

Universidad de las Ciencias Informáticas

Facultad 6



Título: “Implementación de un sistema basado en el conocimiento para el diagnóstico y el tratamiento médico de pacientes con dislipidemias”

Trabajo de Diploma para optar por el título de
Ingeniero en Ciencias Informáticas

Autores: Alejandro Pérez Lara
Yasel Almenares Alfonso

Tutoras: Ing. Ileana Martí Pérez
Ing. Liusmila Nieto Cervantes

Co-tutor: DrC. Alfredo Nasiff Hadad

La Habana, Junio de 2011
“Año 53 de la Revolución”

“Gran parte de las dificultades por las que atraviesa el mundo se deben a que los ignorantes están completamente seguros y los inteligentes llenos de dudas.”

Bertrand Arthur William Russell.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaramos ser autores del presente Trabajo de Diploma y reconocemos a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo.

Para que así conste se firma la presente a los ____ días del mes de _____ del año _____.

Autor

Yasel Almenares Alfonso

Autor

Alejandro Pérez Lara

Tutora

Ing. Ileana Martí Pérez

Tutora

Ing. Liusmila Nieto Cervantes

DATOS DE CONTACTO

Ing. Ileana Martí Pérez (correo electrónico: imarti@uci.cu).

Especialidad de graduación: Ingeniero en Ciencias Informáticas.

Categoría docente: Instructor.

Categoría científica: Ninguna.

Años de experiencia en el tema: 2.

Años de graduado: 3.

Ing. Liusmila Nieto Cervantes (correo electrónico: lnieto@uci.cu).

Especialidad de graduación: Ingeniero en Ciencias Informáticas.

Categoría docente: Instructor.

Categoría científica: Ninguna.

Años de experiencia en el tema: 2.

Años de graduado 3.

AGRADECIMIENTOS

A nuestras tutoras, por todo su apoyo.

A la Revolución, por permitir que nos formemos como verdaderos profesionales.

Yasel y Alejandro

A mi madre, mis abuelos, mi novia Yezi (mi guajira) por brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

A mi familia por ser tan numerosa y especial, a Luis por formar parte de ella también.

A mis suegros Marylin y Abel.

A mis amigos Alejo, Leo, Pablo, Robertico, Luillys, Gendrys, Freddy, Omar, Dariel, Rodolfo.

A todos los que de alguna forma ayudaron a que fuera ingeniero.

Yasel

A mi madre que siempre me apoyó y supo guiarme hacia lo que hoy soy.

A mi familia, en especial a mi abuela y mi abuelo, a mi tía Maylén y a mi tío Rainer, a Aile.

A mi padre y a mi tío Albe.

A mis amigos de la universidad Yasel, Yezenia, Dismey, Laritza, Patricia, Freddy, Pablo, Dariel, Rodolfo, Omar, Luillys, Gendrys, Leo, Sergio.

A todos los que de una forma u otra contribuyeron a que este sueño se realizara.

Alejandro

DEDICATORIA

A mi madre por ser el mejor padre y la mejor madre del mundo al mismo tiempo.

A mi abuela (Mami) por todo su apoyo.

A mi abuelo (Papi) por ser ejemplo a seguir.

A mi hermano Ernesto para ver si se embulla a seguirme los pasos y se hace un profesional.

Yasel

A mi madre, que se merece más que todo lo que le pueda dar.

Alejandro

RESUMEN

El diagnóstico y tratamiento a pacientes con trastornos del metabolismo de las lipoproteínas es un imperativo en la prevención de la aterosclerosis, la cual provoca serios problemas de salud e incrementan los niveles del índice de mortalidad en la población cubana. Establecer estrategias y metas que logren elevar la calidad de vida de los cubanos es sin dudas prioridad de nuestros médicos en la actualidad. Contar con sistemas informáticos que gestionen la información de los pacientes dislipidémicos y les posibilite a los médicos el estudio y análisis de casos vistos en consulta es sin lugar a dudas un salto cualitativo en la calidad del servicio prestado. El desarrollo de un sistema con estas características constituye una solución novedosa para Cuba. AlasLIPO es un sistema informático de ayuda médica que permite la gestión de la historia clínica de pacientes dislipidémicos a través de un ciclo de consultas, en las cuales al introducir ciertos parámetros se genera un diagnóstico y un tratamiento médico. En la presente tesis se implementaron dos algoritmos basados en Inteligencia Artificial que garantizan que el sistema evolucione en las respuestas que emite. Para el caso del diagnóstico se utilizó un sistema basado en reglas y para el tratamiento se utilizó un sistema basado en casos que posee implementada dos funciones de semejanza: Función Heterogénea y Función de Argelio. Todas las herramientas de desarrollo utilizadas son software libre, en correspondencia con las políticas de arquitectura definidas por Infomed para el software que se desarrolla para el Sistema Nacional de Salud.

PALABRAS CLAVE

alásLIPO, diagnóstico, calidad de vida, Infomed, Inteligencia Artificial, lipoproteínas, tratamiento.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| AGRADECIMIENTOS..... | I |
| DEDICATORIA | II |
| RESUMEN..... | III |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO 1: FUNDAMENTO TEÓRICO SOBRE SISTEMA EXPERTO..... | 5 |
| Introducción..... | 5 |
| 1.1 Inteligencia Artificial..... | 5 |
| 1.2 Sistema Experto | 6 |
| 1.2.1 Características de los Sistemas Expertos | 6 |
| 1.2.2 Ventajas de los Sistemas Expertos | 6 |
| 1.2.3 Desventajas de los Sistemas Expertos | 7 |
| 1.2.4 Arquitectura de los Sistemas Expertos..... | 7 |
| 1.2.5 Tipos de Sistemas Expertos | 8 |
| 1.2.6 Aplicaciones de los Sistemas Expertos | 10 |
| 1.3 Metodologías para el diseño de un sistema experto | 12 |
| 1.4 Tecnologías y herramientas | 15 |
| Conclusiones parciales | 21 |
| CAPÍTULO 2: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO..... | 22 |
| Introducción..... | 22 |
| 2.1 Adquisición del conocimiento | 22 |
| 2.2 Arquitectura | 22 |
| 2.2.1 Diagrama de componentes..... | 24 |

| | |
|---|----|
| 2.3 Solución propuesta para el Sistema Basado en Reglas | 25 |
| 2.4 Solución propuesta para el Sistema Basado en Casos | 28 |
| 2.4.1 Recuperación de los casos..... | 30 |
| Conclusiones parciales | 32 |
| CAPÍTULO 3: VALIDACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO | 34 |
| Introducción..... | 34 |
| 3.1 Validación de los Sistemas Expertos | 34 |
| 3.2 Casos de prueba | 35 |
| 3.2.1 Diagnóstico de la primera consulta..... | 35 |
| 3.2.2 Diagnóstico de la consulta evolutiva..... | 37 |
| 3.2.3 Tratamiento de la primera consulta | 39 |
| 3.2.4 Tratamiento de la consulta evolutiva | 43 |
| 3.3 Resultados del SBC sobre el tratamiento médico..... | 45 |
| Conclusiones parciales | 48 |
| CONCLUSIONES | 49 |
| RECOMENDACIONES | 50 |
| BIBLIOGRAFÍA | 51 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |
| ANEXOS | 55 |
| Anexo 1: Reglas en lenguaje natural. | 55 |
| Anexo 2: Modelo de datos alasLIPO v2.0 | 59 |
| Anexo 3: Reglas expresadas en el lenguaje RuleML..... | 60 |

INTRODUCCIÓN

La medicina es la ciencia dedicada al estudio de la vida, la salud, las enfermedades y la muerte del ser humano, e implica el arte de ejercer tal conocimiento técnico para el mantenimiento y recuperación de la salud, aplicándolo al diagnóstico, tratamiento y prevención de las enfermedades. Junto al desarrollo de la medicina y otras ciencias, el hombre ha trabajado en cómo manejar el cúmulo de conocimientos obtenidos, es decir la información.

Los avances obtenidos en la ciencia y la tecnología han permitido conseguir un notable progreso de la medicina, esto ha repercutido en el bienestar de la humanidad permitiendo estilos de vida más saludables y a prolongar la expectativa de vida. En la actualidad se asiste a una menor morbilidad¹ de tal modo que las personas pueden llegar a una mayor edad y pueden sufrir enfermedades ya no tanto infecciosas sino más bien de carácter crónico como la diabetes mellitus, obesidad, hipertensión arterial y las dislipoproteinemias.

Las dislipoproteinemias son enfermedades que se caracterizan por el *“aumento, disminución, en este último caso, especialmente (HDLc²) y/o cambios en la estructura y composición de una o más lipoproteínas en sangre.”* [1]

El diagnóstico de estas enfermedades es difícil cuando se trata de diferenciar entre formas primarias y secundarias. Los profesionales de la salud se enfrentan a una gran variedad de situaciones que conllevan a soluciones distintas para cada paciente, lo que hace necesario una evaluación rigurosa teniendo en cuenta sus factores de riesgo, grupo de riesgo al que pertenece, causas secundarias, antecedentes patológicos personales y familiares para la indicación del diagnóstico y tratamiento adecuado a las características individuales de cada paciente.

Contar con herramientas que gestionen la información de los pacientes dislipidémicos y posibilite el análisis de los casos vistos en consulta es sin lugar a dudas un salto cualitativo en la calidad del servicio prestado. El desarrollo de un sistema con estas características constituye una solución novedosa para el país. Para ello, utiliza aportaciones de la inteligencia artificial en las áreas de aprendizaje, razonamiento, representación del conocimiento y comunicación. Con estos elementos se

¹ Mortalidad por causa de una enfermedad.

² Al colesterol asociado a la lipoproteína HDL se le denomina HDLc, y se le conoce como "colesterol bueno" ya que su principal función es recoger el colesterol de los tejidos, y llevarlo al hígado.

procura crear un sistema informático que almacene, explote y actualice los conocimientos que los especialistas en un campo pueden aportar para la solución de problemas específicos, dando vida a los “sistemas expertos”.

“Los Sistemas Basados en Conocimiento representan un paso delante de los sistemas de información convencionales al pretender representar funciones cognitivas del ser humano como el aprendizaje y el razonamiento. Esta clase de aplicaciones descansan en las contribuciones de la Inteligencia Artificial en lo general y en la Ingeniería del Conocimiento en lo particular. Su orientación es la automatización del análisis de problemas, la búsqueda de soluciones, la toma de decisiones y el empleo de conocimiento especializado en un campo específico de aplicación.” [2]

Como antecedentes de la presente investigación se tiene conocimiento del desarrollo del Sistema de Ayuda Médica para la Atención de las Dislipoproteinemias versión 1.0 (SAMAD). Esta aplicación no quedó totalmente concluida y no poseía una arquitectura adecuada que permitiera ser desplegada sobre la red del Sistema Nacional de Salud, Infomed. El sistema que sucedió a esta aplicación fue el Sistema de Ayuda Médica para la Atención de las Dislipoproteinemias versión 2.0 (alasLIPO), el cual fue concebido con objetivos similares pero tratando de resolver los problemas que presentó el anterior sistema. El sistema alasLIPO brinda el diagnóstico y el tratamiento de los pacientes utilizando algoritmos convencionales, limitando el aprendizaje a partir de los datos almacenados y generación de nuevos conocimientos para la obtención de los mismos, lo cual provoca que el sistema no evolucione en sus respuestas.

Por la situación anteriormente descrita, se plantea como **problema de la investigación**: ¿Cómo contribuir a la obtención del diagnóstico y el tratamiento médico de pacientes dislipidémicos?

El problema planteado se enmarca en el **objeto de estudio**: Sistemas basados en el conocimiento para la obtención de diagnóstico y tratamiento médico. El objeto de estudio delimita el **campo de acción**: Sistemas basados en reglas y en casos para la obtención de diagnóstico y tratamiento médico.

Para dar solución al problema de la investigación se define como **objetivo general**: Implementar un sistema basado en el conocimiento para el diagnóstico y el tratamiento médico de pacientes dislipidémicos.

Para darle cumplimiento al objetivo general se trazaron los siguientes **objetivos específicos**:

- Implementar un sistema basado en el conocimiento para la obtención del diagnóstico médico de pacientes dislipidémicos.
- Implementar un sistema basado en el conocimiento para la obtención del tratamiento médico de pacientes dislipidémicos.
- Validar el sistema implementado.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos específicos señalados se definen las siguientes **tareas de la investigación**:

- Estudio de las tendencias actuales de los sistemas basados en el conocimiento para diagnóstico y el tratamiento médico.
- Estudio y selección de las herramientas necesarias para la implementación del sistema basado en el conocimiento para la obtención del diagnóstico y el tratamiento médico de pacientes dislipidémicos.
- Adquisición del conocimiento al experto en diagnóstico y tratamiento de pacientes dislipidémicos.
- Representación del conocimiento adquirido.
- Diseño del sistema basado en el conocimiento para la obtención del diagnóstico y el tratamiento médico de pacientes dislipidémicos.
- Implementación del sistema basado en el conocimiento para la obtención del diagnóstico y el tratamiento médico.
- Validación del sistema implementado.

La presente investigación consta de Introducción, Conclusiones, Recomendaciones, Referencias Bibliográficas, Bibliografía, Anexos y tres Capítulos que abordan los temas fundamentales distribuidos de la siguiente manera:

Capítulo 1: Fundamento teórico sobre Sistema Experto.

En el capítulo se exponen conceptos referentes a la Inteligencia Artificial, los Sistemas Expertos, los Sistemas Basados en Reglas y Sistemas Basados en Casos. La arquitectura de estos y sus aplicaciones, así como las ventajas y desventajas de los Sistemas Expertos. Se ofrece además un estudio sobre las herramientas y tecnologías aplicables a estos tipos de sistemas. También se exponen algunas de las metodologías existentes para el desarrollo de Sistemas Expertos.

Capítulo 2: Implementación del Sistema Experto.

En el capítulo se pone en práctica la metodología para desarrollar un Sistema Experto. Brinda un ejemplo de la forma de representar el conocimiento, las fuentes de donde fue extraído y los mecanismos de búsqueda que se utilizan. Se expone la arquitectura del Sistema Experto para el diagnóstico y tratamiento médico de pacientes dislipidémicos.

Capítulo 3: Validación del Sistema Experto.

En este capítulo se exponen los aspectos esenciales de la validación de los Sistemas Expertos. Se ponen ejemplos de las validaciones realizadas a la aplicación.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTO TEÓRICO SOBRE SISTEMA EXPERTO

Introducción

En el capítulo se exponen conceptos referentes a la Inteligencia Artificial, los Sistemas Expertos, los Sistemas Basados en Reglas y Sistemas Basados en Casos. La arquitectura de estos y sus aplicaciones, así como las ventajas y desventajas de los Sistemas Expertos. Se ofrece además un estudio sobre las herramientas y tecnologías aplicables a este tipo de sistemas. También se exponen algunas de las metodologías existentes para el desarrollo de estas herramientas.

1.1 Inteligencia Artificial

El término Inteligencia Artificial (IA), muchos lo asocian a súper computadoras inteligentes, que algún día puedan llegar a sobrepasar el conocimiento y entendimiento de los seres humanos. Lo que sí se puede evidenciar en esta rama son los logros que se han obtenido hasta hoy, los cuales han contribuido al desarrollo de las ciencias, y específicamente en la salud, debido a sus posibilidades para involucrarse en situaciones donde se requiere un gran acervo de conocimientos médicos, el veloz procesamiento de los datos y la toma efectiva de decisiones.

Existen varias definiciones de este término, pero la mayoría de los autores coinciden en que las máquinas posean su propia inteligencia.

Según Richard Ernest Bellman [3] *“La automatización de actividades que asociamos con el pensamiento humano, actividades como la toma de decisiones, la resolución de problemas, el aprendizaje.”*

María del Carmen Expósito Gallardo y Rafael Ávila Ávila [4] definen que *“La inteligencia artificial (IA) es un área de la investigación donde se combinan las computadoras, la fisiología y filosofía, reuniendo varios campos como la robótica y los sistemas expertos, los cuales tienen en común la creación de máquinas que pueden “pensar” por medio de algoritmos.”*

Juan Manuel Castillejos Reyes [5] plantea que la IA es *“El estudio de cómo lograr que los computadores realicen tareas que, por ahora, son realizadas mejor por los seres humanos.”*

Se puede decir que la IA trata de conseguir que los ordenadores simulen la inteligencia humana a través de un conjunto de técnicas que, les permitan “pensar” y resolver tareas complejas con la misma capacidad y análisis con que lo haría un ser racional.

1.2 Sistema Experto

Un sistema experto (SE) es un programa de computadora que intenta imitar e incluso superar en algunas ocasiones a un experto humano en un ámbito concreto de su actividad. Según Juan Manuel Castillejos Reyes [5] *“Los sistemas expertos se pueden considerar como el primer producto verdaderamente operacional de la inteligencia artificial. Son programas de ordenador diseñados para actuar como un especialista humano en un dominio particular o área de conocimiento. En este sentido, pueden considerarse como intermediarios entre el experto humano, que transmite su conocimiento al sistema, y el usuario que lo utiliza para resolver un problema con la eficacia del especialista. El sistema experto utilizará para ello el conocimiento que tenga almacenado y algunos métodos de inferencia.”*

1.2.1 Características de los Sistemas Expertos

Para que un sistema actúe como un verdadero experto, es deseable que reúna, en lo posible, lo más importante de las características de un experto humano:

- Habilidad para adquirir conocimiento.
- Fiabilidad, para poder confiar en sus resultados o apreciaciones.
- Solidez en el dominio de su conocimiento.
- Capacidad para resolver problemas.

Dada la complejidad de los problemas que usualmente tiene que resolver un SE, puede existir cierta duda en el usuario sobre la validez de respuesta obtenida. Por este motivo, es una condición indispensable que un SE sea capaz de explicar su proceso de razonamiento o dar razón del por qué solicita determinada información o dato.

