Rol</b>	Como usuario Administrador del sistema
<b>Característica/Funcionalidad</b>	<b>Necesito administrar el algoritmo de recomendación de medicamentos</b>
<b>Razón/Resultado</b>	Con la finalidad de gestionar una mejora en la calibración de la respuesta del algoritmo.
<b>Número de Escenario</b>	1
<b>Criterio de Aceptación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se podrá verificar las actualizaciones realizadas en el algoritmo.</li> </ul>
<b>Contexto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se produce la mejora del algoritmo genético para retornar una mejora en la recomendación de medicamentos.</li> </ul>
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Input de la red bayesiana seleccionada</li> <li>• Input del número de generaciones</li> <li>• Input porcentaje de mutación</li> <li>• Botón Guardar</li> </ul>
<b>Output</b>	Visualizar la calibración registrada del algoritmo genético.
<b>Resultado/Comportamiento</b>	El sistema muestra correctamente la actualización de los datos del paciente.

### 6.1.3 Modelamiento de la base de datos

Se presenta el diagrama entidad-relación del sistema web propuesto en las ilustraciones 23, 24 y 25.

Ilustración 23 Diagrama Entidad-Relación de la Administración de la Historia Clínica (elaboración propia)

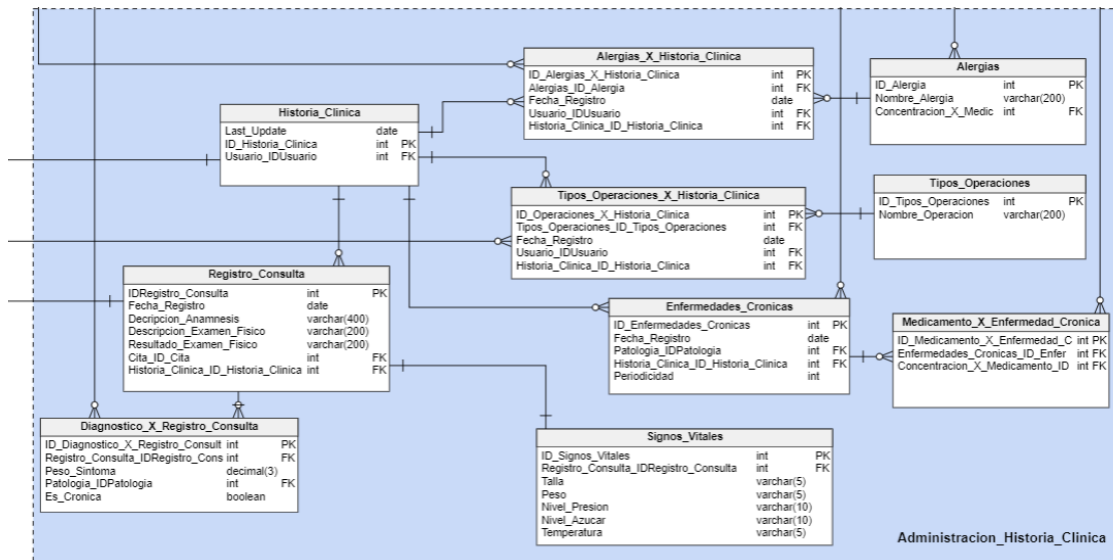


Ilustración 24 Diagrama Entidad-Relación de la Administración de la Receta Médica (elaboración propia)

