

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA FUNDACIÓN CARDIOVASCULAR DE
COLOMBIA, ÁREA DE INVESTIGACIÓN EN PEDIATRÍA EN LA LÍNEA DE
SISTEMAS DE AYUDA A LA TOMA DE DECISIONES MÉDICAS.

GREGORIO JOSÉ MAURICIO RINCÓN BLANCO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
BUCARAMANGA, AGOSTO DE 2006

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA FUNDACIÓN CARDIOVASCULAR DE
COLOMBIA, ÁREA DE INVESTIGACIÓN EN PEDIATRÍA EN LA LÍNEA DE
SISTEMAS DE AYUDA A LA TOMA DE DECISIONES MÉDICAS.

GREGORIO JOSÉ MAURICIO RINCÓN BLANCO

Trabajo de Grado como requisito para optar al título de Ingeniero de Sistemas

Director
LEONEL PARRA PINILLA
Ing. Sistemas

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
BUCARAMANGA, AGOSTO DE 2006

RESUMEN

TITULO: Práctica Empresarial en la Fundación Cardiovascular de Colombia, área de investigación en pediatría en la línea de sistemas de ayuda a la toma de decisiones médicas .

AUTOR: Gregorio José Mauricio Rincón Blanco** .

PALABRAS CLAVE: Computación, Sistema Experto, Inteligencia Artificial, representación del conocimiento, reglas de producción, motor de inferencia, proceso unificado.

CONTENIDO: La Unidad de Cuidados Intensivos Pediátrica, maneja grandes volúmenes de información con respecto al estado de los pacientes. Sin embargo, su síntesis e interpretación suele hacerse de forma manual, haciéndolas un lugar susceptible al error médico y sitio ideal para la aplicación de una serie de herramientas informáticas, tendientes a mejorar el cuidado y atención de los pacientes.

Los sistemas expertos, son uno de los campos de aplicación de la Inteligencia Artificial, que solucionan problemas utilizando conocimientos basados en hechos y capacidad de razonamiento. Este tipo de tecnologías, realiza diferentes aportes a la práctica clínica, suministrando un soporte confiable para la toma de decisiones, estandarizando actitudes, métodos y tratamientos, teniendo siempre como premisa, el respeto por la autonomía del experto humano.

La practica empresarial, cuyo desarrollo se presenta en este documento, tuvo por objetivo apoyar el proyecto Sistema Experto planteado por la Fundación Cardiovascular de Colombia, liderado por el grupo de Investigación en Cardiocirugía Pediátrica, el cual pretende construir una herramienta software basada en técnicas de la Inteligencia Artificial, para ser aplicada en el manejo postoperatorio de pacientes pediátricos, sometidos a intervención quirúrgica por Transposición de Grandes Arterias, con la posibilidad de ser expandido a otras patologías en un futuro próximo.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática.
Director Leonel Parra Pinilla.

RESUMEN

TITLE: Práctica Empresarial en la Fundación Cardiovascular de Colombia, área de investigación en pediatría en la línea de sistemas de ayuda a la toma de decisiones médicas .

AUTHOR: Gregorio José Mauricio Rincón Blanco** .

KEY WORDS: Computation, Expert Systems, Artificial Intelligence, knowledge representation, production rules, inference engine, Unified Process,

ABSTRACT:

The Intensive Care Unit drives a big piece of information related to the patients' situation. Nevertheless, the data interpretation is commonly made manually; therefore it becomes a susceptible place for the medical error and an ideal environment to the application of Artificial Intelligence techniques to improve the patients' attention and treatments.

Expert systems are one of the most important fields in the application of the Artificial Intelligence that solves problems using knowledge based on facts and reasoning capability. This kind of technology supports the medical practice providing a reliable help for decision making, establishing standards, methods and treatments, without interfere with human expert autonomy.

The objective's practice, whose development appears in this document, was to support the project about Expert Systems proposed by the Colombian Cardiovascular Foundation, which is lidded for the Pediatric Surgery investigation group, that is trying to develop a software tool based on Artificial Intelligence, applied on patients in a post operating of Grade Arteries Transposition to be expanded in the future to another pathologies.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática.
Director Leonel Parra Pinilla.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Ing. Leonel Parra Pinilla, profesor titular Escuela de Ingeniería de Sistemas, Director del trabajo de grado. Por su acompañamiento constante en el desarrollo de la práctica.

Ing. Xiomara Patricia Blanco Valencia, Ingeniera de investigaciones de la Fundación Cardiovascular de Colombia, tutora de la práctica empresarial, por sus valiosas orientaciones.

Al compañero de práctica, Andrés Felipe Villamizar Vecino.

Al personal médico y asistencial del Departamento de Investigación en Cardiocirugía Pediátrica de la Fundación Cardiovascular de Colombia.