1.2.2 Ventajas de los Sistemas Expertos

Los sistemas expertos representan un avance respecto a los especialistas humanos, ya que disponen del conocimiento explícitamente, al contrario de los expertos humanos, lo que nos permite examinarlo para corregirlo, darle más consistencia y completarlo. De tal manera el conocimiento puede ajustarse, aumentando así la calidad del mismo. Como ventaja de los SE se pueden destacar:

- Ofrece asesoría experta cuando no hay expertos humanos cerca.
- Lograr que el conocimiento esté disponible para más personas.

- Mejorar la productividad y el desempeño de quienes toman decisiones.
- Reducir el número de errores humanos.
- El proceso de buscar los conocimientos apropiados y a partir de éstos deducir nuevos conocimientos.
- El conocimiento permanece indefinidamente, a diferencia de los expertos humanos que pueden morir, retirarse o renunciar.
- Los SE no se ven afectados por condiciones externas, un humano sí (cansancio, presión, etc.).

1.2.3 Desventajas de los Sistemas Expertos

- El conocimiento es difícil de extraer de los expertos humanos.
- La aproximación de cada experto a la situación evaluada puede ser diferente.
- Tienen una noción muy limitada acerca del contexto de problema, es decir, no pueden percibir todas las cosas que un experto humano puede apreciar de una situación.
- Pueden existir decisiones que sólo competen a un ser humano y no una máquina.
- No saben cómo subsanar sus limitaciones, no son capaces de trabajar en equipo o investigar algo nuevo.

1.2.4 Arquitectura de los Sistemas Expertos

Los Sistemas Expertos emplean una amplia variedad de arquitecturas específicas a las aplicaciones, sin embargo se puede generalizar un módulo de componentes, como se muestra en la Figura 1, que normalmente se deben integrar en cualquier ámbito.

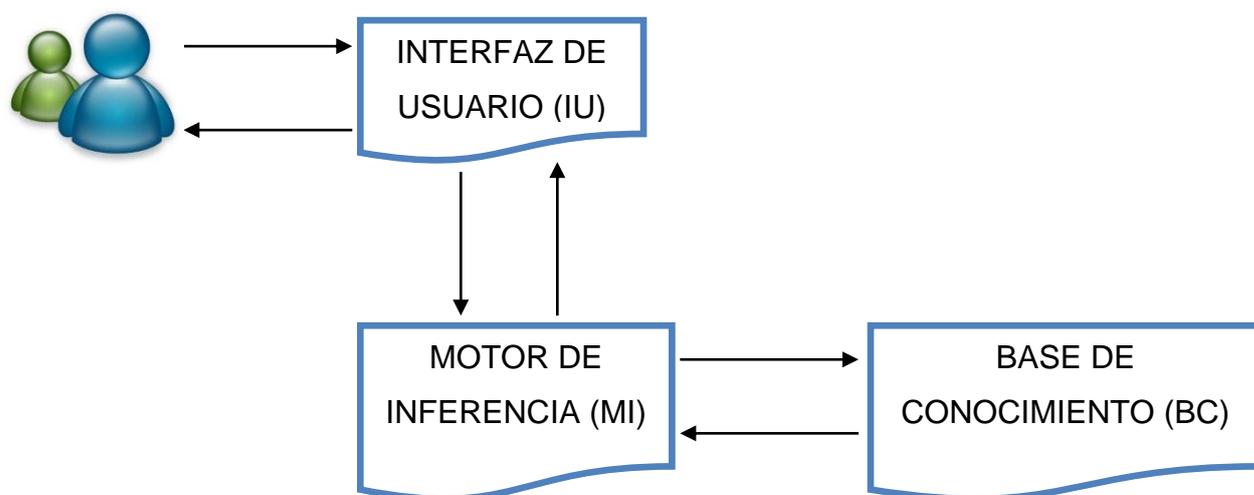


Figura 1. Arquitectura de los Sistemas Expertos.

Todo sistema dispone de una **interfaz de usuario**, mediante la cual se produce el diálogo entre el sistema y el usuario.

El **motor de inferencia** es un programa que controla el proceso de razonamiento que seguirá el sistema experto. Utilizando los datos que se le suministran, recorre la base de conocimientos para alcanzar una solución. El motor de inferencia es considerado el núcleo del SE.

La **base de conocimiento** contiene el conocimiento especializado extraído del experto en el dominio determinado. Es decir, contiene conocimiento general sobre el dominio en el que se trabaja. El método más común para representar el conocimiento es mediante reglas de producción. El dominio de conocimiento representado se divide en pequeñas fracciones de conocimiento o reglas, que consta de una parte denominada condición y otra denominada acción.

1.2.5 Tipos de Sistemas Expertos

Es la Forma de Representación del Conocimiento (FRC), la que clasifica la gran variedad de Sistemas Basados en el Conocimiento existentes actualmente, entre los que se destacan:

1. Basados en Reglas: trabajan mediante la aplicación de reglas, comparación de resultados y aplicación de las nuevas reglas basadas en situación modificada.
2. Basados en Casos: aplicando el razonamiento basado en casos, donde la solución a un problema similar planteado con anterioridad se adapta al nuevo problema.

3. Basados en Redes Bayesianas: Aplicando redes bayesianas, basadas en estadística y el teorema de Bayes³.

En la presente investigación se aplicarán los Sistemas Basados en Reglas para el diagnóstico médico, ya que los síntomas presentados por los pacientes podrán ser expresados en forma de reglas, y así, luego de la aplicación de un conjunto de éstas, se podrá diagnosticar a un paciente. También se aplicarán los Sistemas Basados en Casos para el tratamiento médico. El sistema se basará en experiencias anteriores realizando modificaciones a éstas en caso necesario para emitir un tratamiento certero. A continuación se explicarán los Sistemas Basados en Reglas y los Sistemas Basados en Casos.

Sistema Basado en Reglas

Los Sistemas Basados en Reglas (SBR) son los más conocidos de los SE. Los SBR utilizan las reglas de producción como forma de representación del conocimiento, y como método de inferencia la regla de modus ponens⁴.

Las reglas utilizan un formato SI – ENTONCES para representar el conocimiento, donde la parte SI de una regla es una condición (también llamada premisa o antecedente), y la parte ENTONCES de la regla es la acción (también llamada conclusión o consecuente), que permite inferir un conjunto de hechos nuevos si se verifican las premisas.

Los SBR le dan solución al problema creando una cadena de inferencias que constituye un camino entre la definición del problema y su solución. Esta cadena de inferencias puede construirse de dos maneras (direcciones de búsqueda): iniciar con los datos conocidos y llegar a la conclusión (también conocido como encadenamiento hacia adelante), la otra forma sería seleccionando una conclusión posible y tratar de probar su validez buscando evidencias que la soporten (también conocido como encadenamiento hacia atrás).

El “**encadenamiento hacia adelante**” consiste en aplicar al conocimiento base (organizado en forma de reglas de producción), junto con otro conocimiento disponible, el esquema inferencial modus

³ A partir de que ha ocurrido el suceso B (ha ocurrido un accidente) deducimos las probabilidades del suceso A (¿estaba lloviendo o hacía buen tiempo?).

⁴ Regla de inferencia más comúnmente utilizada. En ella se examina la premisa de la regla, y si es cierta, la conclusión pasa a formar parte del conocimiento.

ponens. Esta estrategia se denomina "encadenamiento hacia adelante" o "razonamiento de datos dirigidos", porque comienza con los datos conocidos y aplica el modus ponens sucesivamente hasta obtener los resultados que se siguen.

El “**encadenamiento hacia atrás**” consiste en tratar de probar un dato (o conocimiento) unificándolo en las reglas base con el esquema de inferencia modus ponens, o sea, tomando al dato como un consecuente y buscando en el conocimiento base el correspondiente antecedente, a través de los pasos correspondientes.

Sistema Basado en Casos

Los Sistema Basado en Casos (SBC) basa su funcionamiento en experiencias anteriormente vividas, ya sea por el propio sistema o bien por la persona experta. Esto significa usar viejas vivencias para comprender y resolver los nuevos problemas. El razonamiento basado en casos es una manera de razonar haciendo analogías y se ha argumentado que no es solo un método poderoso para el razonamiento de las máquinas sino que las personas lo utilizan para resolver sus problemas cotidianos.

La resolución de problemas basada en casos se lleva a cabo recuperando los casos similares desde la base de casos y usando estos de nuevo con o sin adaptaciones, si sufren adaptaciones, una vez hallada la solución se almacena junto con la descripción del problema en la base de casos, debido a que constituye un nuevo caso.

La calidad del resultado producido por el SBC depende de cuatro aspectos principales: la experiencia del sistema, su habilidad para comprender nuevas situaciones en término de la experiencia, de su habilidad en la adaptación y en la evaluación.

1.2.6 Aplicaciones de los Sistemas Expertos

Se ha demostrado que los SE son muy útiles en la solución de diversos problemas. Se han desarrollado varios SE en diferentes áreas del conocimiento, como son, Medicina, Turismo, Economía, Química, entre otros.

La siguiente tabla muestra un resumen de los Sistemas Expertos aplicados a las diferentes áreas del conocimiento.

| Sistema | Autor (es) | Año | Descripción |
|---|--|----------------|--|
| MYCIN | Shortliffe y Buchanan. Universidad de Stanfor | 1973 - 1976 | Diagnóstico y terapia de enfermedades de la sangre |
| CASNET | Kulikowsky y Weiss. Universidad de Rutgers | 1971 | Diagnóstico y tratamiento del glaucoma. |
| DENDRAL | Edward Feigenbaum. Universidad de Stanfor | 1965 | Interpreta la estructura molecular |
| INFORMACIÓN TURÍSTICA EN EL ESTADO DE GUANAJUATO | Nelly Beatriz Santoyo Rivera. Instituto Tecnológico de León. Méjico. | 2007 | Reduce el tiempo y costo en el diseño del plan de viaje del turista. |
| SEGEDIS | Marianela Gutiérrez Rodríguez, Jorge Bedoya Rusenko. Universidad de las Ciencias Informáticas. | 2010 | Diagnóstico médico de las enfermedades genéticas con dismorfias. |

Tabla 1. Sistemas Expertos en diferentes áreas del conocimiento

En la década de los 70, tres hechos incidieron positivamente en el desarrollo de los programas de diagnóstico y tratamiento médico: la aparición de los microordenadores, la aplicación de técnicas interactivas que facilitaban el uso de las computadoras y el desarrollo de técnicas de sistemas expertos. Durante esos años se construyeron los primeros sistemas expertos, entre ellos MYCIN, que fueron los que dieron impulso y fama a la Inteligencia Artificial.

INTERNIST, desarrollado por la Universidad de Pittsburg en 1977. Puede diagnosticar hasta 500 enfermedades que forman parte del área de la medicina interna. La representación del conocimiento se realiza mediante marcos y redes semánticas.

SESAM, (Systeme Explicatif d'Aide Medical) es un sistema médico explicativo en el campo de la hipertensión arterial desarrollado en la Universidad de Orsay, Francia. El trabajo de SESAM está centrado en brindar explicaciones sólidas de diagnóstico y terapia. El conocimiento psicopatológico está representado por medio de redes causales.

HyperWeb, es un sistema para el diagnóstico, control y seguimiento de pacientes con hipertensión arterial, con él se persiguen tres objetivos fundamentales. Su primer objetivo es proveer al médico de una herramienta que le permita organizar mejor su trabajo, organizando la historia clínica del paciente, automatizando el seguimiento y la generación de reportes. El segundo objetivo que persigue este sistema es proveer al médico de un sistema de ayuda para la toma de decisiones tomando como base el conocimiento implícito en el programa nacional para el tratamiento de la hipertensión y en la experiencia de especialistas en estos temas. Como tercer objetivo este sistema persigue la prevención y la educación de la población a partir de sugerir mejoras en el estilo de vida.

Los sistemas antes expuestos están especializados en una determinada enfermedad, por lo que poseen una base de conocimientos totalmente distinta que no se pueden utilizar para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades asociadas a las dislipoproteinemias. Además, la mayoría de estas herramientas solo están disponibles en hospitales especializados, a los cuales nuestra población no tiene acceso, debido a su elevado costo. Estos sistemas tampoco tienen una arquitectura acorde con las políticas establecidas para el desarrollo de herramientas que van a ser usadas por el Sistema Nacional de Salud (SNS).

1.3 Metodologías para el diseño de un sistema experto

Existen varias metodologías para la construcción de un sistema inteligente al igual que para el desarrollo de sistemas convencionales de información. A continuación se presentan algunas de las metodologías usadas en el área de los SE.

Buchanan

Este método está definido por cinco etapas fundamentales de las cuales se brinda una breve descripción.

- **Identificación:** Abarca desde la lectura de libros o artículos, las entrevistas o charlas con las personas familiarizadas con el tema y la búsqueda de un experto que esté dispuesto a colaborar en la construcción del sistema; por último la definición de cuáles son las tareas o funciones más idóneas que serán realizadas por el SE.
- **Conceptualización:** Identificar y caracterizar el problema mediante el análisis de los conceptos obtenidos del experto humano en el campo, para definir qué problemas va a resolver concretamente el SE.

- **Formalización:** Se determinan los principales conceptos del dominio, es decir cuáles son los más relevantes o importantes que se requieren para cada una de las tareas que va a resolver el sistema. Se deben reconocer las estrategias básicas que usa el experto cuando desarrolla su tarea, que hechos establece primero, que tipo de preguntas realiza primero.
- **Implementación:** Se formaliza el conocimiento obtenido del experto. Esta tarea implica definir qué arquitectura permitirá una mejor organización del conocimiento, que el formalismo usado es el apropiado para reflejar los conceptos y el proceso de inferencia del experto, también veremos que las estructuras de control usadas al activar las reglas reflejen la estrategia usada por el experto en el momento de hacer la deducción, que las reglas muestren asociaciones y métodos que son los usados por el experto.
- **Prueba:** Se identifican errores y se observa el comportamiento del prototipo, el funcionamiento de la base de conocimiento y la estructura de la inferencia, verificándose la perfección del sistema.

Grover

La metodología de Grover se concentra en tres etapas fundamentales, en la definición del dominio (conocimiento, referencias, situaciones y procedimientos) en la formulación del conocimiento fundamental (reglas elementales, creencias y expectativas) y en la consolidación del conocimiento de base (revisión y ciclos de corrección). [6]

- **Definición del dominio:** Después que el problema es definido por el usuario, la primera fase de adquisición de conocimientos consiste en un cuidadoso entendimiento del dominio. El objetivo es la producción de un Manual de Definición de Dominios conteniendo:
 - Descripción general del problema.
 - Bibliografía de los documentos referenciados.
 - Glosario de términos y símbolos.
 - Identificación de expertos autorizados.
 - Definición de métricas de performance apropiadas y realistas.
 - Descripción de escenarios de ejemplos razonables.

- **Formulación fundamental del conocimiento:** En esta etapa se revisan los escenarios seleccionados por el experto. Esta revisión forma una base para realizar el testeo, efectuar la corrección y determinar las capacidades del sistema experto que pueden ser expandidas y sujetas a experimentación.
- **Consolidación del conocimiento basal:** El conocimiento basal es el conjunto de reglas y definiciones adecuadas para producir actividad basal. El cuerpo fundamental del conocimiento es revisado e integrado a través de la apropiada reconstrucción de reglas. La corroboración con expertos adicionales puede colaborar en el cumplimiento de este objetivo.

El último paso en este proceso es el ciclo de “**revisión y mejoramiento**” del conocimiento educado. Los componentes del sistema experto operacional están desarrollados, pero sin la amplitud ni profundidad que la versión final necesitará.

BGM

BGM fue desarrollado por **Blanqué** y **García Martínez**. Consta de 5 fases que veremos a continuación.

- **Adquisición del conocimiento:** Esta etapa consiste en pedirle al experto que hable sobre el conocimiento involucrado, recordándole al experto que el ingeniero de conocimiento no conoce sobre el tema.
- **Enunciación de conceptos:** En esta etapa se debe tomar nota de los conceptos más frecuentemente utilizados. Esto se logra observando la recurrencia del experto sobre determinadas ideas, en esta etapa, la experiencia ha demostrado la conveniencia de mostrar una lista de tales conceptos al experto y que él realice una clasificación de los mismos.
- **Parametrización de conceptos:** El trabajo de esta fase consistirá en descubrir tales valores en el discurso del experto, y llegado el caso, plantearle si tales valores le parecen aceptables o si es necesario considerar modificaciones.
- **Planteo de causalidades:** Establecer relaciones de causalidad entre los conceptos mencionados y redactar las reglas asociadas.
- **Verificación:** Verificar la aceptabilidad de las reglas con el experto. Esto se realizará usando casos de prueba que sean considerados típicos, se compararán los resultados con los datos para esos mismos casos por los expertos humanos, y en base a esa comparación, se decidirá

si modificar, eliminar, o aceptar las reglas involucradas. Se usarán casos de la bibliografía proporcionada para producir las pruebas iniciales. Se utilizarán casos extremos para verificar la consistencia y ampliar la base de conocimiento, si es posible.

1.4 Tecnologías y herramientas

Para el desarrollo de la presente investigación, se utilizarán varias herramientas y tecnologías, algunas definidas en la arquitectura del sistema alasLIPO, y otras que se hace necesario utilizar debido al uso de técnicas de Inteligencia Artificial.

Lenguaje de programación: PHP 5.1.6

“PHP (acrónimo de “PHP: Hypertext Preprocessor”) es un lenguaje de “código abierto” interpretado, de alto nivel, embebido en páginas HTML y ejecutado en el servidor.” [7]

PHP puede utilizarse en los más populares sistemas operativos con los que se cuenta hoy en día, entre ellos: Windows, Linux, Mac OS. También tiene soporte para la mayoría de los servidores web que existen como: Apache, Microsoft Internet Information Server, Personal Web Server, Netscape, iPlanet, entre otros.

Este lenguaje soporta conexiones con más de 20 servidores bases de datos diferentes y soporta Estándar Abierto de Conexión con Bases de Datos (ODBC por sus siglas en inglés), de manera que puede conectarse a cualquier base de datos que soporte tal estándar. En alasLIPO v2.0, PHP se usa en combinación con el gestor de bases de datos MYSQL.