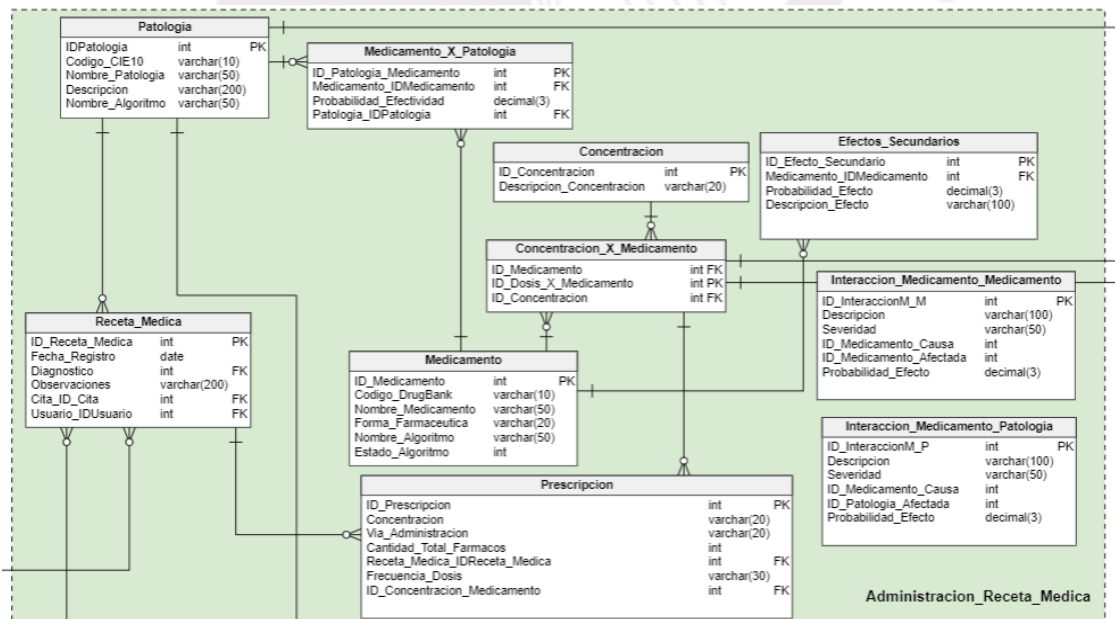
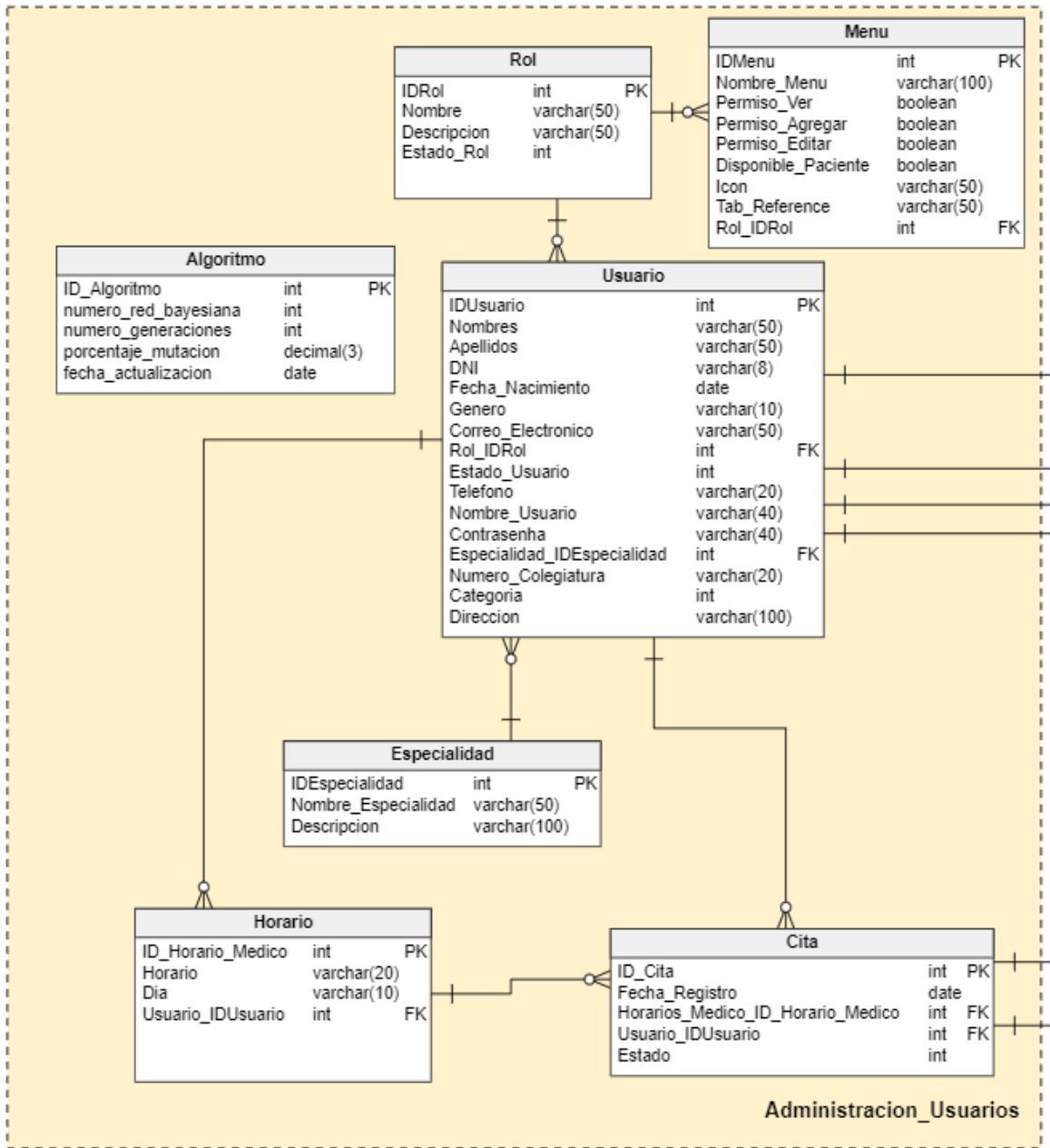


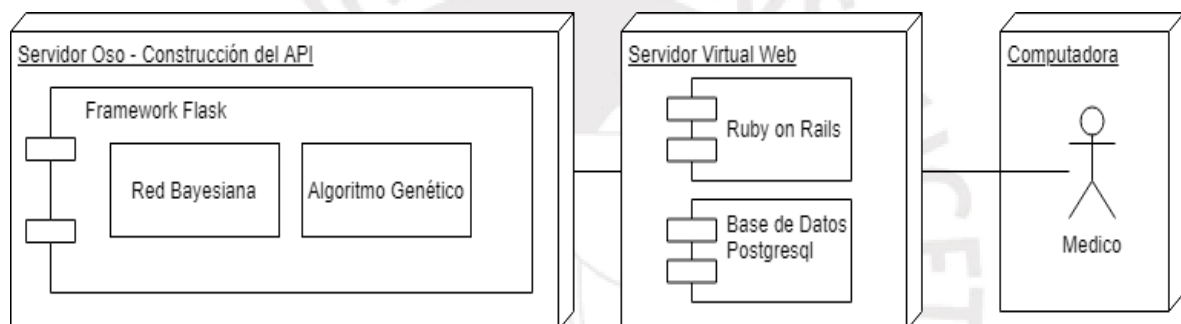
Ilustración 25 Diagrama Entidad-Relación de la Administración de Usuarios (elaboración propia)



## 6.2 Patrón Arquitectónico

Se utilizó el patrón arquitectónico MVC (Modelo, Vista y Controlador), el cual separa los datos de la lógica del negocio. Ruby on Rails utiliza dicho patrón y será necesario para separar los datos de los medicamentos, antecedentes y síntomas de la función de recomendación de medicamentos, el cual es el core del proyecto. Por otro lado, en la capa modelo se define la lógica de negocio de la aplicación y las reglas para manipular los datos, en la capa vista se representa la interfaz del usuario y por último en la capa controlador se administran las solicitudes entrantes de los navegadores o dispositivos, los cuales procesan datos de los modelos para pasarlos a la vista.