A mis padres y familiares,
quienes siempre me han ofrecido su constante
apoyo en la consecución de mis

TABLA DE CONTENIDO

1.	PRESENTACIÓN	1
1.1.	ANTECEDENTES.....	1
1.2.	OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA	2
1.2.1.	Objetivo General.....	2
1.2.2.	Objetivos Específicos.	3
1.3.	ALCANCES DE LA PRÁCTICA.....	3
1.4.	CONTENIDO DEL INFORME.....	4
2.	AMBIENTE DE DESARROLLO DEL PROYECTO	5
3.	MARCO TEÓRICO	6
3.1.	EL OBJETO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL	6
3.2.	SISTEMAS BASADOS EN EL CONOCIMIENTO O SISTEMAS EXPERTOS.....	7
3.3.	REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO	10
3.3.1.	Las redes semánticas.....	10
3.3.2.	Los marcos.....	10
3.3.3.	Guiones o <i>Scripts</i>	11
3.3.4.	Reglas de Producción	11
3.4.	PATOLOGÍA TRANSPOSICIÓN DE GRANDES ARTERIAS, COMO MODELO CLÍNICO DE INTERÉS.....	12
4.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	14
4.1.	ANÁLISIS DEL SISTEMA.....	14
4.1.1.	Situación Actual.....	14
4.1.2.	Sistema Propuesto	15
4.2.	DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.....	15
4.2.1	Fase de inicio	19
4.2.1.1	Modelado del negocio	19
4.2.1.1.1	Casos de uso del negocio	19
4.2.1.1.2	Diagramas de secuencia.....	34
4.2.1.1.3	Diagrama de casos de uso.....	38
4.2.1.1.4	Glosario	38
4.2.1.2	Definiciones del producto.....	39
4.2.1.3	Elicitar requerimientos críticos del sistema.....	30
4.2.1.4	Diseño	31
4.2.1.5	Implementación	32
4.2.1.6	Pruebas.....	32
4.2.1.7	Gestión del proyecto.....	32
4.2.2	Fase de elaboración	33
4.2.2.1	Elicitar requerimientos	33

4.2.2.2	Diseño.....	36
4.2.2.2.1	Casos de uso del sistema.....	36
4.2.2.2.2	Diagramas de secuencia del sistema	42
4.2.2.3	Implementación.....	46
4.2.2.4	Pruebas.....	49
4.2.2.5	Gestión del proyecto.....	50
4.2.3	Fase de construcción	50
4.2.3.1	Diseño	51
4.2.3.1.1	Diagrama de caso de uso del sistema	51
4.2.3.1.2	Casos de uso	52
4.2.3.1.3	Diagramas de secuencia	54
4.2.3.1.4	Diseño de la BD para el módulo de Administración de variables..	56
4.2.3.2	Implementación	58
4.2.4	Fase de Transición	67
4.2.4.1	Implementación	67
4.2.4.2	Pruebas	69
5.	INICIO DEL SEGUNDO CICLO DENTRO DEL DESARROLLO DEL PROYECTO SISTEMA EXPERTO	72
5.1.	SINTAXIS CREADA PARA LA DEFINICIÓN DE REGLAS EN LA BASE DE CONOCIMIENTO DE ACUERDO A SU CLASIFICACIÓN.....	73
5.1.1	Alarmas.....	73
5.1.2	Sugerencias.....	74
5.1.3	Medicamentos	75
5.1.4	Diagnósticos	76
5.1.5	Cambios de protocolo.....	77
5.1.6	Reglas de aserción.....	77
5.2.	INICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN WEB DEL PROTOTIPO SISTEMA EXPERTO APU.....	79
6.	OTRAS ACTIVIDADES.....	89
6.1.	PROYECTO DE CRF	89
6.2.	ARTÍCULO	89
6.3.	BIOESTADÍSTICA.....	89
6.4.	ASISTENCIA A CONFERENCIAS DEL DIPLOMADO EN HABILIDADES INVESTIGATIVAS PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA INSTITUCIONAL, DESARROLLADO EN LA FCV EN CONVENIO CON EL INSTITUTO SENA.....	90
6.5.	PUNTOS DE FUNCIÓN	91
7.	CONCLUSIONES	92
8.	PERSPECTIVAS DEL PROYECTO	94
	ANEXOS.....	102
	BIBLIOGRAFÍA.....	124