Framework: Symfony 1.0.22

Un framework facilita la programación de aplicaciones, ya que encapsula operaciones complejas en instrucciones sencillas. Proporcionan estructura al código fuente, forzando al desarrollador a crear código más legible y más fácil de mantener.

“Symfony es un completo framework diseñado para optimizar, gracias a sus características, el desarrollo de las aplicaciones web. Para empezar, separa la lógica de negocio, la lógica de servidor y la presentación de la aplicación web. Proporciona varias herramientas y clases encaminadas a reducir el tiempo de desarrollo de una aplicación web compleja. Además, automatiza las tareas más comunes, permitiendo al desarrollador dedicarse por completo a los aspectos específicos de cada aplicación. El

resultado de todas estas ventajas es que no se debe reinventar la rueda cada vez que se crea una nueva aplicación web.” [8]

Sistema Gestor de Base de Datos: MySQL 5.0.24

MySQL es un servidor de base de datos muy rápido y sencillo de usar, multiusuario, multiplataforma (Windows, Linux, Mac OS, etc.), y robusto escrito en C/C++; desarrollado, distribuido y con soporte por parte de MySQL AB y puede ser adquirido bajo dos licencias, el usuario puede adquirir una versión Open Source con términos de GNU General Public License o puede comprar la versión comercial estándar bajo licencia MySQL AB. Dispone de APIs⁵ para C, C++, Eiffel, Java, Perl, PHP, Python, Ruby, y Tcl.

Proporciona sistemas de almacenamientos transaccionales y no transaccionales. Posee un sistema de privilegios y contraseñas que es muy flexible y seguro, y que permite verificación basada en el host. Las contraseñas son seguras porque todo el tráfico de contraseñas está encriptado cuando se conecta con un servidor. Brinda soporte a grandes bases de datos con millones de registros, cada tabla permite hasta 64 índices. Tiene una excelente integración con PHP.

Servidor web: Apache 2.2.6

Apache HTTP Server es un servidor HTTP de código abierto escrito en C y desarrollado como uno de los proyectos de Apache Software Foundation que funciona sobre la mayoría de los sistemas operativos incluyendo UNIX, MS-Windows, Macintosh y NetWare. Está basado en software libre y es distribuido bajo la licencia Apache de esta misma empresa. Es un servidor bastante seguro, eficiente y extensible, que proporciona servicios de HTTP en sincronización con los actuales estándares de este protocolo. Apache ha sido el más popular servidor web en Internet desde abril de 1996.

Apache dispone de varios módulos que no están incluidos en el núcleo del servidor, algunos de estos módulos permiten que Apache brinde las funcionalidades básicas para un servidor web y otras lo convierten en mucho más que un servidor web básico ya que optimiza el rendimiento y la rapidez del código.

Servidor web: Apache Tomcat 6.0.30

⁵ Una interfaz de programación de aplicaciones o API, es el conjunto de funciones y procedimientos que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción.

Tomcat es una aplicación de código abierto que funciona como un contenedor de servlets desarrollado bajo el proyecto Jakarta en el Apache Software Foundation. Tomcat implementa las especificaciones de los servlets y de Java Server Pages o JSP de Sun Microsystems. Incluye el compilador Jasper, que compila JSP convirtiéndolas en servlets⁶. Es desarrollado en un entorno abierto y participativo y publicado bajo la licencia del software de Apache. Además utiliza librerías axis para las aplicaciones de servicios web. (9)

Entorno de desarrollo integrado: Eclipse 3.4

Un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés), es un programa compuesto por un conjunto de herramientas que proveen un marco de trabajo amigable para la mayoría de los lenguajes de programación tales como C++, Python, Java, C#, Delphi, PHP, entre otros, en favor de los programadores.

Eclipse es una colección de proyectos Open Source entre los cuales se encuentra un entorno de desarrollo integrado multiplataforma y distribuido bajo Licencia Publica de Eclipse y escrito con varios lenguajes de programación (Java, C, C++, JSP, etc.). Eclipse emplea módulos (en inglés *plugin*) para proporcionar toda su funcionalidad, a diferencia de otros entornos monolíticos donde las funcionalidades están todas incluidas, las necesite el usuario o no. Este mecanismo de módulos es una plataforma ligera para componentes de software.

Motor de inferencia

La mayoría de los motores de inferencia (MI) existentes en la actualidad están escritos en el lenguaje de programación Java. Entre los más conocidos podemos encontrar Jess, Weka y Drools. Casi todos estos MI utilizan, para la definición de sus reglas, el lenguaje RuleML⁷ (Rule Mark-up Language) basado en XML.

- **Jess**

⁶ Un servlet es un objeto que se ejecuta en un servidor o contenedor JEE, especialmente diseñado para ofrecer contenido dinámico desde un servidor web, generalmente HTML.

⁷ Es un lenguaje de marcas desarrollado para expresar tanto hacia delante (de abajo hacia arriba) y hacia atrás (de arriba hacia abajo) las reglas en XML para la deducción, la reescritura, y otras tareas de inferencia-transformacional.

Es un SBR que permite encadenamiento hacia adelante y hacia atrás. Además puede manipular y razonar directamente sobre objetos de Java. Se pueden crear objetos, llamar métodos, o ejecutar interfaces sin necesidad de compilación de código Java. Este MI no es GRATUITO, lo que dificulta su utilización.

- ***Weka***

Weka es una extensa colección de algoritmos de máquinas de conocimiento desarrollados por la universidad de Waikato (Nueva Zelanda), implementados en Java; útiles para ser aplicados sobre datos mediante las interfaces que ofrece o para embeberlos dentro de cualquier aplicación. Además Weka contiene las herramientas necesarias para realizar transformaciones sobre los datos, tareas de clasificación, regresión, clustering, asociación y visualización. Weka está diseñado como una herramienta orientada a la extensibilidad por lo que añadir nuevas funcionalidades es una tarea sencilla. Sin embargo, y pese a todas las cualidades que Weka posee, tiene un gran defecto y éste es la escasa documentación orientada al usuario que tiene junto a una usabilidad bastante pobre, lo que la hace una herramienta difícil de comprender y manejar sin información adicional. [10]

- ***Drools***

Drools es un completo Sistema de Administración de Reglas de Negocio (BRMS por sus siglas en inglés), con un motor de reglas basado en una adaptación orientada a objetos del algoritmo Rete⁸. Permite expresar de una forma más natural las reglas de negocio interactuando con los objetos de negocio. Provee separación de lógica (reglas) y datos (hechos). También provee soporte para la programación declarativa, y es lo suficientemente flexible para expresar la semántica del problema con un lenguaje específico de dominio (DSL por sus siglas en inglés). Drools cuenta con la implementación completa de la Java Rule Engine API (JSR-94)⁹.

Drools se divide en 4 módulos que hacen que vaya más allá del motor de reglas.

- Expert: motor de reglas, con soporte de definición de DSL.

⁸ Es un algoritmo de reconocimiento de patrones eficiente para implementar un sistema de producción de reglas.

⁹ Esta especificación define una API Java en tiempo de ejecución para motores de reglas.

- Guvnor: es el BRMS, sistema en el que se almacenan las reglas y que permite explorarlo vía web y desde Eclipse.
- Flow: es un módulo WorkFlow que permite añadir a las reglas un flujo de ejecución de estas, además permite integración de tareas manuales, definición visual, control de los procesos en ejecución, de manera sencilla y potente.
- Fusion: trata los eventos generados desde las reglas y los flujos.

Drools utiliza el algoritmo Rete, ya que es un rápido igualador de patrones que obtiene su velocidad del almacenamiento de información sobre las reglas de una red. En lugar de tener que igualar los hechos con todas las reglas en cualquier ciclo-acto reconocimiento, el algoritmo Rete sólo busca los cambios en las correspondencias de cada ciclo. Esto acelera en gran medida la correspondencia de los hechos con los antecedentes, porque los datos estáticos que no cambiaron de un ciclo a otro pueden pasarse por alto.

En la presente investigación se hará uso del motor de reglas Drools por ser libre y por todas las razones antes expuestas.

Módulo Drools para Eclipse

Drools ofrece un entorno completo de desarrollo, a través de módulos para Eclipse que permiten:

- Definir visualmente las reglas de producción, permitiendo crear archivos con extensión .drl.
- Crear DSL, lenguaje de reglas enfocado al negocio concreto.
- Definición de flujos de forma visual.
- Depuración de las reglas.
- Editor guiado de reglas.

Servicio Web

Un **servicio web** es un conjunto de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones. Distintas aplicaciones de software desarrolladas en diferentes lenguajes de programación, y ejecutadas sobre cualquier plataforma, pueden usar los servicios web para intercambiar datos. Entre algunas de las ventajas de su uso se pueden destacar las siguientes:

interoperabilidad entre aplicaciones independientemente de sus propiedades o de las plataformas sobre las que se instalen; fomentan los estándares y protocolos basados en texto, que hacen más fácil acceder a su contenido y entender su funcionamiento. [11]

La librería que se usará en la implementación del servicio web para el SBC y el SBR es Apache Axis2. Apache Axis2 se basa en Apache AXIOM, un nuevo modelo de objeto de alto rendimiento y de extracción XML. Las principales características que ofrece son los siguientes:

- Velocidad: Axis2 utiliza su propio modelo de objetos y StAX (Streaming API para XML) análisis para lograr una velocidad significativamente mayor que las versiones anteriores de Apache Axis.
- AXIOM: Axis2 viene con su propio modelo de objetos de peso ligero, AXIOM, para el procesamiento de mensajes, el cual es extensible, de alto rendimiento y conveniente para el desarrollador.
- Soporte del MEP: Axis2 es ahora muy útil con la flexibilidad de soporte a Patrones de Intercambio de Mensajes (MEP por sus siglas en Inglés), con soporte interno para Patrones de Intercambio básicos definidos en WSDL¹⁰ 2.0.
- Flexibilidad: La arquitectura Axis2 da la completa libertad al desarrollador de insertar extensiones en el motor para un procesamiento de encabezado personalizado, gestión del sistema, y cualquier otra cosa que se pueda imaginar.
- Estabilidad: Axis2 define un conjunto de interfaces publicadas que cambian de forma relativamente lenta en comparación con el resto del Axis.
- Soporte WSDL: Axis2 da soporte al Lenguaje de Descripción de Servicios Web (WSDL), versión 1.1 y 2.0, que permite crear fácilmente matrices para acceder a servicios remotos, y también para exportar automáticamente las descripciones de los servicios implementados de Axis2. [12]

¹⁰ Son las siglas de Web Services Description Language, un formato XML que se utiliza para describir servicios Web.

Conclusiones parciales

El sistema alasLIPO v2.0 no evoluciona en sus respuestas a partir de los datos que posee y en la adquisición de nuevos conocimientos; razón por la cual se encuentra limitado de aprendizaje para emitir diagnóstico y tratamiento. Se realizó un estudio del arte, que permitió dejar definido la posición de los autores en cuanto a la necesidad de construir un Sistema Experto para contribuir a la obtención del diagnóstico y el tratamiento médico de pacientes dislipidémicos, utilizando las técnicas de la Inteligencia Artificial Sistema Basado en Reglas y Sistema Basado en Casos. Se realizó un estudio de varias metodologías y herramientas para seleccionar las apropiadas a las características de nuestro sistema. Como metodología se seleccionó BGM y las herramientas que se seleccionaron para el desarrollo del Sistema Experto son: Entorno de Desarrollo: Eclipse 3.4 con el módulo para Drools, Lenguaje de Programación: PHP 5.1.6, Servidor Web: Apache 2.2 y Apache Tomcat 6.0.30, Motor de Inferencia: Drools 5.0.

CAPÍTULO 2: IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO

Introducción

En el capítulo se pone en práctica la metodología para desarrollar un Sistema Experto. Brinda un ejemplo de la forma de representar el conocimiento y las fuentes de donde fue extraído. Se expone la arquitectura del Sistema Experto para el diagnóstico y tratamiento médico de pacientes dislipidémicos, y el diseño de la base de datos propuesto para el SE.

2.1 Adquisición del conocimiento

La adquisición del conocimiento constituye la fase donde intervienen ingenieros capacitados en obtener y codificar el conocimiento adquirido del experto. Se conoce como experto la persona competente en un área determinada del conocimiento que cuenta con un largo período de preparación y práctica.

El ingeniero del conocimiento utiliza diferentes herramientas y métodos para obtener el conocimiento entre los cuales se encuentra la entrevista, la encuesta y la observación. En la presente investigación se utilizó la técnica entrevista y a través de encuentros formales con el experto se identificaron las reglas en lenguaje natural. (Ver Anexo 1).

2.2 Arquitectura

El sistema alasLIPO v2.0, antecedente de esta investigación, establece la utilización del patrón de arquitectura Modelo Vista Controlador (MVC), debido a que fue desarrollado utilizando el framework symfony. En la presente investigación se hará uso de la misma arquitectura con algunas modificaciones (utilización de servicios web), debido al uso de técnicas de IA, como se muestra en la Figura 2.

El usuario realiza la petición a través de la interfaz, definida en alasLIPO v2.0. La misma es recepcionada por el controlador, el cual se encarga de realizar las peticiones al modelo para obtener los datos necesarios a enviar al SBR y SBC a través de los servicios web. La utilización de servicios web le brinda una mayor flexibilidad a alasLIPO v2.0, ya que en caso de cualquier cambio en el SE no afectaría el correcto funcionamiento de alasLIPO v2.0 o viceversa. También se hace necesario el uso de servicios web para su integración debido a que el SE será implementado en Java y alasLIPO v2.0 está desarrollado en PHP.

El SBR y el SBC procesarán la petición y mostrará el diagnóstico y tratamiento generado al usuario a través de la vista.

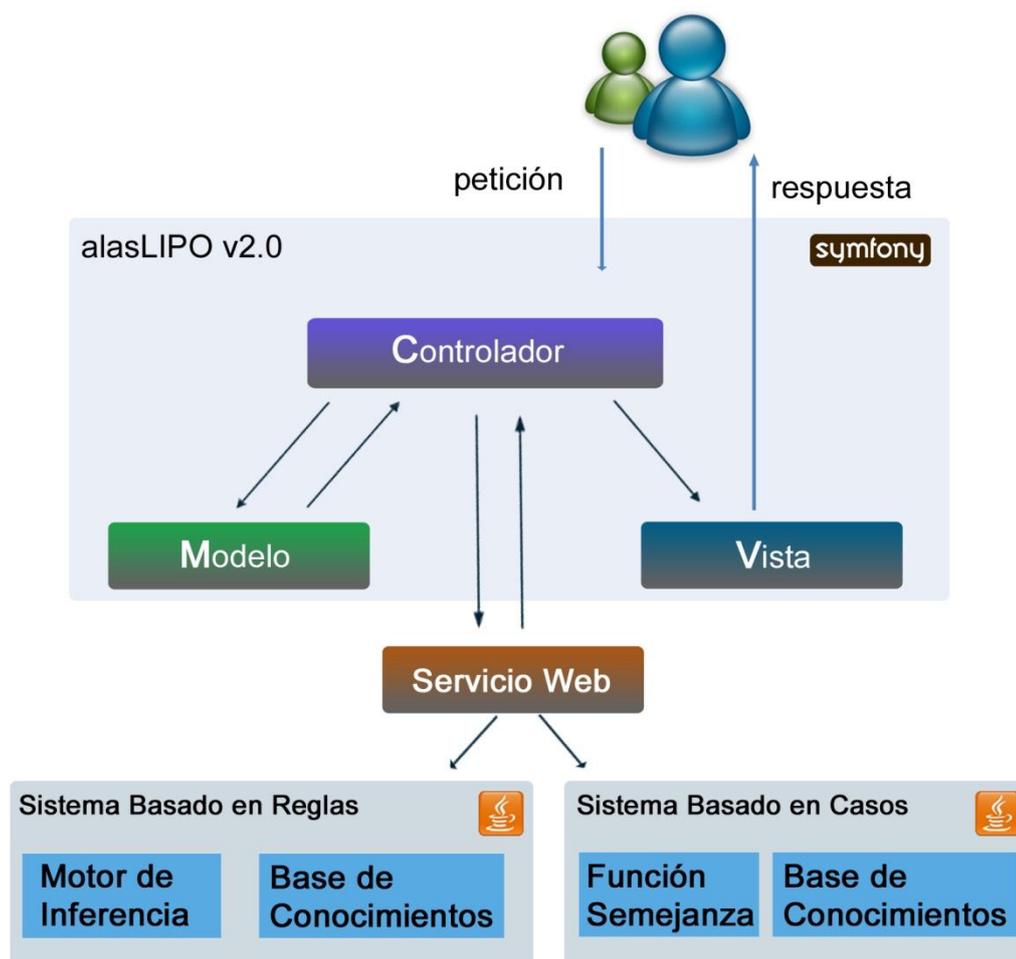


Figura 2. Arquitectura

Para la implementación de esta solución fue necesario hacer algunas modificaciones a la base de datos de alásLIPO v2.0 (ver Anexo 2). En la Figura 3 se muestran las tablas de la base de datos que fueron añadidas o modificadas.

Tabla **consulta**: se almacenan los datos correspondientes a las consultas de los pacientes.

Tabla **diagnostico**, **diagnostico_primera**, **diagnostico_evolutiva**: se almacenan los resultados asociados a los diagnósticos generados.

Tabla **casos**: almacena los valores y el tratamiento de cada caso debido a que representa la base de conocimientos del SBC.