*Ilustración 26 Diagrama de despliegue del sistema web (elaboración propia)*



## 6.3 Desarrollo del sistema de recomendación

Se presentan las ilustraciones del sistema web desarrollado. En la ilustración 27, el usuario médico, paciente, enfermero(a), recepcionista y administrador del sistema podrán autenticarse. Seguidamente, en la ilustración 28, se muestra que luego de registrar la cita con el médico de la especialidad respectiva, se procede a llenar el registro de consulta, el cual contiene el relato del paciente geriátrico, los exámenes físicos realizados y por último el registro de diagnósticos.

Ilustración 27 Interfaz del inicio de sesión del sistema web (elaboración propia)

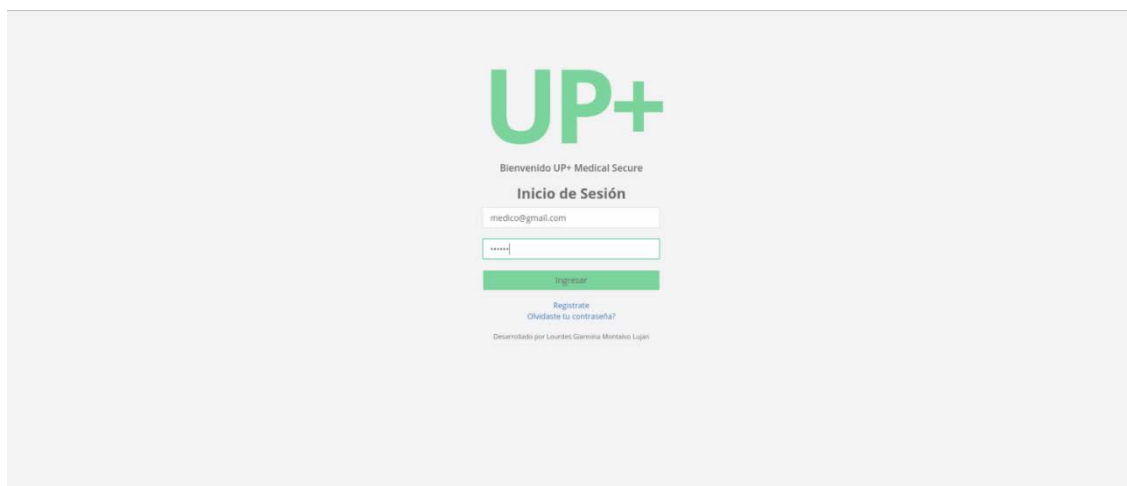


Ilustración 28 Registro de Consulta - Anamnesis del Paciente (elaboración propia)

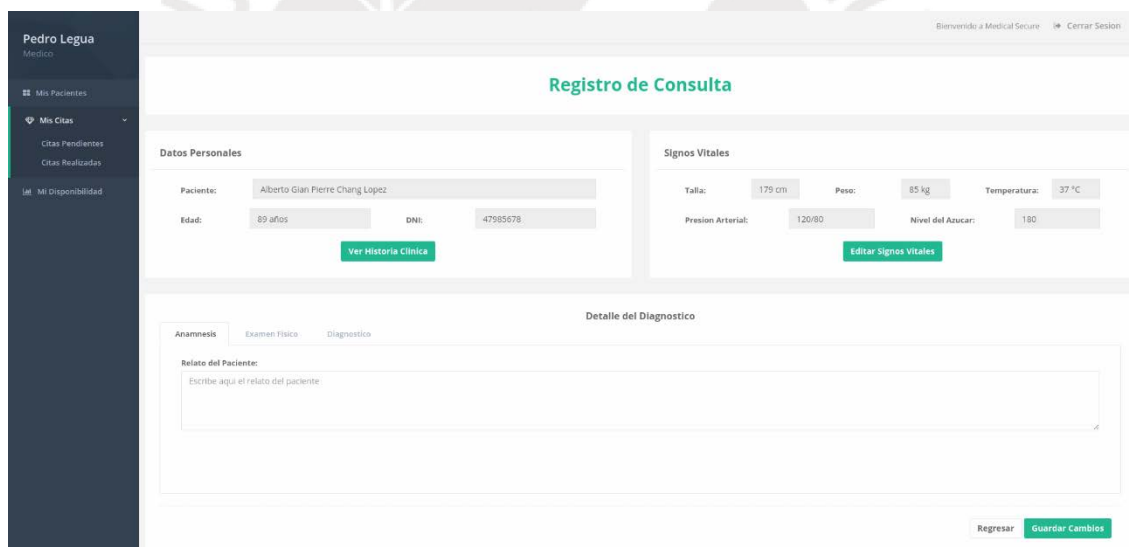


Ilustración 29 Registro de Consulta - Diagnostico del Paciente (elaboración propia)

The screenshot shows a web application interface for a doctor named Pedro Legua. The page is titled 'Registro de Consulta'. On the left, there is a sidebar with navigation options: 'Mis Pacientes', 'Mis Citas' (with sub-options 'Citas Pendientes' and 'Citas Realizadas'), and 'Mi Disponibilidad'. The main content area is divided into several sections:

- Datos Personales:** Patient name: Alberto Gian Pierre Chang Lopez, Age: 89 años, DNI: 47985678. A button 'Ver Historia Clínica' is present.
- Signos Vitales:** Height: 179 cm, Weight: 85 kg, Temperature: 37 °C, Blood Pressure: 120/80, Blood Sugar: 180. A button 'Editar Signos Vitales' is present.
- Detalle del Diagnostico:** This section has three tabs: 'Anamnesis', 'Examen Físico', and 'Diagnostico'. The 'Diagnostico' tab is active. It features a dropdown menu for 'Seleccionar el diagnostico' with 'Insuficiencia Cardiaca' selected, and a 'Peso asignado' field set to 'Entre 0 y 1'. An 'Agregar Diagnostico' button is to the right. Below this is a table:

Diagnostico	Peso
Angina de Pecho	0.80
Insuficiencia Cardiaca	0.30

At the bottom of this section are 'Regresar' and 'Guardar Cambios' buttons.

Ilustración 30 Registro de Consulta - Examen Físico del Paciente (elaboración propia)

This screenshot shows the same web application interface as the previous one, but with the 'Examen Físico' tab selected in the 'Detalle del Diagnostico' section. The 'Anamnesis' and 'Diagnostico' tabs are also visible. The 'Examen Físico' section contains two text input fields:

- Descripcion del Examen:** Detalle el examen aquí
- Resultado del Examen:** Detalle aquí el resultado

The 'Regresar' and 'Guardar Cambios' buttons are located at the bottom right of the page.

Ilustración 31 Historia Clínica del Paciente (elaboración propia)

**Pedro Legua**  
Medico

- Mis Pacientes
- Mis Citas
  - Citas Pendientes
  - Citas Realizadas
- MI Disponibilidad

Bienvenido a Medical Secure Cerrar Sesión

## Historia Clínica

Paciente: Alberto Gian Pierre Chang Lopez

Edad: 89 años

Última cita: 15/10/2018

Especialidad: Cardiología

### Diagnósticos Pasados

Buscar diagnósticos del paciente

Patología	Fecha de la Cita	Especialidad	Acción
Angina de Pecho	15/10/2018	Cardiología	Ver Receta
Dolor de Cabeza	24/04/2018	Medicina General	Ver Receta
Hipertension Arterial	02/04/2018	Cardiología	Ver Receta

### Enfermedades Crónicas

Buscar enfermedades crónicas del paciente

Patología	Medicamentos	Periodo
Aoma	Broncodilatador, Albuterol	50 años
Hipertension Arterial	Enalapril, Bisoprolol	2 años
Diabetes tipo 2	Insulina	4 años

### Operaciones Realizadas

Buscar operaciones del paciente

Tipo de Operacion	Fecha de Operacion	Medico que lo registro
Peritonitis	05/10/2010	Ifantes, Luis
Operacion del Pulmon	01/04/2018	Cuadros, Javier

### Alergias

Buscar alergias del paciente

Medicamento	Efecto de la Alergia	Periodo
Penicilina	Ronchas	1 mes

Ilustración 32 Historia Clínica del Paciente - Seguimiento de Signos Vitales (elaboración propia)

### Operaciones Realizadas

Buscar operaciones del paciente

Tipo de Operacion	Fecha de Operacion	Medico que lo registro
Peritonitis	05/10/2010	Ifantes, Luis
Operacion del Pulmon	01/04/2018	Cuadros, Javier

### Alergias

Buscar alergias del paciente

Medicamento	Efecto de la Alergia	Periodo
Penicilina	Ronchas	1 mes

### Seguimiento de los Signos Vitales

#### Nivel del Azucar

#### Medida de la Presion Arterial

Ilustración 33 Recomendación de medicamentos a seleccionar por el médico (elaboración propia)

**Pedro Legua**  
Médico

Inicio Médico a Medical Secure Cerrar Sesión

## Nueva Receta

**Datos Personales**

Paciente: Alberto Guan Pierre Chang Lopez      Edad: 89 años

**Recomendación de medicamentos**

**Primera Recomendación**

Medicamentos: Bisoprolol, Amlodipino

Sintoma	Porcentaje de Ausencia
Angina de Pecho	85%
Hipertensión Arterial	90%

Seleccionar

**Segunda Recomendación**

Medicamentos: Enalapril, Amlodipino

Sintoma	Porcentaje de Ausencia
Angina de Pecho	75%
Hipertensión Arterial	90%

Seleccionar

**Tercera Recomendación**

Medicamentos: Losartan, Amlodipino

Sintoma	Porcentaje de Ausencia
Angina de Pecho	68%
Hipertensión Arterial	85%

Seleccionar

Regresar Continuar sin Recomendación

Ilustración 34 Prescripción médica final (elaboración propia)