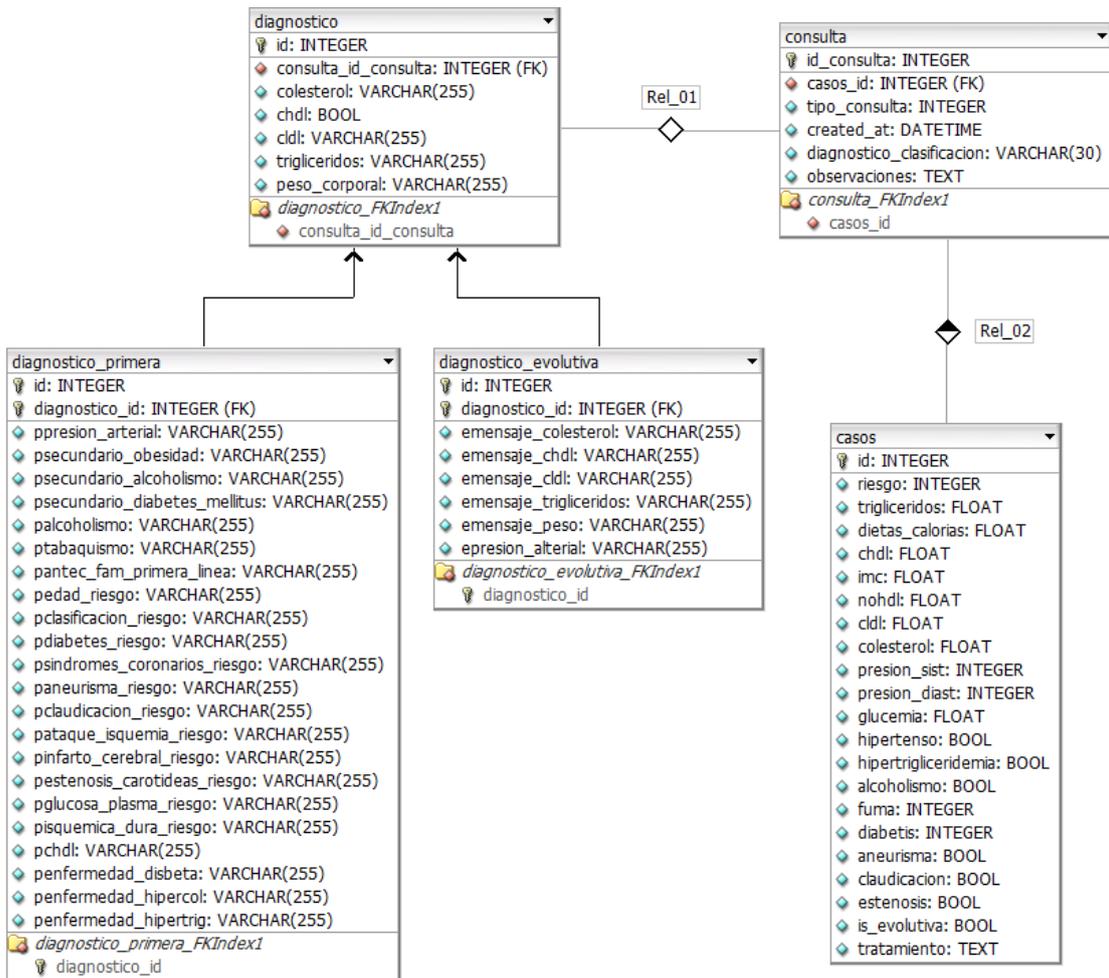


Figura 3. Modelo de datos

2.2.1 Diagrama de componentes

Los diagramas de componentes representan cómo un sistema es dividido en componentes y muestra las dependencias entre estos. Los componentes físicos incluyen archivos, cabeceras, librerías compartidas, módulos, ejecutables, o paquetes. Pueden ser usados para modelar y documentar cualquier arquitectura de sistema. Muestra la organización y las dependencias entre un conjunto de componentes. Uno de los usos principales es que puede servir para ver qué componentes pueden compartirse entre sistemas o entre diferentes partes de un sistema. A continuación se muestra el diagrama de componentes correspondiente al SBR y SBC.

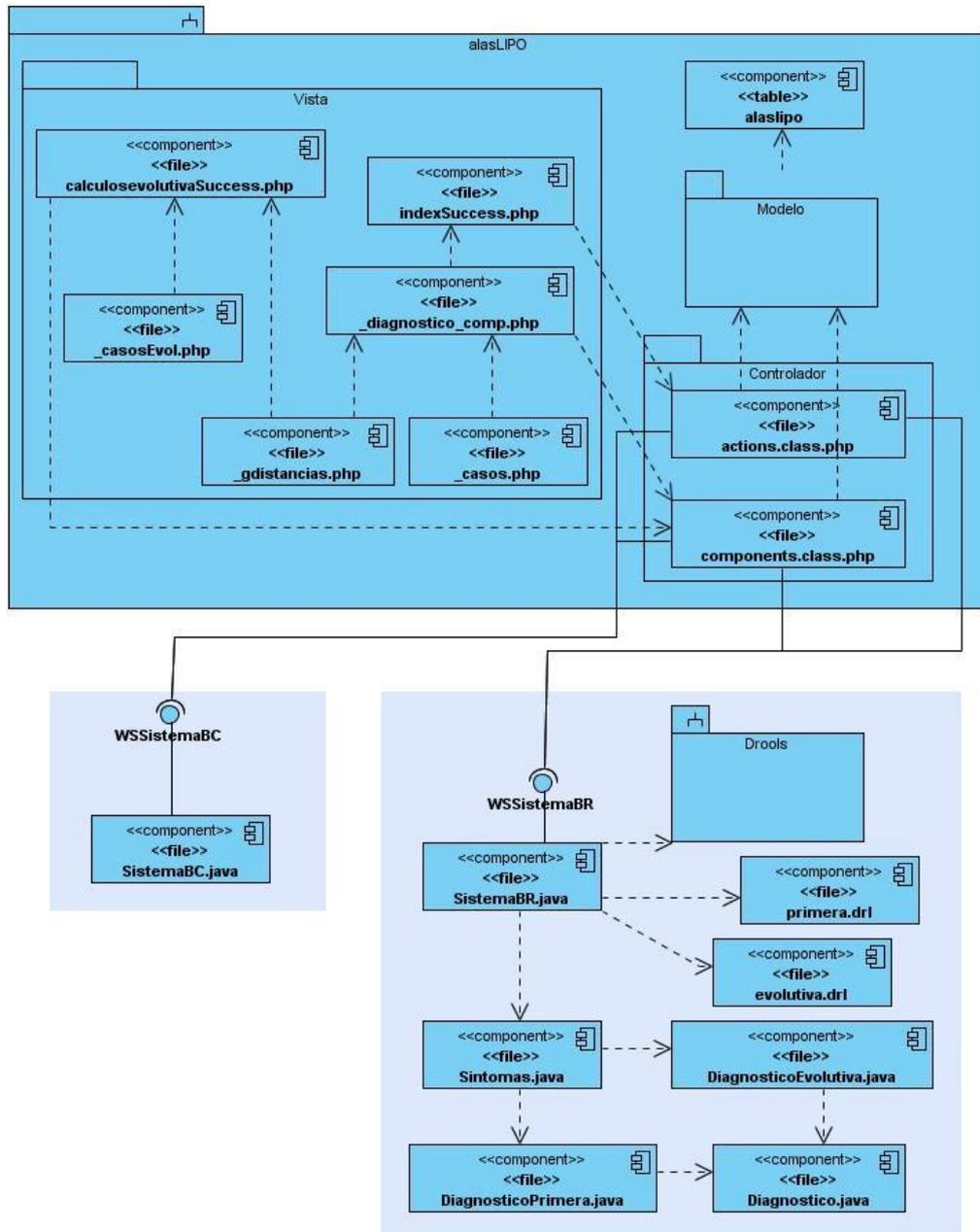


Figura 4. Diagrama de componentes

2.3 Solución propuesta para el Sistema Basado en Reglas

Los SE basan parte de su eficacia en la rapidez con que se puede llegar a una solución sin importar que el sistema cuente con gran cantidad de reglas, utilizando un algoritmo que conozca todas las reglas y pueda aplicar cualquiera sin tener que probar cada una de forma secuencial. Este problema encuentra una solución en el algoritmo Rete, desarrollado en 1979 por Charles L. El algoritmo Rete es

un rápido igualador de patrones que obtiene su velocidad de almacenamiento de información sobre las reglas de una red. En lugar de tener que igualar la acción con todas las reglas en cualquier ciclo-acto de reconocimiento, el algoritmo Rete sólo busca los cambios en las correspondencias de cada ciclo. Esto acelera en gran medida la correspondencia de las acciones con las condiciones, porque los datos estáticos que no cambiaron de un ciclo a otro pueden pasarse por alto. Los algoritmos de igualado rápido como Rete completaron las bases para la aplicación práctica de los Sistemas Expertos. [13]

Después de un análisis por parte de los ingenieros del conocimiento, de las diferentes formas de representación del conocimiento, se determinó utilizar las reglas de producción para emitir el diagnóstico médico de pacientes dislipidémicos. El formato de las reglas se muestra en la siguiente figura:

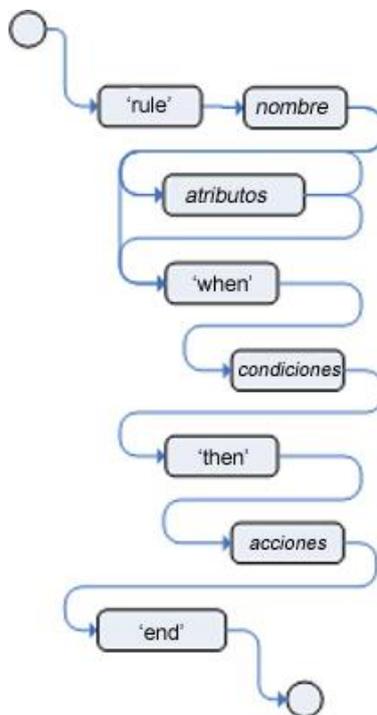


Figura 5. Regla de producción

Cada regla comienza con la palabra reservada **'rule'** y se identifica con un nombre "nombre", seguido de los "atributos", que pueden o no estar presentes. A continuación le siguen las "condiciones", dentro de la parte **'when'**, y luego las "acciones" en la parte **'then'**, terminando con la palabra reservada **'end'**.

Ejemplo de regla de producción:

```

rule "R1 Estenosis"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas(erealizados[0]==1&&(estenosisIzquierda>50|estenosisDerecha>50 ))
  then
    s.setEstenosis(true);
  update(s);
end

```

En el Anexo 3 se muestran las reglas de producción en el lenguaje RuleML.

Ejemplo de código fuente para determinar el diagnóstico de la primera consulta:

```

public String[] DiagnosticoPrimera(double colesterol, double chdl, double cldl,
double trigliceridos, double imc, boolean alcoholismo, int fumador, int pas, int
pad, int hipertension, boolean infarto_padre, boolean infarto_madre, int edad, int
sexo, int tipo_diabetes, boolean angina_estable, boolean angina_inestable, boolean
bypass, boolean angioplastia, boolean otros_coronarios, boolean infarto_miocardio,
boolean aneurisma, boolean claudicacion, boolean ataque_transitorio_isquemia, int
factor_riesgo, double glucemia, boolean infarto_cerebral, boolean
xantomas_tuberosos, boolean tendones_aquiles, boolean xantomas_mano_derecha, boolean
xantomas_mano_izquierda, boolean xantomas_pie_derecho, boolean
xantomas_pie_izquierdo, boolean xantomas_pliegues, boolean
xantomas_cutaneos_eruptivos, int estenosis_izquierda, int estenosis_derecha, int[]
erealizados){

    String[] dprimera = new String[27];

    Sintomas s = new Sintomas(colesterol, chdl, cldl, trigliceridos, imc,
alcoholismo, fumador, pas, pad, hipertension, infarto_padre, infarto_madre, edad,
sexo, tipo_diabetes, angina_estable, angina_inestable, bypass, angioplastia,
otros_coronarios, infarto_miocardio, aneurisma, claudicacion,
ataque_transitorio_isquemia, factor_riesgo, glucemia, infarto_cerebral,
xantomas_tuberosos, tendones_aquiles, xantomas_mano_derecha,
xantomas_mano_izquierda, xantomas_pie_derecho, xantomas_pie_izquierdo,
xantomas_pliegues, xantomas_cutaneos_eruptivos, estenosis_izquierda,
estenosis_derecha, erealizados);
    try {
        KnowledgeBase kbase = readKnowledgeBasePrimera();
        StatefulKnowledgeSession ksession = kbase.newStatefulKnowledgeSession();
        ksession.insert(s);
        ksession.fireAllRules();
    } catch (Throwable t) {
        t.printStackTrace();
    }

    DiagnosticoPrimera dp = s.getDPrimera();
    dprimera[0] = dp.getColesterol();
    dprimera[1] = dp.getChdl();
    dprimera[2] = dp.getCldl();
    dprimera[3] = dp.getTrigliceridos();
    dprimera[4] = dp.getPesoCorporal();
    dprimera[5] = dp.getPPresionArterial();
    dprimera[6] = dp.getPSecundarioObesidad();

```

```

dprimera[7] = dp.getPSecundarioAlcoholismo();
dprimera[8] = dp.getPSecundarioDiabetesMellitus();
dprimera[9] = dp.getPALcoholismo();
dprimera[10] = dp.getPTabaquismo();
dprimera[11] = dp.getPAntFamPrimeraLinea();
dprimera[12] = dp.getPEdadRiesgo();
dprimera[13] = dp.getPClasificacionRiesgo();
dprimera[14] = dp.getPDiabetesRiesgo();
dprimera[15] = dp.getPSindromesCoronariosRiesgo();
dprimera[16] = dp.getPAneurismaRiesgo();
dprimera[17] = dp.getPClaudicacionRiesgo();
dprimera[18] = dp.getPAtaqueIsquemiaRiesgo();
dprimera[19] = dp.getPInfartoCerebralRiesgo();
dprimera[20] = dp.getPEstenosisCarotideasRiesgo();
dprimera[21] = dp.getPGlucosaPlasmaRiesgo();
dprimera[22] = dp.getPIsquemiaDuraRiesgo();
dprimera[23] = dp.getPChdl();
dprimera[24] = dp.getPEnfermedadDisbeta();
dprimera[25] = dp.getPEnfermedadHipercol();
dprimera[26] = dp.getPEnfermedadHipertrig();

return dprimera;
}
private static KnowledgeBase readKnowledgeBasePrimera() throws Exception {
    KnowledgeBuilder kbuilder = KnowledgeBuilderFactory.newKnowledgeBuilder();
    kbuilder.add(ResourceFactory.newClassPathResource("primera.drl"),
ResourceType.DRL);
    KnowledgeBuilderErrors errors = kbuilder.getErrors();
    if (errors.size() > 0) {
        for (KnowledgeBuilderError error: errors) {
            System.err.println(error);
        }
        throw new IllegalArgumentException("No se puede interpretar el
conocimiento.");
    }
    KnowledgeBase kbase = KnowledgeBaseFactory.newKnowledgeBase();
    kbase.addKnowledgePackages(kbuilder.getKnowledgePackages());
    return kbase;
}

```

2.4 Solución propuesta para el Sistema Basado en Casos

Un caso contiene información útil en un contexto concreto; el problema es identificar los atributos que caracterizan al contexto y detectar cuando dos contextos son similares, para así reutilizar esa información en la solución a nuevos casos.

Los SBC se descomponen en cuatro fases que se ejecutan ante la aparición de una nueva situación:

1. **Recuperar** el caso o casos pasados más similares a la nueva situación presentada.

2. **Reutilizar** la información y conocimiento de este caso o casos recuperados para resolver el nuevo problema.
3. **Revisar** la solución propuesta.
4. **Recordar** o almacenar la nueva solución una vez ha sido confirmada o validada de una manera que pueda ser útil para resolver problemas futuros.

El objetivo de la **recuperación** de casos es encontrar un caso o un pequeño conjunto de casos en la librería de caso que contengan una solución útil para el problema o la situación actual.

Para realizar esa recuperación, es necesario identificar la descripción del problema actual para analizarlo con los problemas almacenados en la base de casos, aplicando una medida de similitud. Varios enfoques diferentes son aplicados para la realización del proceso de correspondencia de casos de la librería para recuperar un conjunto de casos útiles.

El caso adecuado es recuperado de la base de casos, y su solución es objeto de una posible reutilización para la solución del problema actual. La **reutilización** consiste principalmente en la adaptación de la solución del caso anterior al caso actual. Las técnicas tratadas en la reutilización de casos intentan resolver cuales aspectos de la situación deben ser adaptados, qué modificaciones deben ser realizadas para esta adaptación y como controlar este proceso.

El caso recuperado puede no satisfacer completamente los requisitos dados por la nueva situación, se puede tornar necesario adaptar la solución descrita en el caso recuperado antes de la aplicación al caso actual. En la mayoría de las circunstancias y dominios será suficiente copiar la solución del caso encontrado para el actual (si la BC es suficiente) y se aplique esta solución o se adapte el caso manualmente.

Cuando la solución de un caso generado en la fase de reutilización no es correcta, surge una oportunidad para el aprendizaje. Esto ocurre en la fase del SBC llamada **revisión**.

La revisión consiste de dos tareas:

- Avalar cuidadosamente la solución generada por la reutilización. Si fuera considerada como correcta, aprende y continúa con la retención del nuevo caso en la base de casos.
- En caso contrario, reparar la solución utilizando conocimiento específico sobre el dominio de aplicación o información suministrada por el usuario.

Solo una minoría de los SBC implementa el proceso de revisión. Si la solución generada en las fases anteriores no es correcta, aun así puede “aprender de los errores” y repararla. Es decir, la reparación de una solución es una adaptación llevada a cabo cuando se sabe que la solución no es válida. Hay que tener capacidad para evaluar la corrección de las soluciones, ya sea porque la solución se pueda probar de alguna forma, por ejemplo aplicándola en el sistema real o en algún tipo de modelo, o porque un agente externo al sistema (el usuario) la señale como correcta o errónea.

Recordar es el proceso de incorporación del caso al conocimiento ya existente. El objetivo de retener continuamente el conocimiento cada vez que un nuevo problema es resuelto, es actualizar y extender la base de casos constantemente. Esto permite a un SBC continuamente incrementar su conocimiento.

La eficiencia de un SBC se puede degradar cuando el número de casos crece excesivamente y, por tanto, se debe evitar incluir casos que no aporten información nueva al sistema.