**Pedro Legua**  
Médico

Inicio Médico a Medical Secure Cerrar Sesión

## Nueva Receta

**Datos Personales**

Paciente: Alberto Guan Pierre Chang Lopez      Edad: 89 años

**Listado de medicamentos**

Eliga un medicamento

Medicamento: Bisoprolol - 5mg      Cantidad: 4      Frecuencia de toma: Cada 4hrs Agregar

Medicamento	Concentración	Forma Farmacéutica	Vía	Cantidad	Frecuencia
Bisoprolol	5mg	Tableta	Oral	4	Cada 4 horas
Amlodipino	10mg	Tableta	Oral	6	Cada 12 horas

Regresar Guardar



## **Capítulo 7. Conclusiones y trabajos futuros**

### **7.1 Conclusiones**

Con el envejecimiento las personas enfrentan más problemas de salud, principalmente con las enfermedades crónicas como la Hipertensión, Diabetes, Artrosis, entre otras, las cuales requieren un tratamiento continuo. Por tanto, es casi inevitable la polifarmacia; es decir, el consumo de múltiples medicamentos, que puede traer consigo interacciones no deseadas o peligrosas.

Luego de haber desarrollado el presente proyecto, se demuestra la realización de la propuesta de solución de la problemática mencionada, la cual era la falta de verificación de interacciones medicamentosas junto con los antecedentes del paciente polimedcado. Con ello se incluye un aporte a la mejora de la calidad de vida de los pacientes adultos mayores; con mayor énfasis, en brindar soluciones individualizadas, según su situación particular.

#### **7.1.1 Simulador del paciente geriátrico**

En la construcción de los simuladores se representó por cada sistema médico (Cardiología, Neurología, Traumatología y Endocrinología), una relación de medicamentos usados con mayor frecuencia en el Perú. Por otra parte, como era de esperarse, no se garantiza que la misma recomendación de medicamentos reaccione de la misma forma en dos o más pacientes, pues cada uno de ellos cuenta con diferentes antecedentes médicos; por tanto, se determinó un listado de posibles antecedentes que suelen padecer los adultos mayores.

Con el modelo del paciente construido, se consiguió simular las características del adulto mayor, a partir de los antecedentes, medicamentos y síntomas actuales del mismo.

#### **7.1.2 Algoritmo genético para optimizar la combinación de medicamentos**

Luego de la construcción del simulador, fue necesario buscar la mejor combinación de medicamentos con las características capturadas de la historia clínica del paciente; por tanto, se planteó una función objetivo que maximice la ausencia de síntomas, de tal

forma que el paciente mejore y sea afectado en un menor porcentaje por las interacciones medicamentosas.

### **7.1.3 Aplicación web de recomendación de medicamentos**

En la aplicación web, se detallan las citas pendientes; se registra la consulta, la cual es una de las entradas para la recomendación, pues será necesario conocer qué síntomas padece el paciente; se verifica la historia clínica, la cual contiene las patologías crónicas, diagnósticos pasados y alergias del paciente; y se realiza la recomendación de medicamentos.

## **7.2 Trabajos Futuros**

Para futuros proyectos, será necesario enriquecer el simulador del paciente con mayor cantidad de variables (mayor cantidad de patologías, características físicas, signos vitales del paciente, estado anímico, entre otras cosas) para que el modelo cuente con mayor precisión en la recomendación. Así mismo, sería de gran ayuda tener la evaluación del especialista de cada sistema médico para ajustar la probabilidad de efectividad de los medicamentos hacia las patologías.

Con respecto a la mejora del modelamiento se puede adaptar el enfoque de lógica difusa como alternativa a las redes bayesianas, también se propone adaptar el uso de redes bayesianas dinámicas para modelar e inferir tomando en consideración la evolución temporal del paciente y por último el uso de métodos más eficientes de inferencia probabilística, tales como métodos aproximados variacionales y Gibbs sampling.

Con respecto al algoritmo genético, se puede mejorar tanto en tiempo como en la cantidad de generaciones, pues se propone la mejora del algoritmo genético para evitar o estancarse en óptimos locales y lograr encontrar rápidamente el óptimo global.

## Capítulo 8. Referencias

A. López-Sáeza, P. Sáez-López, S. Paniagua-Tejoc, M.A. Tapia-Galánd. *Prescripción inadecuada de medicamentos en ancianos hospitalizados según criterios de Beers*. Vol. 36, n.º 4, agosto de 2012, pp. 268-74.

Abhinav Asthana, Ankit Sobti, Abhijit Kane. *What is Postman, and Why Should I Use It?* Postman, Inc., <https://www.digitalcrafts.com/blog/student-blog-what-postman-and-why-use-it>.

Alberto Fernández. *Servicios web RESTful con HTTP. Parte I: Introducción y bases teóricas*. 12 de noviembre de 2013, <http://www.adwe.es/general/colaboraciones/servicios-web-restful-con-http-parte-i-introduccion-y-bases-teoricas>.

Alberto González-Pedraza Avilés, Alejandro Sánchez-Reyes, Ricardo González-Domínguez. «Medicamentos potencialmente inapropiados: conceptos de utilidad clínica para el médico familiar». *Fármacos potencialmente inapropiados: conceitos utilidade clínica para médico de família*, vol. 23, n.º 3, septiembre de 2016, pp. 113-15.

Ankur Ankan, Abinash Panda. *Pgmpy: Probabilistic Graphical Models Using Python*. 2015, [http://conference.scipy.org/proceedings/scipy2015/pdfs/ankur\\_ankan.pdf](http://conference.scipy.org/proceedings/scipy2015/pdfs/ankur_ankan.pdf).

Benjamin Stark, Constanze Knahl, Mert Aydin, Mohammad Samarah, Karim O. Elish. *BetterChoice: A Migraine Drug Recommendation System Based on Neo4J*. 2017, pp. 382-86.

BR. SINTYA MILENA MELÉNDEZ VALLADAREZ, BR. MARIA ELIZABETH GAITAN, BR. NELDIN NOEL PÉREZ REYES. *METODOLOGIA ÁGIL DE DESARROLLO DE SOFTWARE PROGRAMACION EXTREMA*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA, MANAGUA UNAN-MANAGUA, 28 de enero de 2016, <http://repositorio.unan.edu.ni/1365/1/62161.pdf>.

Carlos Brotons, Irene Moral, Aida Ribera, Gloria Pérez, Purificación Cascant, Montse Bustins, Gaietà Permanyer-Miralda. *Tendencias de la morbimortalidad por insuficiencia cardíaca en Cataluña*. Vol. 51, n.º 12, diciembre de 1998, pp. 972-76.

Carlos Manterola, Paula Astudillo, Esteban Arias, Nataniel Claros, Grupo MINCIR. *Revisiones sistemáticas de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas*. Vol. 91, n.º 3, marzo de 2013, pp. 149-55, doi:10.1016/j.ciresp.2011.07.009.

Cristian Gallo, Javier Vilosio y J.Saimovici. «Actualización de los criterios STOPP-START: una herramienta para la detección de medicación potencialmente inadecuada en ancianos». *Sección Medicina Domiciliaria - Servicio de Clínica médica del Hospital Italiano de Bs As.*, vol. 18, n.º 4, diciembre de 2015.

Danike, Inc. *Pocket Pharmacist*. 2010, <https://www.pocketpharmacist.io/>.

David Heinemeier Hansson. *What's Rails?* 2005, <https://github.com/rails/rails>.

Diana Pizarro Méndez. *LA POLIMEDICACIÓN Y PRESCRIPCIÓN INADECUADA EN ADULTOS MAYORES*. 2016, pp. 389-94.

Dieter Genser. (2008) *Food and Drug Interaction: Consequences for the Nutrition/Health Status*. Vol. 52, marzo de 2008, pp. 29–32, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18382075>.

DPTO. POLÍTICAS FARMACÉUTICAS Y PROFESIONES MÉDICAS. «GUÍA PARA LAS BUENAS PRÁCTICAS DE PRESCRIPCIÓN: METODOLOGÍA PARA LA PRESCRIPCIÓN RACIONAL DE MEDICAMENTOS MINISTERIO DE SALUD DE CHILE.» *Buenas Prácticas de Prescripción*, marzo de 2010.

Drug Interactions Checker. «Drug Interactions Checker». *Drug Interactions Checker*, [https://www.drugs.com/drug\\_interactions.html](https://www.drugs.com/drug_interactions.html).

*Drugbank*. 2 de julio de 2019, <https://www.drugbank.ca/>.

Farmacovigilancia. *¿Qué es una RAM?* 29 de septiembre de 2019.

Flávio LuizSeixas, Bianca Zadrozny, Jerson Laks, Aura Conci, Débora Christina Muchaluat Saadea. *A Bayesian network decision model for supporting the diagnosis of dementia, Alzheimer's disease and mild cognitive impairment*. Vol. 51, 2014, pp. 140-58, doi:<https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2014.04.010>.

Francisco Herrera. *Introducción a los Algoritmos Metaheurísticos*. Vol. 8, 2000, pp. 1-29, <https://www.salud180.com/salud-z/receta-medica>.

G. Michael Harper MD, AGSF William L. Lyons MD, AGSF; Jane F. Potter MD, FACP, AGSF. «Geriatrics Review Syllabus». *American Geriatrics Society*, n.º 10th Edition, 2019.

geekytheory. «Programación Extrema: Qué Es y Principios Básicos». *Programación Extrema: Qué Es y Principios Básicos*, 2019, <https://geekytheory.com/programacion-extrema-que-es-y-principios-basicos>.

Ing. José Joskowicz. *Reglas y Prácticas en eXtreme Programming*. 2008, p. 22. *Nuevas Técnicas de Desarrollo de Software en Ingeniería Telemática*, <https://iie.fing.edu.uy/~josej/docs/XP%20-%20Jose%20Joskowicz.pdf>.

Ingolf Cascorbi. (2012). *Drug Interactions—Principles, Examples and Clinical Consequences*. Vol. 109 (33-34), Int de 2012, pp. 546-56, doi:10.3238/arztebl.2012.0546.

J.Archenaa, Dr E.A.Mary Anita. «Health Recommender System using Big data analytics». *Journal of Management Science and Business Intelligence*, junio de 2017, pp. 2472-9256, doi:10.5281/zenodo.833885.

JONATHAN M. TEICH, MD, PHD, JEROME A. OSHEROFF, MD, ERIC A. PIFER, MD, DEAN F. SITIG, PHD, y ROBERT A. JENDERS, MD, MS, THE CDS EXPERT REVIEW PANEL.

«Clinical Decision Support in Electronic Prescribing: Recommendations and an Action

Plan». *Journal of the American Medical Informatics Association*, vol. 12, n.º 4, agosto de 2005, pp. 365-76.