2.4.1 Recuperación de los casos

Para el proceso de recuperación de casos se propone utilizar una de las siguientes funciones de semejanza para determinar la distancia entre casos:

Función Heterogénea. [14]

$$f(w_i, D(x_i, y_i)) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i * D(x_i, y_i)}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Siendo W_i el nivel de importancia o significación de cada atributo en el vector de representación del caso. Esto permite dar mayor importancia a los atributos que se consideren más o menos significativos.

Para los atributos numéricos se aplicará la función de distancia euclidiana y en otros casos el valor de la distancia será cero si son iguales, de lo contrario 1.

$D(x_i, y_i) = \sqrt{(x_i - y_i)^2}$ para atributos numéricos.

$$D(x_i, y_i) = \begin{cases} 0, & x_i = y_i \\ 1, & x_i \neq y_i \end{cases} \text{ en otro caso.}$$

A continuación se describe el algoritmo para la selección de casos semejantes

Entradas:

- $\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ vector que contiene los n atributos del nuevo caso.
- $\bar{T} = (\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_n)$ lista de los t casos.
- $\bar{W} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ vector con los pesos (importancia) relativos de cada atributo. Los mismos serán predefinidos por el experto (médico).

Salida:

- $\bar{S} = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ lista de los casos más similares.

Pasos:

Para cada atributo x_i de \bar{X} y en dependencia del tipo de dato que lo caracterice,

1. Para cada caso \bar{Y}_i de \bar{T} calcular la distancia $D(x_i, y_i)$ para cada atributo de \bar{Y}_i
2. Con el peso w_i del atributo x_i calcular $w_i * D(x_i, y_i)$
3. Repetir los pasos 1 y 2 hasta completar los n atributos de cada caso.
4. Guardar en la lista \bar{S} el valor de la distancia entre \bar{X} y cada \bar{Y}_i calculado y la caracterización de \bar{Y}_i .
5. Ordenar la lista de forma creciente según la distancia calculada y obtener solo los primeros elementos que la componen.
6. Seleccionar el caso más semejante.
7. Si es necesario el usuario (médico) ajustará los parámetros que considere. Si ocurre una modificación debe incluirse como un nuevo caso en la base de conocimientos.

Función de Argelio. [14]

Para este caso la función propuesta define la distancia como:

$$D(x, y) = \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{1}{1 + d(x_i, y_i)}\right)$$

Donde en dependencia del tipo de variables, se tiene para variables cualitativas:

$$d_i(x_i, y_i) = \begin{cases} 0, & x_i = y_i \\ 1, & x_i \neq y_i \end{cases}$$

Y para variables numéricas:

$$d_i(x_i, y_i) = \begin{cases} \frac{|x_i - y_i|}{\text{rango}_i}, & \text{si son conocidos los valores de } x_i \text{ e } y_i \\ 1, & \text{si la información es desconocida} \end{cases}$$

Ejemplo de código fuente de la función de semejanza Heterogénea:

```

public float[][] Heterogenea(float[] casonuevo, float[][] casorecuperados, float[]
peso) {
    int sumapeso = 0;
    for (int i = 0; i < peso.length; i++) {
        sumapeso += peso[i];
    }

    distancias = new float[casorecuperados.length][2];

    if (casorecuperados.length > 50) {
        id = new float[50][2];
    } else {
        id = new float[casorecuperados.length][2];
    }

    for (int i = 0; i < casorecuperados.length; i++) {
        float dist_peso = 0;
        distancias[i][0] = casorecuperados[i][0];

        if (casonuevo[0] != casorecuperados[i][1])
            dist_peso += peso[0];

        for (int j = 2; j < casorecuperados[i].length && j < 12; j++) {
            dist_peso += DistanciaManhattan(casonuevo[j - 1],
casorecuperados[i][j]) * peso[j - 1];
        }

        if (casorecuperados[0].length > 11) {
            for (int j = 12; j < casorecuperados[i].length; j++) {
                if (casonuevo[j - 1] != casorecuperados[i][j])
                    dist_peso += peso[j - 1];
            }
        }
        distancias[i][1] = dist_peso / sumapeso;
    }
    Ordenar();
    return id;
}

```

Ejemplo de código fuente de las funciones de distancia Argelio y Manhattan:

```

private float DistanciaArgelio(float distancia) {
    return 1 - (1 / (1 + distancia));
}

private float DistanciaManhattan(float a, float b) {
    return Math.abs(a - b);
}

```

Conclusiones parciales

En el presente capítulo se desarrolló la metodología para la construcción de un Sistema Experto. Se explicaron las técnicas de adquisición del conocimiento así como la forma en que está representado el

mismo. Se hace una descripción del algoritmo utilizado para la recuperación de los casos en el SBC. También se exponen las modificaciones hechas a la base de datos necesarias para la implementación del SBR y SBC, así como la arquitectura utilizada. Además se ponen ejemplos de código fuente de las principales funcionalidades.

CAPÍTULO 3: VALIDACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO

Introducción

En este capítulo se exponen los aspectos esenciales de la validación y verificación de los Sistemas Expertos. Mediante casos de prueba se comparan los resultados obtenidos aplicando las técnicas de IA con los obtenidos mediante los algoritmos tradicionales. Además, estos resultados son comprobados con el experto humano en dislipoproteinemias.

3.1 Validación de los Sistemas Expertos

El término calidad comprende distintos factores, tales como la fiabilidad, robustez, precisión, eficiencia, facilidad de uso y otras. A la hora de evaluar la calidad de un SE, se afronta, muy a menudo, la ausencia de una especificación de requisitos completa y precisa, que marque las pautas de cómo debe ser el producto final. Esto es debido a que los problemas que se tratan de resolver con SE, suelen ser problemas difícilmente estructurales en las primeras etapas del desarrollo. La estructura de uno de estos problemas se va conociendo sobre la marcha, al mismo tiempo que se va conociendo la estructura de la solución. De ahí que el ciclo de vida en cascada que se utiliza a menudo para el software convencional no sea adecuado para el desarrollo de un SE. Éste se plantea, más bien, de una manera evolutiva.

Para verificar el correcto funcionamiento de la aplicación se utilizaron juegos de datos como entrada, conociéndose las salidas definidas en las reglas del conocimiento adquirido del experto. Se diseñaron casos de prueba, donde con los mismos valores de entrada se comparan las salidas de cada regla contra los que muestra el Sistema Basado en Reglas; de manera tal que se prueban cada uno de los posibles diagnósticos que puede generar el mismo.

A continuación se muestran las pruebas aplicadas.

3.2 Casos de prueba

3.2.1 Diagnóstico de la primera consulta

| No | Entrada | Resultado alasLIPO |
|---|---|---|
| 1 | Alteraciones de las lipoproteínas: | |
| | Colesterol: 292 mg/dL Triglicéridos: 342 mm/Hg Ingestión de bebidas alcohólicas: Si Diabetes mellitus: Tipo 1 cHDL: 34 mg/dL Talla: 1.74 m Peso: 98 kgs | <ul style="list-style-type: none"> - Colesterol moderadamente alto - El cHDL por debajo de lo normal - El valor de los triglicéridos es elevado. Puede ser secundario por: <ul style="list-style-type: none"> • La obesidad. • El alcoholismo. • La diabetes mellitus. |
| | Otros diagnósticos: | |
| | Ingestión de bebidas alcohólicas: Si Talla: 1.74 m Peso: 98 kgs | <ul style="list-style-type: none"> - Peso corporal con criterios de obesidad (>30 Kgs/m²) - Alcoholismo |
| | Los factores de riesgo mayores son: | |
| | Edad: 56 años Sexo: M cHDL: 34 mg/dL | <ul style="list-style-type: none"> - Colesterol de alta densidad por debajo de 40 mg/dL - La edad constituye un riesgo cardiovascular |
| | El riesgo de cardiopatía isquémica "dura" a 10 años es elevado por: | |
| | Diabetes mellitus: Tipo 1 | <ul style="list-style-type: none"> - Diabetes mellitus |
| | Debe considerarse alguno de los tipos de dislipoproteinemias siguientes: | |
| | Edad: 56 años Sexo: M cLDL: 190 mg/dL | <ul style="list-style-type: none"> - Hipertrigliceridemia familiar |
| Resultado SBR | | |
| <p>Diagnóstico</p> <p>Alteraciones de las lipoproteínas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colesterol elevado - El cHDL por debajo de lo normal - El cLDL moderadamente elevado - El valor de los triglicéridos es elevado <p>Puede ser secundario por:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La obesidad - El alcoholismo - La diabetes mellitus <p>Otros diagnósticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Peso corporal con criterios de obesidad (mayor que 30 Kg/cm²) - Alcoholismo <p>Los factores de riesgo mayores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colesterol de alta densidad por debajo de 40 mg/dL - La edad constituye un riesgo cardiovascular <p>El riesgo de cardiopatía isquémica "dura" a 10 años es elevado por:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diabetes mellitus <p>Debe considerarse alguno de los tipos de dislipoproteinemias siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hipertrigliceridemia familiar | | |
| No | Entrada | Resultado alasLIPO |
| 2 | Alteraciones de las lipoproteínas: | |
| | Colesterol: 248 mg/dL | <ul style="list-style-type: none"> - Colesterol elevado |

| | | | | | | |
|---|---|--------------------|--|--|--|--|
| cLDL: 190 mg/dL Triglicéridos: 114 mm/Hg Fumador: Si | - El cLDL moderadamente elevado. | | | | | |
| Otros diagnósticos: | | | | | | |
| Talla: 1.60 m Peso: 74 kgs | - Peso corporal con criterios de sobrepeso (25.0 - 29.9 Kgs/m ²). | | | | | |
| Los factores de riesgo mayores son: | | | | | | |
| Edad: 43 años Sexo: F Fumador: Si | - Tabaquismo | | | | | |
| El riesgo de cardiopatía isquémica "dura" a 10 años es bajo. | | | | | | |
| Resultado SBR | | | | | | |
| <table border="1" style="background-color: #e0f0e0; width: 100%;"> <tr> <td style="background-color: #c0e0c0;">Diagnóstico</td> </tr> <tr> <td>Alteraciones de las lipoproteínas: - Colesterol elevado - El cLDL moderadamente elevado</td> </tr> <tr> <td>Otros diagnósticos: - Peso corporal con criterios de sobrepeso (25.0 - 29.9 Kg/cm²)</td> </tr> <tr> <td>Los factores de riesgo mayores son: - Tabaquismo</td> </tr> <tr> <td>El riesgo de cardiopatía isquémica DURA a 10 años es bajo</td> </tr> </table> | | Diagnóstico | Alteraciones de las lipoproteínas: - Colesterol elevado - El cLDL moderadamente elevado | Otros diagnósticos: - Peso corporal con criterios de sobrepeso (25.0 - 29.9 Kg/cm ²) | Los factores de riesgo mayores son: - Tabaquismo | El riesgo de cardiopatía isquémica DURA a 10 años es bajo |
| Diagnóstico | | | | | | |
| Alteraciones de las lipoproteínas: - Colesterol elevado - El cLDL moderadamente elevado | | | | | | |
| Otros diagnósticos: - Peso corporal con criterios de sobrepeso (25.0 - 29.9 Kg/cm ²) | | | | | | |
| Los factores de riesgo mayores son: - Tabaquismo | | | | | | |
| El riesgo de cardiopatía isquémica DURA a 10 años es bajo | | | | | | |

| No | Entrada | Resultado alasLIPO |
|----------------------|---|--|
| 3 | Alteraciones de las lipoproteínas: | |
| | Colesterol: 260 mg/dL cLDL: 182 mg/dL Triglicéridos: 178 mm/Hg Talla: 1.59 m Peso: 74 kgs | - Colesterol elevado - El cLDL moderadamente elevado. - El valor de los triglicéridos es moderadamente alto. Puede ser secundario por: <ul style="list-style-type: none"> • La obesidad |
| | Otros diagnósticos: | |
| | Talla: 1.59 m Peso: 74 kgs | - Peso corporal con criterios de sobrepeso (25.0 - 29.9 Kgs/m ²). |
| | Los factores de riesgo mayores son: | |
| | Edad: 58 años Sexo: F | - La edad del paciente constituye un riesgo cardiovascular |
| | El riesgo de cardiopatía isquémica "dura" a 10 años es elevado por: | |
| | % de estenosis izquierdo: 60% % de estenosis derecho: 60% Glucemia: 19.6 | - Más del 50% de estenosis carotidea - Glucosa en el plasma elevado |
| | Debe considerarse alguno de los tipos de dislipoproteinemias siguientes: | |
| | Edad: 58 años Sexo: F cLDL: 182 mg/dL | - Hipertrigliceridemia familiar |
| Resultado SBR | | |

| |
|--|
| <p>Diagnóstico</p> <p>Alteraciones de las lipoproteínas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colesterol elevado - El cLDL moderadamente elevado - El valor de los triglicéridos es moderadamente alto <p>Puede ser secundario por:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La obesidad <p>Otros diagnósticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Peso corporal con criterios de sobrepeso (25.0 - 29.9 Kg/cm²) <p>Los factores de riesgo mayores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La edad constituye un riesgo cardiovascular <p>El riesgo de cardiopatía isquémica "dura" a 10 años es elevado por:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Más del 50% de estenosis carotídeas - Glucosa en el plasma elevada <p>Debe considerarse alguno de los tipos de dislipoproteinemias siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hipertrigliceridemia familiar |
|--|

3.2.2 Diagnóstico de la consulta evolutiva

| No | Entrada | Resultado alasLIPO |
|----|---|---|
| 1 | Los factores de riesgo cardiovascular que presenta son: | Resultado SBR |
| | Colesterol: 295 mg/dL Triglicéridos: 300 mm/Hg cHDL: 40 mg/dL cLDL: 105 mg/dL Peso: 90 kgs PAS: 120 mm/Hg PAD: 80 mm/Hg | <ul style="list-style-type: none"> - El colesterol elevado. Ha aumentado desde la última consulta. - El cLDL moderadamente elevado. Ha disminuido desde la última consulta. - El valor de los triglicéridos es elevado. Ha disminuido desde la última consulta. - Peso Corporal con criterios de obesidad o sobrepeso (≥ 25). Ha disminuido desde la última consulta. |
| | <p>Diagnóstico</p> <p>Los factores de riesgo cardiovascular que presenta son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colesterol elevado. Ha aumentado desde la última consulta. - El cLDL moderadamente elevado. Ha disminuido desde la última consulta. - El valor de los triglicéridos es elevado. Ha disminuido desde la última consulta. - Peso corporal con criterios de obesidad o sobrepeso (mayor o igual a 25.0 Kg/cm²). Ha aumentado desde la última consulta. | |

| No | Entrada | Resultado alasLIPO |
|----|---|---|
| 2 | Los factores de riesgo cardiovascular que presenta son: | Resultado SBR |
| | Colesterol: 292 mg/dL Triglicéridos: 100 mm/Hg cHDL: 25 mg/dL cLDL: 217 mg/dL Peso: 75 kgs PAS: 120 mm/Hg PAD: 80 mm/Hg | <ul style="list-style-type: none"> - El colesterol elevado. Ha aumentado desde la última consulta. - El cHDL por debajo de lo normal. Ha disminuido desde la última consulta. - El cLDL elevado. Ha aumentado desde la última consulta. - Peso Corporal con criterios de obesidad o sobrepeso (≥ 25). Ha disminuido desde la última consulta. |

Resultado SBR**Diagnóstico****Los factores de riesgo cardiovascular que presenta son:**

- Colesterol elevado. Ha aumentado desde la última consulta.
- El cHDL por debajo de lo normal. Ha disminuido desde la última consulta.
- El cLDL es elevado. Ha aumentado desde la última consulta.
- Peso corporal con criterios de obesidad o sobrepeso (mayor o igual a 25.0 Kg/cm²). Ha aumentado desde la última consulta.

| No | Entrada | Resultado alasLIPO |
|----|--|--|
| 3 | Los factores de riesgo cardiovascular que presenta son: Colesterol: 250 mg/dL Triglicéridos: 200 mm/Hg cHDL: 39 mg/dL cLDL: 111 mg/dL Peso: 70 kgs PAS: 150 mm/Hg PAD: 100 mm/Hg | <ul style="list-style-type: none"> - Colesterol elevado. Ha disminuido desde la última consulta. - El cHDL por debajo de lo normal. Ha disminuido desde la última consulta. - El cLDL moderadamente elevado. Ha disminuido desde la última consulta. - El valor de los triglicéridos es moderadamente alto. Ha aumentado desde la última consulta. - Peso corporal con criterios de obesidad o sobrepeso (mayor o igual a 25.0 Kg/cm²). Ha disminuido desde la última consulta. - La presión arterial por encima de lo establecido. |

Resultado SBR**Diagnóstico****Los factores de riesgo cardiovascular que presenta son:**

- Colesterol elevado. Ha disminuido desde la última consulta.
- El cHDL por debajo de lo normal. Ha disminuido desde la última consulta.
- El cLDL moderadamente elevado. Ha disminuido desde la última consulta.
- El valor de los triglicéridos es moderadamente alto. Ha aumentado desde la última consulta.
- Peso corporal con criterios de obesidad o sobrepeso (mayor o igual a 25.0 Kg/cm²). Ha disminuido desde la última consulta.
- La presión arterial por encima de lo establecido.