Juan Daniel Castrillón-Spitia, Adriana Franco-Hurtado, Carolina Garrido-Hernández, Juliana Jaramillo-Patiño, María Alejandra Londoño-Moncada, Jorge Enrique Machado-Alba. *Utilización de fármacos antihipertensivos, efectividad e inercia clínica en pacientes*. Vol. 25, agosto de 2018, pp. 249-56, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0120563318300263>.

Keith Trnka. *Common prescriptions, years of practice*. 2018, <https://www.kaggle.com/keithtrnka/common-prescriptions-years-of-practice/notebook>.

Köhler GI, Bode-Böger SM, Busse R, Hoopmann M, Welte T, Böger RH. *Drug-drug interactions in medical patients: Effects of in-hospital treatment and relation to multiple drug use*. Vol. 38, noviembre de 2000, pp. 504-13, doi:10.5414/PPP38504.

Lee SM, Abbott PA. *Bayesian networks for knowledge discovery in large datasets: basics for nurse researchers*. 2003, pp. 389-99, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14643735>.

Luis Enrique Sucar. *Redes Bayesianas*. <https://ccc.inaoep.mx/~esucar/Clases-mgp/caprb.pdf>.

Matt Makai. *Why is Flask a good web framework choice?* 2012, <https://www.fullstackpython.com/flask.html>.

NIH. *Medicamentos para la enfermedad de Alzheimer*. abril de 2018, <https://www.nia.nih.gov/health/medicamentos-enfermedad-alzheimer>.

Norsys Software Corp. *Netica*. 1995, <https://www.norsys.com/>.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. *Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud*. Vol. 1, Publicación Científica No. 554, 1992, <http://ais.paho.org/classifications/Chapters/pdf/Volume1.pdf>.

Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A modern Approach*. Third Edition ed, 2010.

*PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database*. 1996.

Python Software Foundation. *Applications for Python*.

<https://www.python.org/about/apps/>.

Sparx Systems. *Diagrama de Despliegue UML 2*. 2019 de 2000,

[http://www.sparxsystems.com.ar/resources/tutorial/uml2\\_deploymentdiagram.html](http://www.sparxsystems.com.ar/resources/tutorial/uml2_deploymentdiagram.html).

Teodoro J Oscanoa. (2005). *Uso inadecuado de medicamentos en adultos mayores*.

2005, [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1025-55832005000100007](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832005000100007).

Wen-Hao Chiang, Li Shen, Lang Li, Xia Ning. *Drug Recommendation toward Safe Polypharmacy*. Cornell University, 2018, pp. 19-23,

<https://arxiv.org/pdf/1803.03185.pdf>.

WHO Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology. *Structure and principles*.

15 de febrero de 2018, [whocc.no/atc/structure\\_and\\_principles/](http://whocc.no/atc/structure_and_principles/).

World Health Organization 2016. *Multimorbidity: Technical Series on Safer Primary Care*. 2016, [www.who.int/patientsafety](http://www.who.int/patientsafety).

Yukihiro «Matz» Matsumoto. *Ruby: El mejor amigo de un desarrollador*.

<https://www.ruby-lang.org/es/>.

Zúñiga Tello, Exequiel Orlando. *Optimización de terapias farmacológicas en adultos mayores hospitalizados utilizando criterios de Beers y Stopp Start*. 2013,

<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/130109>.

## Capítulo 9. Anexos

### 9.1 Comparación de resultados con la ejecución de la red bayesiana

En la ilustración 35, se detalla el resultado de la ejecución de la red bayesiana con la propuesta de recomendación de medicamentos en los tres casos antes mencionados. Para cualquiera de los casos se coloca en 0 el antecedente que posea el paciente y 1 el caso contrario; con respecto a la prescripción médico, se coloca en 0 los medicamentos prescritos y en 1 el caso contrario; finalmente, en caso al diagnóstico se colocan los pesos indicados por el médico y la red bayesiana de cardiología.

Se obtuvo un score con - 3% de error en todos los casos, pues con el algoritmo genético para el primer caso resultó un 89%, para el segundo caso un 82% y para el tercer caso un 79%. Lo que indica cifras cercanas a lo esperado, pero con el mismo error en los tres casos.

*Ilustración 35 Resultados de la red bayesiana a partir de la recomendación propuesta del algoritmo genético (elaboración propia)*

#### Primer caso

```
In [58]: score = fitnessFunction({'AN_BRADICARDIA': 0, 'AN_DISFUNCION_VENTRI': 1, 'AN_HIPONATREMIA': 1, 'AN_HIPOPOASEMIA': 1,
{'MR_VERAPAMILO': 1, 'MR_AMLODIPINO': 1, 'MR_CLORTALIDONA': 0, 'MR_ENALAPRIL': 0, 'MR_IRBESA': 0,
['SA_INSUFICIENCIA_CARDIACA', 'SA_HIPERTENSION_ARTERIAL', 'SA_ANGINA_PECOHO'], [0, 1, 0], bn0 )
Probabilidad de ausencia
Score
0.86
```

#### Segundo caso

```
In [59]: score = fitnessFunction({'AN_BRADICARDIA': 0, 'AN_DISFUNCION_VENTRI': 0, 'AN_HIPONATREMIA': 1, 'AN_HIPOPOASEMIA': 1,
{'MR_VERAPAMILO': 0, 'MR_AMLODIPINO': 1, 'MR_CLORTALIDONA': 1, 'MR_ENALAPRIL': 1, 'MR_IRBESA': 0,
['SA_INSUFICIENCIA_CARDIACA', 'SA_HIPERTENSION_ARTERIAL', 'SA_ANGINA_PECOHO'], [0, 1, 0.65], bn0 )
Probabilidad de ausencia
Score
0.7954545454545455
```