3.2.3 Tratamiento de la primera consulta

| No | Caso de Entrada | Resultado alasLIPO |
|----|---|---|
| 1 | <p>Los factores de riesgo cardiovascular que presenta son:</p> <p>Factor de riesgo: Alto PAS: 120 mm/Hg PAD: 80 mm/Hg Dietas calóricas: 1800 IMC: 32.37 Kg/cm² Triglicéridos: 342 mm/Hg Colesterol: 258 mg/dL noHDL: 258 mg/dL cLDL: 190 mg/dL cHDL: 34 mg/dL Glucemia: 7.08 Hipertenso: Si Hipertrigliceridemia: Si Alcoholismo: Si Fumador: Nunca fumó Diabetes mellitus: Tipo I Aneurisma: No Claudicación: No Estenosis: No</p> | <p>El paciente debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducir el peso corporal mediante ejercicios físicos y dieta hipocalórica de 1800 calorías. - Controlar la ingestión de bebidas alcohólicas. - Realizar tratamiento para disminuir los triglicéridos.(Para reducir los triglicéridos en caso de ser necesario debe reducir el peso corporal, los niveles de alcohol y tratar la diabetes mellitus. Además es necesario reducir el consumo de azúcar.) <p>Este paciente presenta ciertos padecimientos por lo que se le recomienda:- Consultar a un especialista en endocrinología para el tratamiento de la Diabetes mellitus.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se recomienda Estatina, Niacina o Resina (Ezetimibe) y PPG. (Visitar los enlaces correspondientes a cada medicamento para conocer como administrar los fármacos.) |

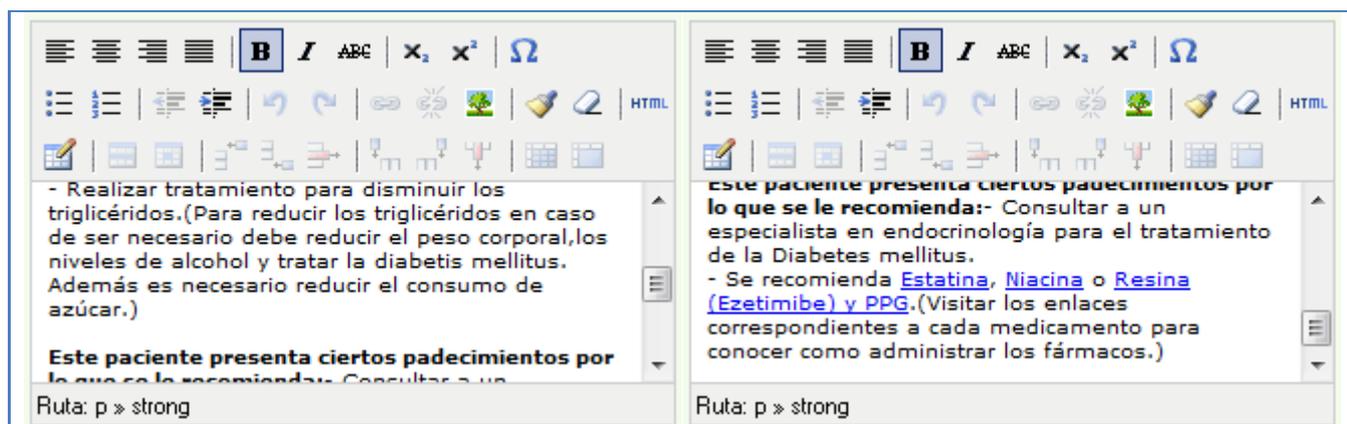
Resultado SBC

The screenshot shows a rich text editor interface. The main content area displays the text from the 'Resultado SBC' section of the table, rendered with bold tags for 'El paciente debe:' and 'strong' in the status bar. The text is as follows:

El paciente debe:

- Reducir el peso corporal mediante [ejercicios físicos](#) y dieta hipocalórica de [1800](#) calorías.
- Controlar la ingestión de bebidas alcohólicas.
- Realizar tratamiento para disminuir los

Ruta: p » strong



| No | Caso de Entrada | Resultado alasLIPO |
|----------------------|---|--|
| 2 | <p>Los factores de riesgo cardiovascular que presenta son:</p> <p>Factor de riesgo: Bajo PAS: 120 mm/Hg PAD: 80 mm/Hg Dietas calóricas: 1500 IMC: 28.91 Kg/cm² Triglicéridos: 114 mm/Hg Colesterol: 248 mg/dL noHDL: 183 mg/dL cLDL: 190 mg/dL cHDL: 65 mg/dL Glucemia: 4.2 Hipertenso: No Hipertigliceridemia: No Alcoholismo: No Fumador: Fumador actual Diabetes mellitus: No tiene Aneurisma: No Claudicación: No Estenosis: No</p> | <p>El paciente debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducir el peso corporal mediante ejercicios físicos y dieta hipocalórica de 1500 calorías. - Erradicar el hábito de fumar y consultar una clínica de deshabitación si lo requiere debido a que este hábito reduce la expectativa de vida y favorece el desarrollo de la aterosclerosis y las enfermedades tumorales. <p>Este paciente presenta ciertos padecimientos por lo que se le recomienda:- Mejorar los niveles de cHDL, debe disminuir el peso corporal ideal realizando ejercicios físicos y reducir los niveles de triglicéridos en plasma (en caso de encontrarse elevados).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se recomienda Estatina, Niacina o Resina (Ezetimibe) y PPG. (Visitar los enlaces correspondientes a cada medicamento para conocer cómo administrar los fármacos.) |
| Resultado SBC | | |

El paciente debe:

- Reducir el peso corporal mediante [ejercicios físicos](#) y dieta hipocalórica de [1500](#) calorías.
- Erradicar el hábito de fumar y consultar una clínica de deshabituación si lo requiere debido a que ~~este hábito reduce la expectativa de vida y favorece el desarrollo de la aterosclerosis y las enfermedades tumorales.~~

Ruta: p » strong

que ~~este hábito reduce la expectativa de vida y favorece el desarrollo de la aterosclerosis y las enfermedades tumorales.~~

Este paciente presenta ciertos padecimientos por lo que se le recomienda: Mejorar los niveles de cHDL, debe disminuir el peso corporal ideal realizando ejercicios físicos y reducir los niveles de triglicéridos en plasma (en caso de encontrarse elevados).

Ruta: p

cHDL, debe disminuir el peso corporal ideal realizando ejercicios físicos y reducir los niveles de triglicéridos en plasma (en caso de encontrarse elevados).

- Se recomienda [Estatina](#), [Niacina](#) o [Resina \(Ezetimibe\)](#) y [PPG](#).(Visitar los enlaces correspondientes a cada medicamento para conocer como administrar los fármacos.)

Ruta: p

| No | Caso de Entrada | Resultado alasLIPO |
|----|---|---|
| 3 | <p>Los factores de riesgo cardiovascular que presenta son:</p> <p>Factor de riesgo: Alto PAS: 120 mm/Hg PAD: 80 mm/Hg Dietas calóricas: 1500 IMC: 29.27 Kg/cm² Triglicéridos: 178 mm/Hg Colesterol: 260 mg/dL</p> | <p>El paciente debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducir el peso corporal mediante ejercicios físicos y dieta hipocalórica de 1500 calorías. - Realizar tratamiento para disminuir los triglicéridos. (Para reducir los triglicéridos en caso de ser necesario |

| | |
|---|---|
| <p>noHDL: 218 mg/dL cLDL: 182 mg/dL cHDL: 42 mg/dL Glucemia: 19.6 Hipertenso: Si Hipertrigliceridemia: Si Alcoholismo: No Fumador: Nunca fumó Diabetes mellitus: No tiene Aneurisma: No Claudicación: No Estenosis: Si</p> | <p>debe reducir el peso corporal, los niveles de alcohol y tratar la diabetes mellitus. Además es necesario reducir el consumo de azúcar.)</p> <p>Este paciente presenta ciertos padecimientos por lo que se le recomienda:- Consultar a un especialista en endocrinología para la glucemia elevada. - Consultar a un especialista en angiología para el tratamiento: -> Del por ciento de estenosis. - Se recomienda Estatina, Niacina o Resina (Ezetimibe) y PPG. (Visitar los enlaces correspondientes a cada medicamento para conocer cómo administrar los fármacos.)</p> |
|---|---|

Resultado SBC

The image displays two screenshots of a rich text editor interface, likely used for generating medical reports. Both screenshots feature a standard toolbar with options for bold, italic, text color, background color, bulleted lists, numbered lists, indenting, and linking. The text in the screenshots is as follows:

Top Screenshot:

El paciente debe:

- Reducir el peso corporal mediante [ejercicios físicos](#) y dieta hipocalórica de [1500](#) calorías.
- Realizar tratamiento para disminuir los triglicéridos. (Para reducir los triglicéridos en caso de ser necesario debe reducir el peso corporal, los

Ruta: p » strong

Bottom Screenshot:

de ser necesario debe reducir el peso corporal, los niveles de alcohol y tratar la diabetes mellitus. Además es necesario reducir el consumo de azúcar.)

Este paciente presenta ciertos padecimientos por lo que se le recomienda:- Consultar a un especialista en endocrinología para la glucemia elevada.

Ruta: p » strong

elevada.

- Consultar a un especialista en angiología para el tratamiento:
- > Del por ciento de estenosis.
- Se recomienda [Estatina](#), [Niacina](#) o [Resina \(Ezetimibe\)](#) y [PPG](#).(Visitar los enlaces correspondientes a cada medicamento para conocer como administrar los fármacos.)

Ruta: p » strong

3.2.4 Tratamiento de la consulta evolutiva

| No | Caso de Entrada | Resultado alasLIPO |
|----|--|---|
| 1 | <p>Los factores de riesgo cardiovascular que presenta son:</p> <p>Factor de riesgo: Alto PAS: 120 mm/Hg PAD: 80 mm/Hg Dietas calóricas: 1800 IMC: 29.73 Kg/cm² Triglicéridos: 300 mm/Hg Colesterol: 295 mg/dL cHDL: 40 mg/dL cLDL: 105 mg/dL noHDL: 255 mg/dL</p> | <p>Reducir el peso corporal mediante ejercicios físicos y dieta hipocalórica de 1800 calorías. Se recomienda tomar en combinación Estatina Niacina o Resina (ezetimibe)</p> |

Resultado SBC

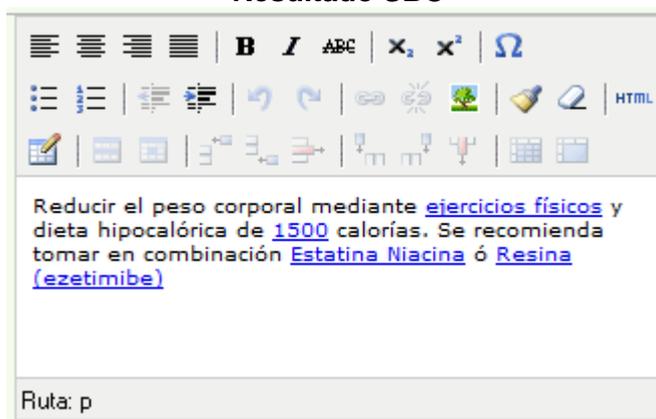
Reducir el peso corporal mediante [ejercicios físicos](#) y dieta hipocalórica de [1800](#) calorías. Se recomienda tomar en combinación [Estatina Niacina](#) ó [Resina \(ezetimibe\)](#)

Ruta: p

| No | Caso de Entrada | Resultado alasLIPO |
|----|---|--------------------|
| 2 | <p>Los factores de riesgo cardiovascular que presenta son:</p> | |

| | |
|---|---|
| <p>Factor de riesgo: Bajo PAS: 120 mm/Hg PAD: 80 mm/Hg Dietas calóricas: 1500 IMC: 29.3 Kg/cm² Triglicéridos: 100 mm/Hg Colesterol: 292 mg/dL cHDL: 25 mg/dL cLDL: 217 mg/dL noHDL: 267 mg/dL</p> | <p>Reducir el peso corporal mediante ejercicios físicos y dieta hipocalórica de 1500 calorías. Se recomienda tomar en combinación Estatina Niacina o Resina (ezetimibe)</p> |
|---|---|

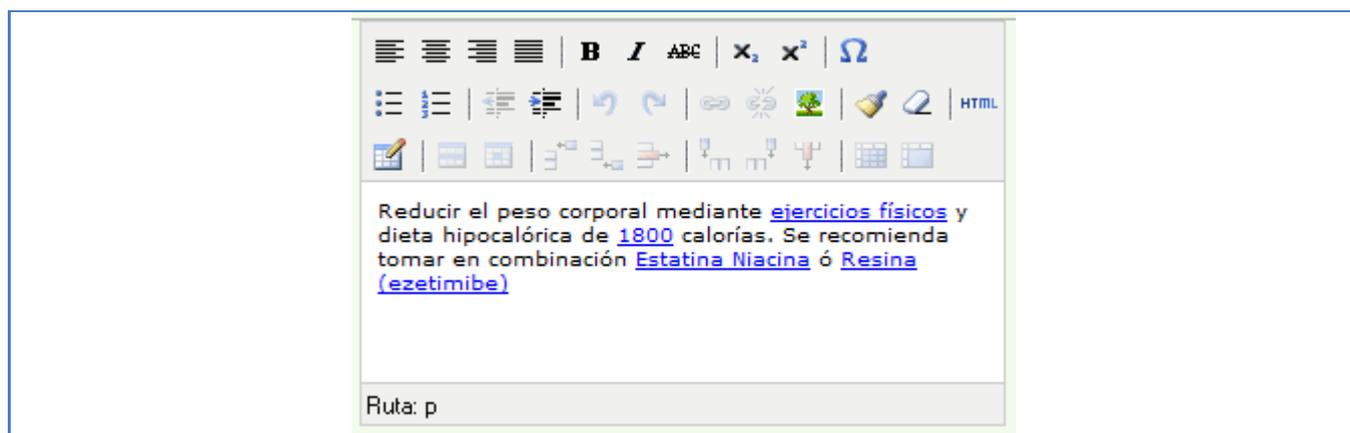
Resultado SBC



Reducir el peso corporal mediante ejercicios físicos y dieta hipocalórica de 1500 calorías. Se recomienda tomar en combinación Estatina Niacina ó Resina (ezetimibe)

Ruta: p

| No | Caso de Entrada | Resultado alasLIPO |
|----------------------|---|---|
| 3 | <p>Los factores de riesgo cardiovascular que presenta son: Factor de riesgo: Alto PAS: 150 mm/Hg PAD: 100 mm/Hg Dietas calóricas: 1500 IMC: 27.69 Kg/cm² Triglicéridos: 200 mm/Hg Colesterol: 250 mg/dL cHDL: 39 mg/dL cLDL: 111 mg/dL noHDL: 211 mg/dL</p> | <p>Reducir el peso corporal mediante ejercicios físicos y dieta hipocalórica de 1800 calorías. Se recomienda tomar en combinación Estatina Niacina o Resina (ezetimibe)</p> |
| Resultado SBC | | |



3.3 Resultados del SBC sobre el tratamiento médico

Las pruebas que a continuación se describen están dirigidas a comprobar las respuestas del SBC de acuerdo a la cantidad de casos almacenados en la base de conocimientos.

Para una mejor comprensión de la gráfica de semejanza entre casos que muestra el sistema, para el usuario, se realizó la conversión a por ciento de los valores que devuelve la función de semejanza utilizando la fórmula $p = (1 - \frac{d}{x}) * 100$ donde d es la distancia calculada utilizando la función de semejanza Heterogénea, y x representa la mayor distancia entre casos extremos, siendo 688 para la primera consulta, y 967 para la consulta evolutiva.

El experto definió tres rangos que permitieron clasificar la certeza de las respuestas del SBC. Para una semejanza entre el 95% y el 100% se clasifica Bien, entre un 85% y un 95% se clasifica Regular, y para una semejanza menor que 85% se clasifica Mal.

Las pruebas se realizaron sobre una base de conocimiento poblada con 40 casos. A continuación se hace una discusión de cada uno de los casos probados.



Figura 6. Gráfica de por ciento de semejanza Caso A

En el Caso A los parámetros médicos de entrada necesarios para generar el tratamiento médico presentaban valores por debajo de los niveles normales acercándose a los niveles extremos para lo que el sistema responde que los primeros cinco casos semejantes se clasifican *Mal*.



Figura 7. Gráfica de por ciento de semejanza Caso B

En el Caso B los parámetros médicos de entrada necesarios para generar el tratamiento médico presentaban valores muy por encima de los niveles normales acercándose a los niveles extremos para lo que el sistema responde que los primeros cinco casos semejantes se clasifican *Mal*.

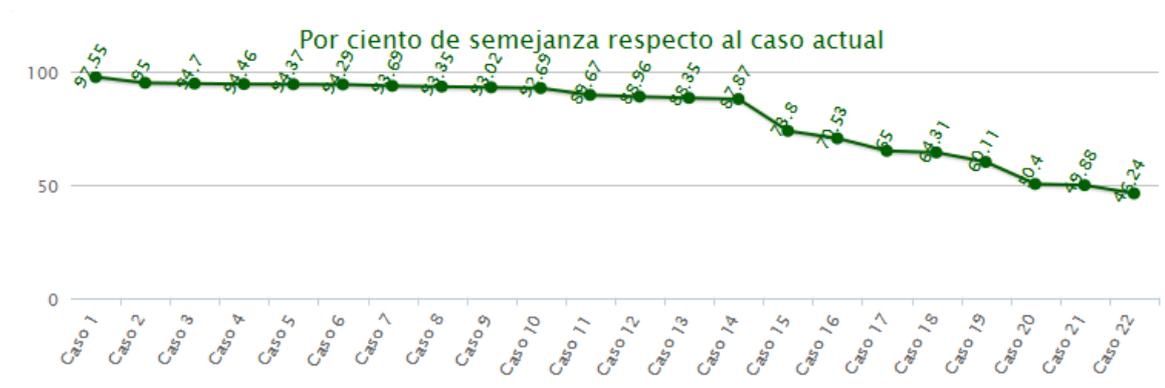


Figura 8. Gráfica de por ciento de semejanza Caso C



Figura 9. Gráfica de por ciento de semejanza Caso D

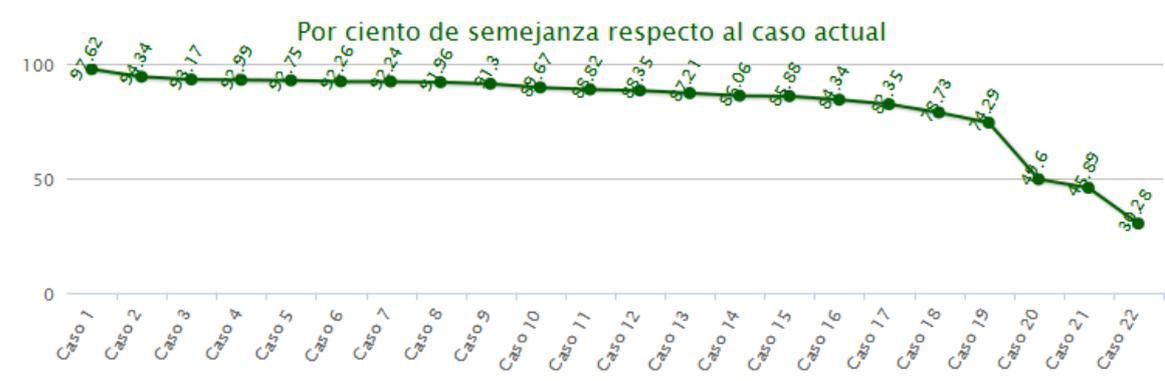


Figura 10. Gráfica de por ciento de semejanza Caso E

En el Caso C, D, E los parámetros médicos de entrada necesarios para generar el tratamiento médico presentaban valores con niveles promedios para pacientes que padecen dislipidemias, para lo que el sistema responde que los primeros cinco casos semejantes se clasifican *Bien*.

A los casos A y B el sistema responde con una clasificación *Mal* debido a que la base de conocimiento no cuenta con suficientes casos con parámetros médicos que presentan valores extremos. A medida que la base de conocimientos se vaya enriqueciendo entonces las respuestas serán más acertadas, complementándose con la premisa de que entre más casos presente la BC entonces las respuestas tendrán una mejor calidad, como sucede en los casos C, D y E, que corresponden a valores promedios de pacientes que padecen dislipidemias. Además se debe tener en cuenta que la supervisión del médico es muy importante, ya que a pesar de que las respuestas se encuentren en estos rangos, es él quien valida la certeza de las mismas.

Conclusiones parciales

En este capítulo se hicieron las pruebas de validación al SE, obteniendo resultados satisfactorios. Se utilizaron casos de pruebas para comprobar el correcto funcionamiento del sistema. También se contó con la validación por parte del experto humano en dislipoproteinemias, quien confirmó la veracidad de las respuestas obtenidas. Y por último se realizó un análisis de las respuestas del SBC sobre el tratamiento médico donde se evidencia que para los casos donde los parámetros están muy por debajo o muy por encima de los niveles normales, las respuestas que emite el sistema se clasifica *Mal* debido a que no existen casos semejantes suficientes en la BC para dar respuestas evaluadas de *Bien*.

CONCLUSIONES

Al concluirse el presente trabajo de investigación es posible afirmar que se le dio cumplimiento a los objetivos trazados para el mismo.

- Se implementó un sistema basado en el conocimiento para la obtención del diagnóstico médico de pacientes dislipidémicos utilizando la técnica de Inteligencia Artificial Sistema Basado en Reglas.
- Se implementó un sistema basado en el conocimiento para la obtención del tratamiento médico de pacientes dislipidémicos utilizando la técnica de Inteligencia Artificial Sistema Basado en Casos.
- Se validó el sistema utilizando la herramienta caso de prueba, arrojando resultados satisfactorios. Además se realizaron pruebas de aceptación del cliente. Y por último se realizó una discusión de las respuestas del SBC sobre el tratamiento médico.

RECOMENDACIONES

Con el objetivo de mejorar el sistema implementado se recomienda:

- Adicionar un administrador de reglas dinámicas al SBR para que el experto humano pueda extender la base de conocimientos.
- Implementar otras funciones de semejanza para el sistema basado en casos.

BIBLIOGRAFÍA

- Bellman, Richard Ernest.** *An introduction to Artificial Intelligence: Can Computers Think?* San Francisco : Boyd & Fraser Publishing Company, 1978. 0878350667.
- Castillejos Reyes, Juan Manuel.** *Cómputo Académico. Inteligencia artificial.* [En línea] Junio de 2004. [Citado el: 20 de Noviembre de 2010.]
<http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2004/junio/artificial.htm>.
- Expósito Gallardo, María del Carmen y Ávila Ávila, Rafael.** *Imbiomed. Aplicaciones de la inteligencia artificial en la Medicina: perspectivas y problemas.* [En línea] 2008. [Citado el: 15 de Noviembre de 2010.]
http://www.imbiomed.com.mx/1/1/articulos.php?method=showDetail&id_articulo=51320&id_seccion=2663&id_ejemplar=5205&id_revista=51.
- García Martínez, Ramón, Rossi, Bibiana y Britos, Paola.** *METODOLOGÍAS DE EDUCACIÓN DE CONOCIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS INFORMÁTICOS EXPERTOS.* [En línea] [Citado el: 1 de Diciembre de 2010.]
http://www.itba.edu.ar/nuevo/archivos/secciones/art_revistas_1.pdf.
- García Morate, Diego.** *Manual de Weka.* [En línea] [Citado el: 1 de Diciembre de 2010.]
<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.
- Christensen, Erik, y otros, y otros.** *Web Services Description Language (WSDL). W3C.* [En línea] 15 de Marzo de 2001. [Citado el: 3 de Marzo de 2011.] <http://www.w3.org/TR/wsdl>.
- Giarratano, Riley.** *Sistema Experto, principios y programación.* ISBN 7-111-10844-2.
- Nasiff Hadad, Dr. Alfredo y Pérez Pérez, Luis Miguel.** *Infomed. Primer consenso nacional de dislipoproteinemias: Guía para la prevención, detección, diagnóstico y tratamiento.* [En línea] 17 de Abril de 2008. [Citado el: 25 de Octubre de 2010.]
http://bvs.sld.cu/revistas/end/vol17_4_06/end01406.htm.
- Nasiff Hadad, Dr. Alfredo.** *Hospital Ameijeiras. Dislipoproteinemias familiares.* [En línea] [Citado el: 3 de Diciembre de 2010.]
<http://www.hospitalameijeiras.sld.cu/hha/mpm/documentos/MED%20INTERNA/PA/DISLIPOPROTEINEMIAS%20FAMILIARES.pdf>.

- Peña Ayala, Alejandro.** *Sistemas basados en Conocimiento: Una Base para su Concepción y Desarrollo.* México : Dirección de Publicaciones, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, 2006. 970-94797-4-1.
- PHP: Hypertext Preprocessor. *¿Qué es PHP?* [En línea] 3 de Diciembre de 2010. [Citado el: 4 de Diciembre de 2010.] <http://www.php.net/manual/es/intro-what-is.php>.
- PHP: Hypertext Preprocessor. *¿Qué se puede hacer con PHP?* [Online] Diciembre 3, 2010. [Cited: Diciembre 4, 2010.] <http://www.php.net/manual/es/intro-whatcando.php>.
- Potencier, Fabien y Zaninotto, François.** Libros Web. *Symfony 1.0, la guía definitiva.* [En línea] 24 de Diciembre de 2008. [Citado el: 25 de Noviembre de 2010.] http://librosweb.es/symfony_1_0/.
- Rich, Elaine y Knight, Kevin.** *Artificial Intelligence.* s.l. : McGraw Hill, 1991.
- Rivera Rodríguez, MsC. Sergio Michel.** Modelo de un Sistema de Razonamiento Basado en Casos para el análisis en la gestión de riesgos. 2010.
- Salinas, Jose M.** Teorema de Bayes. [En línea] [Citado el: 20 de Enero de 2011.] <http://www.ugr.es/~jsalinas/bayes.htm>.
- Samper Márquez, Juan José.** REDcientífica. *Introducción a los Sistemas Expertos.* [En línea] [Citado el: 25 de Octubre de 2010.] <http://www.redcientifica.com/doc/doc199908210001.html>. 1579-0223.
- The Apache Software Foundation. *Apache Tomcat.* [En línea] [Citado el: 4 de Diciembre de 2010.] <http://tomcat.apache.org/>.
- W3C. *Guía Breve de Servicios Web.* [En línea] 6 de Junio de 2010. [Citado el: 4 de Diciembre de 2010.] <http://www.w3c.es/divulgacion/guiasbreves/ServiciosWeb>.
- Welcome to Apache Axis2/Java. *Apache Axis2.* [En línea] 10 de Diciembre de 2010. [Citado el: 15 de Abril de 2011.] <http://axis.apache.org/axis2/java/core/>.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Nasiff Hadad, Dr. Alfredo y Pérez Pérez, Luis Miguel.** Infomed. *Primer consenso nacional de dislipoproteinemias: Guía para la prevención, detección, diagnóstico y tratamiento.* [En línea] 17 de Abril de 2008. [Citado el: 25 de Octubre de 2010.]
http://bvs.sld.cu/revistas/end/vol17_4_06/end01406.htm.
- [2] **Peña Ayala, Alejandro.** *Sistemas basados en Conocimiento: Una Base para su Concepción y Desarrollo.* México : Dirección de Publicaciones, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, 2006. 970-94797-4-1.
- [3] **Bellman, Richard Ernest.** *An introduction to Artificial Intelligence: Can Computers Think?* San Francisco : Boyd & Fraser Publishing Company, 1978. 0878350667.
- [4] **Expósito Gallardo, María del Carmen y Ávila Ávila, Rafael.** Imbiomed. *Aplicaciones de la inteligencia artificial en la Medicina: perspectivas y problemas.* [En línea] 2008. [Citado el: 15 de Noviembre de 2010.]
http://www.imbiomed.com.mx/1/1/articulos.php?method=showDetail&id_articulo=51320&id_seccion=2663&id_ejemplar=5205&id_revista=51.
- [5] **Castillejos Reyes, Juan Manuel.** *Cómputo Académico. Inteligencia artificial.* [En línea] Junio de 2004. [Citado el: 20 de Noviembre de 2010.]
<http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2004/junio/artificial.htm>.
- [6] **García Martínez, Ramón, Rossi, Bibiana y Britos, Paola.** *METODOLOGÍAS DE EDUCACIÓN DE CONOCIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS INFORMÁTICOS EXPERTOS.* [En línea] [Citado el: 1 de Diciembre de 2010.]
http://www.itba.edu.ar/nuevo/archivos/secciones/art_revistas_1.pdf.
- [7] PHP: Hypertext Preprocessor. *¿Qué es PHP?* [En línea] 3 de Diciembre de 2010. [Citado el: 4 de Diciembre de 2010.] <http://www.php.net/manual/es/intro-what-is.php>.
- [8] **Potencier, Fabien y Zaninotto, François.** Libros Web. *Symfony 1.0, la guía definitiva.* [En línea] 24 de Diciembre de 2008. [Citado el: 25 de Noviembre de 2010.] http://librosweb.es/symfony_1_0/.
- [9] The Apache Software Foundation. *Apache Tomcat.* [En línea] [Citado el: 4 de Diciembre de 2010.] <http://tomcat.apache.org/>.

- [10] **García Morate, Diego.** *Manual de Weka.* [En línea] [Citado el: 1 de Diciembre de 2010.] <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.
- [11] W3C. *Guía Breve de Servicios Web.* [En línea] 6 de Junio de 2010. [Citado el: 4 de Diciembre de 2010.] <http://www.w3c.es/divulgacion/guiasbreves/ServiciosWeb>.
- [12] Welcome to Apache Axis2/Java. *Apache Axis2.* [En línea] 10 de Diciembre de 2010. [Citado el: 15 de Abril de 2011.] <http://axis.apache.org/axis2/java/core/>.
- [13] **Giarratano, Riley.** *Sistema Experto, principios y programación.* ISBN 7-111-10844-2.
- [14] **Rivera Rodríguez, MsC. Sergio Michel.** *Modelo de un Sistema de Razonamiento Basado en Casos para el análisis en la gestión de riesgos.* 2010.

ANEXOS

Anexo 1: Reglas en lenguaje natural.

- Si presenta signos de xantomas tuberosos en tendones de Aquiles, o xantomas tuberosos extensores mano derecha, o mano izquierda, o pie derecho o pie izquierdo entonces presenta la afección xantoma.
- Si no presenta signos de xantomas tuberosos en tendones de Aquiles, o xantomas tuberosos extensores mano derecha, o mano izquierda, o pie derecho o pie izquierdo entonces no tiene xantomas pliegues, no tiene xantomas cutáneos eruptivos, no tiene xantomas tuberosos, no tiene arco lipoideo corneal.
- Si se realizó ultrasonido y presenta estenosis derecha mayor que 50 o estenosis izquierda mayor que 50 entonces tiene estenosis.

Determinar alteraciones en las lipoproteínas.

- Si tiene el colesterol mayor que 200 y menor que 240 entonces tiene el colesterol moderadamente alto.
- Si tiene el colesterol mayor o igual que 240 entonces tiene el colesterol elevado.
- Si el cHDL es menor que 40 entonces lo tiene por debajo de lo normal.
- Si el cLDL es mayor que 100 y menor que 200 entonces lo tiene moderadamente elevado.
- Si el cLDL es mayor o igual que 200 entonces lo tiene elevado.
- Si los triglicéridos son mayor que 150 y menos o igual que 200 entonces es moderadamente alto.
- Si los triglicéridos son mayor que 200 entonces es elevado.

Las alteraciones en las lipoproteínas pueden ser secundarias por:

- Si los triglicéridos son mayor que 150 y el índice de masa corporal (imc) es mayor o igual que 25 entonces es debido a la obesidad.
- Si los triglicéridos son mayor que 150 y es alcohólico entonces es debido al alcoholismo.
- Si los triglicéridos son mayor que 150 y es diabético entonces es debido a la diabetes mellitus.

Otros diagnósticos, estado del imc y alcoholismo.

- Si el imc es mayor o igual que 25 y menor que 30 entonces presenta criterios de sobrepeso.
- Si el imc es menor que 18.5 entonces presenta criterios de bajo peso
- Si el imc es mayor o igual que 30 entonces presenta criterios de obesidad.
- Si es alcohólico entonces es debido a que ha ingerido bebidas alcohólicas.

Factores de riesgo

- Si es fumador actual entonces es debido al tabaquismo.
- Si la presión arterial sistólica (pas) es mayor que 140 y la presión arterial diastólica (pad) es mayor que 90 y no es hipertenso entonces tiene la presión arterial elevada.
- Si la presión arterial sistólica (pas) es mayor que 140 y la presión arterial diastólica (pad) es mayor que 90 y es hipertenso entonces tiene la presión arterial descontrolada.
- Si el cHDL es menor que 40 entonces el colesterol de alta densidad está por debajo de 40 mg/dL.
- Si el padre o la madre han sufrido infarto entonces tiene antecedentes en familiares de primera línea de cardiopatía isquémica en edades tempranas de la vida.
- Si la edad es mayor que 45 y el sexo femenino o la edad es mayor que 55 y sexo masculino entonces la edad del paciente constituye un riesgo cardiovascular.

Riesgo elevado

- Si padece diabetes tipo 1 o tipo 2 entonces tiene diabetes mellitus.
- Si presenta angina estable o angina inestable o bypass o angioplastia o infarto del miocardio u otros síntomas coronarios entonces tiene síndromes coronarios.
- Si presenta aneurisma entonces tiene aneurisma de aorta abdominal.
- Si presenta claudicación entonces tiene claudicación intermitente.
- Si presenta ataque transitorio de isquemia entonces tiene ataque transitorio de isquemia.
- Si ha tenido un infarto cerebral entonces infarto cerebral.
- Si presenta estenosis entonces más del 50% de estenosis carotideas.

- Si la glicemia es mayor que 7.7 entonces tiene glucosa en el plasma elevado.
- Si el factor de riesgo es mayor que 20 entonces tiene riesgo de cardiopatía isquémica DURA en 10 años mayor que el 20% de acuerdo al score de Framingham.

Riesgo moderado

- Si el paciente es fumador actual entonces incrementar contador.
- Si pas es mayor que 140 y pad es mayor que 90 entonces incrementar contador.
- Si el cHDL es menor que 40 entonces incrementar contador.
- Si el padre ha sufrido un infarto entonces incrementar contador.
- Si la madre ha sufrido un infarto entonces incrementar contador.
- Si la edad es mayor que 45 y el sexo es femenino entonces incrementar contador.
- Si la edad es mayor que 55 y el sexo es masculino entonces incrementar contador.
- Si el contador es mayor igual que 2 o el factor de riesgo es mayor igual que 10 y menor igual que 20 entonces el riesgo de cardiopatía isquémica DURA a 10 años es moderado por presentar 2 o más factores de riesgo mayores.

Padecimientos

Enfermedad hipertrigliceridemia

- Si los triglicéridos son mayor que 150 y presenta diabetes o el imc es mayor que 24.9 o presenta alcoholismo entonces tiene hipertrigliceridemia.
- Si la edad es menor que 18 y el cLDL es mayor que 95 entonces puntos += 1.
- Si la edad es mayor que 60 y el sexo es masculino o la edad es mayor que 55 y el sexo es femenino y ha sufrido ataque del corazón entonces puntos += 2.
- Si la edad es mayor que 60 y el sexo es masculino o la edad es mayor que 55 y el sexo es femenino y ha sufrido infarto cerebral entonces puntos += 1.
- Si tiene xantomas entonces puntos += 6.
- Si tiene arco lipoideo corneal y la edad es menor que 45 entonces puntos += 4.
- Si el cLDL es mayor igual que 155 y menor igual que 189 entonces puntos += 1.

- Si el cLDL es mayor igual que 190 y menor igual que 249 entonces puntos += 3.
- Si el cLDL es mayor igual que 250 y menor igual que 329 entonces puntos += 5.
- Si el cLDL es mayor igual que 330 entonces puntos += 8.
- Si puntos es mayor igual que 8 entonces tiene hipertrigliceridemia familiar.