#### Tercer caso

```
In [60]: score = fitnessFunction({'AN_BRADICARDIA': 1, 'AN_DISFUNCION_VENTRI': 1, 'AN_HIPONATREMIA': 1, 'AN_HIPOPOASEMIA': 0,
{'MR_VERAPAMILO': 0, 'MR_AMLODIPINO': 1, 'MR_CLORTALIDONA': 1, 'MR_ENALAPRIL': 1, 'MR_IRBESA': 0,
['SA_INSUFICIENCIA_CARDIACA', 'SA_HIPERTENSION_ARTERIAL', 'SA_ANGINA_PECOHO'], [0.65, 1, 0], bn0 )
Probabilidad de ausencia
Score
0.76
```



## 9.2 Listado de Requerimientos

Nro	Módulo	Descripción	Prioridad
1	SEGURIDAD	El sistema permitirá gestionar los perfiles de acceso (administrador del sistema, médico y paciente)	1
2	SEGURIDAD	El sistema contará con una pantalla de inicio de sesión a través de la cual los usuarios deberán autenticarse haciendo uso de un ID de usuario y contraseña.	1
3	SEGURIDAD	El sistema permitirá recuperar y restaurar la contraseña a los usuarios que la hayan olvidado	3
4	SEGURIDAD	El sistema mostrará una ventana emergente de confirmación cuando el usuario decida cerrar su sesión	1
5	SEGURIDAD	El sistema permitirá almacenar un log de auditoría para verificar el historial de las búsquedas realizadas por los médicos	1
6	SEGURIDAD	El sistema permitirá el registro de usuarios enfermero(a) y médico con los siguientes datos: nombres, apellidos, DNI, teléfono, e-mail, perfil de acceso y número de colegiatura. Asimismo, se permitirá la modificación de éstos.	1
7	CONFIGURACIÓN GENERAL	El sistema permitirá el mantenimiento de los medicamentos, el cual incluirá el registro, la actualización y el cambio de estado. Se validará con los estándares de salud el registro prescrito	1
8	CONFIGURACIÓN GENERAL	El sistema permitirá el mantenimiento de las patologías, el cual incluirá el registro, la actualización y el cambio de estado. Se validará con los estándares de salud el registro prescrito	1

Nro	Módulo	Descripción	Prioridad
9	CONFIGURACIÓN GENERAL	El sistema permitirá el mantenimiento de los síntomas relacionados con las patologías, el cual incluirá el registro, la actualización y el cambio de estado. Se validará con los estándares de salud el registro prescrito	1
10	CONFIGURACIÓN GENERAL	El sistema permitirá el mantenimiento de los efectos secundarios, relacionados con los medicamentos, el cual incluirá el registro, la actualización y el cambio de estado. Se validará con los estándares de salud el registro prescrito	1
11	CONFIGURACIÓN GENERAL	El sistema permitirá realizar el mantenimiento respectivo al algoritmo genético que involucre agregar efectividad a los medicamentos, agregar nuevos medicamentos y mejorar los tiempos de respuesta del algoritmo	2
12	GESTIÓN DE CITAS	El sistema permitirá el registro del paciente con los siguientes datos personales: DNI, nombre completo, dirección, correo personal y fecha de nacimiento.	1
13	GESTIÓN DE CITAS	El sistema permitirá el registro de la cita de los pacientes que se encuentren en el sistema	1
14	GESTIÓN DE CITAS	El sistema permitirá realizar el filtro por nombre de la especialidad	1
15	GESTIÓN DE CITAS	El sistema permitirá mostrar el detalle de la reserva de la cita	2
16	GESTIÓN DE LA CONSULTA	El sistema permitirá el registro, la actualización y el cambio de estado de la historia clínica del paciente (Estados: Activo, Fallecido)	1

Nro	Módulo	Descripción	Prioridad
17	GESTIÓN DE LA CONSULTA	El sistema permitirá el registro y la actualización de la sección de Antecedentes Médicos dentro de la historia clínica	1
18	GESTIÓN DE LA CONSULTA	El sistema permitirá almacenar los registros de consulta dentro de la historia médica	1
19	GESTIÓN DE LA CONSULTA	El sistema permitirá el registro y la actualización de la sección de Anamnesis, en el cual se colocarán los síntomas dichos por el paciente dentro del registro de consulta.	1
20	GESTIÓN DE LA CONSULTA	El sistema permitirá el registro y la actualización de la sección de signos vitales dentro del registro de consulta.	1
21	GESTIÓN DE LA CONSULTA	El sistema permitirá el registro y la actualización de la sección de diagnóstico del paciente, el cual será colocado en formato CIE-10, en el registro de consulta.	1
22	GESTIÓN DE LA RECETA	El sistema permitirá la creación de la receta del paciente	1
23	GESTIÓN DE LA RECETA	El sistema permitirá recomendar las tres mejores combinaciones de medicamentos en base a los síntomas del paciente (aparecerá la probabilidad de presencia y ausencia de los síntomas)	1
24	GESTIÓN DE LA RECETA	El sistema permitirá la selección de una o ninguna de las combinaciones, para luego elegir la dosis y cantidad respectiva por medicamento.	1
25	GESTIÓN DE LA RECETA	El sistema permitirá el registro de sugerencia de combinaciones de medicamentos que el médico proponga.	1