Enfermedad disbetalipoproteinemia

- Si presenta xantomas pliegues o xantomas tuberosos o xantomas cutáneos eruptivos o el colesterol es mayor que 300 o los triglicéridos son mayor que 400 o no tiene isoforma entonces tiene disbetalipoproteinemia.
- Si presenta disbetalipoproteinemia entonces debe considerarse algunos de los tipos siguientes: disbetalipoproteinemia familiar.
- Si presenta hipertrigliceridemia familiar y los triglicéridos son menor que 200 entonces tiene Hipercolesterolemia familiar.
- Si presenta hipertrigliceridemia entonces tiene hipertrigliceridemia familiar.

Anexo 3: Reglas expresadas en el lenguaje RuleML.

Primera consulta.

```

rule "R1 Estenosis"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( erealizados[0] == 1 && (estenosisIzquierda > 50 ||
estenosisDerecha >50 ))
  then
    s.setEstenosis(true);
  update(s);
end
rule "R2 Xantomas 1"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( erealizados[1] == 1 && (tendonesAquiles == true ||
xantomasManoDerecha == true || xantomasManoIzquierda == true || xantomasPieIzquierdo
== true || xantomasPieDerecho == true ))
  then
    s.setXantomas(true);
  update(s);
end
rule "R3 Xantomas 2"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( erealizados[1] == 0 )
  then
    s.setXantomasPliegues(false);
    s.setXantomasCutaneosEruptivos(false);
    s.setXantomasTuberosos(false);
    s.setArco("No tiene arco lipoideo corneal");
  update(s);
end
rule "R4 Alteraciones en las lipoproteínas 1"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( colesterol > 200, colesterol < 240 )
  then
    s.getDPrimera().setColesterol("Colesterol moderadamente alto");
end
rule "R5 Alteraciones en las lipoproteínas 2"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( colesterol >= 240 )
  then
    s.getDPrimera().setColesterol("Colesterol elevado");
end
rule "R6 Alteraciones en las lipoproteínas 3"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( chdl < 40 )
  then
    s.getDPrimera().setChdl("El cHDL por debajo de lo normal");

```

```

        //Factores de riesgos mayores
        s.getDPrimera().setPChdl("Colesterol de alta densidad por debajo de 40
mg/dL");
    end
    rule "R7 Alteraciones en las lipoproteínas 4"
        no-loop true
        when
            s : Sintomas( cldl > 100, cldl < 200 )
        then
            s.getDPrimera().setCldl("El cLDL moderadamente elevado");
        end
    rule "R8 Alteraciones en las lipoproteínas 5"
        no-loop true
        when
            s : Sintomas( cldl >= 200 )
        then
            s.getDPrimera().setCldl("El cLDL es elevado");
        end
    rule "R9 Alteraciones en las lipoproteínas 6"
        no-loop true
        when
            s : Sintomas( trigliceridos > 150, trigliceridos <= 200 )
        then
            s.getDPrimera().setTrigliceridos("El valor de los triglicéridos es
moderadamente alto");
        end
    rule "R10 Alteraciones en las lipoproteínas 7"
        no-loop true
        when
            s : Sintomas( trigliceridos > 200 )
        then
            s.getDPrimera().setTrigliceridos("El valor de los triglicéridos es
elevado");
        end
    rule "R11 Alteraciones en las lipoproteínas 8"
        no-loop true
        when
            s : Sintomas( trigliceridos > 150, imc >= 25 )
        then
            s.getDPrimera().setPSecundarioObesidad("La obesidad");
        end
    rule "R12 Alteraciones en las lipoproteínas 9"
        no-loop true
        when
            s : Sintomas( trigliceridos > 150, alcoholismo == true )
        then
            s.getDPrimera().setPSecundarioAlcoholismo("El alcoholismo");
        end
    rule "R13 Alteraciones en las lipoproteínas 10"
        no-loop true
        when
            s : Sintomas( trigliceridos > 150, tipoDiabetes != 0 )
        then

```

```
s.getDPrimera().setPSecundarioDiabetesMellitus("La diabetes mellitus");

end
rule "R14 Otros diagnósticos 1"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( imc >= 25, imc < 30 )
  then
    s.getDPrimera().setPesoCorporal("Peso corporal con criterios de
sobre peso (25.0 - 29.9 Kg/cm2)");
  end
rule "R15 Otros diagnósticos 2"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( imc < 18.5 )
  then
    s.getDPrimera().setPesoCorporal("Peso corporal con criterios de bajo
peso (menor que 18.5 Kg/cm2)");
  end
rule "R16 Otros diagnósticos 3"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( imc >= 30 )
  then
    s.getDPrimera().setPesoCorporal("Peso corporal con criterios de obesidad
(mayor que 30 Kg/cm2)");
  end
rule "R17 Otros diagnósticos 4"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( alcoholismo == true )
  then
    s.getDPrimera().setPAlcoholismo("Alcoholismo");
  end
rule "R18 Factores de riesgos mayores 1"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( fumador == 2 )
  then
    s.getDPrimera().setPTabaquismo("Tabaquismo");
  end
rule "R19 Factores de riesgos mayores 2"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( pas > 140, pad > 90, hipertension == 0 )
  then
    s.getDPrimera().setPPresionArterial("Presión arterial elevada (mayor que
140/90 mm/Hg)");
  end
rule "R20 Factores de riesgos mayores 3"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( pas > 140, pad > 90, hipertension == 1 )
  then
```

```

        s.getDPrimera().setPPresionArterial("Presión arterial descontrolada
(mayor que 140/90 mm/Hg y paciente hipertenso)");
    end
    rule "R21 Factores de riesgos mayores 4"
        no-loop true
        when
            s : Sintomas( infartoPadre == true || infartoMadre == true )
        then
            s.getDPrimera().setPAntFamPrimeraLinea("Antecedentes en familiares de
primera línea de cardiopatía isquémica en edades tempranas de la vida");
        end
    rule "R22 Factores de riesgos mayores 5"
        no-loop true
        when
            s : Sintomas( (edad > 45 && sexo == 1) || (edad > 55 && sexo == 0) )

        then
            s.getDPrimera().setPEdadRiesgo("La edad constituye un riesgo
cardiovascular");
        end
    rule "R23 Riesgo elevado"
        lock-on-active true
        salience 100
        when
            s : Sintomas( tipoDiabetes != 0 || anginaEstable == true ||
anginaInestable == true || bypass == true || angioplastia == true || otrosCoronarios
== true || infartoMiocardio == true || aneurisma == true || claudicacion == true ||
ataqueTransitorioIsquemia == true || infartoCerebral == true || estenosis == true ||
glucemia > 7.7 || factorRiesgo > 20 )
        then
            s.getDPrimera().setPClasificacionRiesgo("Alto riesgo");
            update(s);
        end
    rule "R24 Riesgo elevado 1"
        no-loop true
        when
            s : Sintomas( tipoDiabetes != 0 )
        then
            s.getDPrimera().setPDiabetesRiesgo("Diabetes mellitus");
        end
    rule "R25 Riesgo elevado 2"
        no-loop true
        when
            s : Sintomas( anginaEstable == true || anginaInestable == true || bypass
== true || angioplastia == true || otrosCoronarios == true || infartoMiocardio ==
true )
        then
            s.getDPrimera().setPSindromesCoronariosRiesgo("Síndromes coronarios");
        end
    rule "R26 Riesgo elevado 3"
        no-loop true
        when
            s : Sintomas( aneurisma == true )
        then
            s.getDPrimera().setPAneurismaRiesgo("Aneurisma de la aorta abdominal");
        end

```

```

end
rule "R27 Riesgo elevado 4"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( claudicacion == true )
  then
    s.getDPrimera().setPClaudicacionRiesgo("Claudicación intermitente");
end
rule "R28 Riesgo elevado 5"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( ataqueTransitorioIsquemia == true )
  then
    s.getDPrimera().setPAtaqueIsquemiaRiesgo("Ataque transitorio de
isquemia");
end
rule "R29 Riesgo elevado 6"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( infartoCerebral == true )
  then
    s.getDPrimera().setPInfartoCerebralRiesgo("Infarto cerebral");
end
rule "R30 Riesgo elevado 7"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( estenosis == true )
  then
    s.getDPrimera().setPEstenosisCarotideasRiesgo("Más del 50% de estenosis
carotideas");
end
rule "R31 Riesgo elevado 8"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( glucemia > 7.7 )
  then
    s.getDPrimera().setPGlucosaPlasmaRiesgo("Glucosa en el plasma elevada");
end
rule "R32 Riesgo elevado 9"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( DPrimera.PClasificacionRiesgo == "Alto riesgo" &&
factorRiesgo > 20 )
  then
    s.getDPrimera().setPIsquemiaDuraRiesgo("Cardiopatía isquémica DURA a 10
años es mayor que el 20% de acuerdo al score de Framingham");
end
rule "R32a Riesgo elevado 10"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( DPrimera.PClasificacionRiesgo == "Alto riesgo" &&
factorRiesgo < 20 )
  then
    s.getDPrimera().setPIsquemiaDuraRiesgo("");
end

```

```
rule "R33 Riesgo moderado"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas(DPrimera.PClasificacionRiesgo != "Alto riesgo" && (contador
  >= 2 || (factorRiesgo <= 20 && factorRiesgo >= 10)) )
  then
    s.getDPrimera().setPIsquemiaDuraRiesgo("El riesgo de cardiopatía
  isquémica DURA a 10 años es moderado por presentar 2 o más factores de riesgo");
    s.getDPrimera().setPClasificacionRiesgo("Riesgo moderado");
  end
rule "R34 Riesgo moderado 1"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( fumador == 2 )
  then
    s.aumentarContador();
  update(s);
  end
rule "R35 Riesgo moderado 2"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( pas > 140 && pad > 90 )
  then
    s.aumentarContador();
  update(s);
  end
rule "R36 Riesgo moderado 3"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( chdl < 40 )
  then
    s.aumentarContador();
  update(s);
  end
rule "R37 Riesgo moderado 4"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( infartoMadre == true )
  then
    s.aumentarContador();
  update(s);
  end
rule "R38 Riesgo moderado 5"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( infartoPadre == true )
  then
    s.aumentarContador();
  update(s);
  end
rule "R39 Riesgo moderado 6"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( edad > 45 && sexo == 1 )
  then
```

```

        s.aumentarContador();
    update(s);
end
rule "R40 Riesgo moderado 7"
    lock-on-active true
    when
        s : Sintomas( edad > 55 && sexo == 0 )
    then
        s.aumentarContador();
    update(s);
end
rule "R41 Enfermedad Hipertrigliceridemia 1"
    lock-on-active true
    when
        s : Sintomas( trigliceridos > 150 && (tipoDiabetes != 0 || imc > 24.9 ||
alcoholismo == true) )
    then
        s.setHipertrigliceridemia(true);
    update(s);
end
rule "R42 Enfermedad Hipertrigliceridemia 2"
    lock-on-active true
    when
        s : Sintomas( edad < 18 && cldl > 95 )
    then
        s.aumentarPuntos(1);
    update(s);
end
rule "R43 Enfermedad Hipertrigliceridemia 3"
    lock-on-active true
    when
        s : Sintomas( ((edad > 60 && sexo == 0) || (edad > 55 && sexo == 1)) &&
infartoMiocardio == true )
    then
        s.aumentarPuntos(2);
    update(s);
end
rule "R44 Enfermedad Hipertrigliceridemia 4"
    lock-on-active true
    when
        s : Sintomas( ((edad > 60 && sexo == 0) || (edad > 55 && sexo == 1)) &&
infartoCerebral == true )
    then
        s.aumentarPuntos(1);
    update(s);
end
rule "R45 Enfermedad Hipertrigliceridemia 5"
    lock-on-active true
    when
        s : Sintomas( xantomias == true )
    then
        s.aumentarPuntos(6);
    update(s);
end
rule "R46 Enfermedad Hipertrigliceridemia 6"

```

```

    lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( arco != "No tiene arco lipoideo corneal" && edad < 45 )
  then
    s.aumentarPuntos(4);
  update(s);
end
rule "R47 Enfermedad Hipertrigliceridemia 7"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( cldl >= 155 && cldl <= 189 )
  then
    s.aumentarPuntos(1);
  update(s);
end
rule "R48 Enfermedad Hipertrigliceridemia 8"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( cldl >= 190 && cldl <= 249 )
  then
    s.aumentarPuntos(3);
  update(s);
end
rule "R49 Enfermedad Hipertrigliceridemia 9"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( cldl >= 250 && cldl <= 329 )
  then
    s.aumentarPuntos(5);
  update(s);
end
rule "R50 Enfermedad Hipertrigliceridemia 10"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( cldl >= 330 )
  then
    s.aumentarPuntos(8);
  update(s);
end
rule "R51 Enfermedad Hipertrigliceridemia 11"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( puntos >= 8 )
  then
    s.setHipertrigliceridemiaFamiliar(true);
  update(s);
end
rule "R52 Enfermedad Disbetalipoproteinemia 1"
  lock-on-active true
  when
    s : Sintomas( xantomasPliegues == true || xantomasTuberosos == true ||
xantomasCutaneosEruptivos == true || colesterol > 300 || trigliceridos > 400 )
  then
    s.setDisbetalipoproteinemia(true);
  update(s);

```

```

end
rule "R53 Respuesta según enfermedad 1"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( disbetalipoproteinemia == true )
  then
    s.getDPrimera().setPEnfermedadDisbeta("Disbetalipoproteinemia
familiar");
end
rule "R54 Respuesta según enfermedad 2"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( hipertrigliceridemiaFamiliar == true && trigliceridos <
200 )
  then
    s.getDPrimera().setPEnfermedadHipercol("Hipercolesterolemia familiar");
end
rule "R55 Respuesta según enfermedad 3"
  no-loop true
  when
    s : Sintomas( hipertrigliceridemia == true )
  then
    s.getDPrimera().setPEnfermedadHipertrig("Hipertrigliceridemia
familiar");
end

```

Consulta evolutiva.

```

rule "R1"
  no-loop true
  when
    s:Sintomas( colesterol > colesterolAnterior )
  then
    s.getDEvolutiva().setEMensajeColesterol("Ha aumentado desde la
&uacute;ltima consulta.");
end
rule "R2"
  no-loop true
  when
    s:Sintomas( colesterol < colesterolAnterior )
  then
    s.getDEvolutiva().setEMensajeColesterol("Ha disminuido desde la
&uacute;ltima consulta.");
end
rule "R3"
  no-loop true
  when
    s:Sintomas( trigliceridos > trigliceridosAnterior )
  then
    s.getDEvolutiva().setEMensajeTrigliceridos("Ha aumentado desde la
&uacute;ltima consulta.");
end
rule "R4"
  no-loop true

```

```

    when
        s:Sintomas( trigliceridos < trigliceridosAnterior )
    then
        s.getDEvolutiva().setEMensajeTrigliceridos("Ha disminuido desde la
&uacute;ltime consulta.");
    end
rule "R5"
    no-loop true
    when
        s:Sintomas( chdl > chdlAnterior )
    then
        s.getDEvolutiva().setEMensajeChdl("Ha aumentado desde la &uacute;ltime
consulta.");
    end
rule "R6"
    no-loop true
    when
        s:Sintomas( chdl < chdlAnterior )
    then
        s.getDEvolutiva().setEMensajeChdl("Ha disminuido desde la &uacute;ltime
consulta.");
    end
rule "R7"
    no-loop true
    when
        s:Sintomas( cldl > cldlAnterior )
    then
        s.getDEvolutiva().setEMensajeCldl("Ha aumentado desde la &uacute;ltime
consulta.");
    end
rule "R8"
    no-loop true
    when
        s:Sintomas( cldl < cldlAnterior )
    then
        s.getDEvolutiva().setEMensajeCldl("Ha disminuido desde la &uacute;ltime
consulta.");
    end
rule "R9"
    no-loop true
    when
        s:Sintomas( peso > pesoAnterior )
    then
        s.getDEvolutiva().setEMensajePeso("Ha aumentado desde la &uacute;ltime
consulta.");
    end
rule "R10"
    no-loop true
    when
        s:Sintomas( peso < pesoAnterior )
    then
        s.getDEvolutiva().setEMensajePeso("Ha disminuido desde la &uacute;ltime
consulta.");
    end
rule "R11"
```

```
        no-loop true
    when
        s : Sintomas( colesterol > 200, colesterol < 240 )
    then
        s.getDEvolutiva().setColesterol("Colesterol moderadamente alto");
end
rule "R12"
    no-loop true
    when
        s : Sintomas( colesterol >= 240 )
    then
        s.getDEvolutiva().setColesterol("Colesterol elevado");
end
rule "R13"
    no-loop true
    when
        s : Sintomas( chdl < 40 )
    then
        s.getDEvolutiva().setChdl("El cHDL por debajo de lo normal");
end
rule "R14"
    no-loop true
    when
        s : Sintomas( cldl > 100, cldl < 200 )
    then
        s.getDEvolutiva().setCldl("El cLDL moderadamente elevado");
end
rule "R15"
    no-loop true
    when
        s : Sintomas( cldl >= 200 )
    then
        s.getDEvolutiva().setCldl("El cLDL es elevado");
end
rule "R16"
    no-loop true
    when
        s : Sintomas( trigliceridos > 150, trigliceridos <= 200 )
    then
        s.getDEvolutiva().setTrigliceridos("El valor de los triglicéridos
es moderadamente alto");
end
rule "R17"
    no-loop true
    when
        s : Sintomas( trigliceridos > 200 )
    then
        s.getDEvolutiva().setTrigliceridos("El valor de los triglicéridos
es elevado");
end
rule "R18"
    no-loop true
    when
        s : Sintomas( imc >= 25 )
```

```
    then
        s.getDEvolutiva().setPesoCorporal("Peso corporal con criterios de
obesidad o sobrepeso (mayor o igual a 25.0 Kg/cm2)");
    end
rule "R19"
    no-loop true
    when
        s : Sintomas( imc < 18.5 )
    then
        s.getDEvolutiva().setPesoCorporal("Peso corporal con criterios de bajo
peso (menor que 18.5 Kg/cm2)");
    end
rule "R20"
    no-loop true
    when
        s : Sintomas( pas > 140, pad > 90)
    then
        s.getDEvolutiva().setEPresionArterial("La presi&oacute;n arterial por
encima de lo establecido.");
    end
end
```