LISTA DE FIGURAS

Figura. 1	Aplicaciones de la inteligencia Artificial	7
Figura. 2	Arquitectura de un Sistema Experto.....	9
Figura. 3	. Transposición de las Grandes Arterias	12
Figura. 4	Proceso Unificado de Desarrollo de Software.....	16
Figura. 5.	Diagrama de actividades ingreso UCIP.....	26
Figura. 6	Diagrama de actividades evolución paciente	27
Figura. 7	Diagrama de actividades egreso UCIP.....	28
Figura. 8	Caso de uso del negocio.....	29
Figura. 9	Diagrama de Constantine	31
Figura. 10	Secuencia monitorear variables	42
Figura. 11	Secuencia monitorear paciente	43
Figura. 12.	Secuencia monitorear signos.....	44
Figura. 13	. Diagrama de secuencia Obtener mensajes de jess.....	45
Figura. 14.	Diálogo de ingreso de atención del paciente.....	47
Figura. 15	Diálogo datos del paciente	47
Figura. 16	. Diálogo de alarmas y sugerencias.....	48
Figura. 17	. Entorno de prueba del prototipo de sistema experto con simulador ...	49
Figura. 18	Entorno de prueba del prototipo de sistema experto en UCI.....	50
Figura. 19	Diagrama de caso de uso	51
Figura. 20	Diagrama de secuencia analizar ECG	55
Figura. 21	Diagrama de secuencia graficar variables.....	56
Figura. 22.	Diagrama de modelo de base de datos	57
Figura. 23.	Diálogo Analizar ECG	58
Figura. 24	Gráfica de signos vitales.....	59
Figura. 25.	Diálogo de variables graficables.....	60
Figura. 26.	Diálogo datos del paciente	60
Figura. 27	Frame variables del sistema	62
Figura. 28	Diálogo de configuración de estándar	63
Figura. 29	Diálogo definición de nuevo criterio	64
Figura. 30	Definición de nuevo estándar.....	65
Figura. 31	Definición de variable por rango numérico	65
Figura. 32.	Definición de variable cualitativa	66
Figura. 33	Diálogo parametrizar variables	66
Figura. 34	Formulario de opciones del sistema	68
Figura. 35	Acceso al módulo administrar variables, a través de las ventanas de opciones del sistema	68
Figura. 36	Pantalla principal SE-APU Web.....	79
Figura. 37	Detalle área de control de alarmas y seguimiento de variables.....	81

Figura. 38. Gráfica de variables en Matlab	83
Figura. 39 . Visualización de reglas portadoras de sugerencias.....	84
Figura. 40. Diagrama de paquetes.....	85
Figura. 41 . Diagrama Web, mapa del sitio.....	86
Figura. 42 Pantalla inicial Apu Web	87
Figura. 43 Diseño Web módulo de Administración de reglas.....	88
Figura. 44 . Administración de variables	88
Figura. 45 Jerarquía de Directorios.....	102
Figura. 46 Interfaz del prototipo.....	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tareas ejecutadas de la práctica, ajustadas al Proceso Unificado	28
Tabla 2 Requisitos críticos del sistema	39
Tabla 3 Requisitos transaccionales	42
Tabla 4 Requisitos de interfaz	44
Tabla 5 Características adicionales	44
Tabla 6 Pruebas del módulo administración de variables	78
Tabla 7 Pruebas de módulos integrados	79
Tabla 8 Pruebas de rendimiento del módulo de monitoreo	79
Tabla 9 Componentes swing	111
Tabla 10 Contenedores swing	111
Tabla 11 Menús Swing	112
Tabla 12 Tipos de datos	112
Tabla 13 Proyecto formatos de recolección de datos CRF	113

PRESENTACIÓN

ANTECEDENTES

La historia del desarrollo de los sistemas expertos (SE), tiene sus orígenes a principios de la década de los años 60 con la aparición de la Inteligencia Artificial (IA), disciplina que ha sido objeto de numerosas investigaciones desde aquel entonces y que abarca varios campos que tienen como característica común, el desarrollo de máquinas que puedan llevar a cabo tareas con requerimientos de inteligencia humana para ser ejecutadas. Dentro de éste tipo de sistemas, se enmarcan los SE y la investigación específica en ellos inició entre 1965 y 1970 con la aparición de aplicaciones orientadas hacia juegos y temáticas académicas.

Es precisamente, en el campo de la medicina, donde los sistemas expertos han tenido una de sus aplicaciones más sobresalientes, pues la implementación de este tipo de tecnologías, ha hecho un significativo aporte a la práctica clínica, brindando un soporte confiable para la toma de decisiones, sugiriendo alternativas fundamentadas en un razonamiento, y estandarizando procesos, métodos y tratamientos, teniendo como premisa el respeto por la autonomía del experto humano, dado que la meta principal de un sistema experto, es hacer del conocimiento una herramienta disponible para aquellas personas encargadas de tomar decisiones y que necesitan respuestas inmediatas ante diferentes circunstancias.

Sistemas Expertos médicos muy reconocidos como MYCIN, que diagnostica y receta enfermedades infecciosas de la sangre, PUFF, que diagnostica la presencia y severidad de enfermedades pulmonares, *Brain Tumors Diagnostic*

System (BTDS), que asiste al médico en el diagnóstico de tumores cerebrales, el *Cancer Diagnosis Application*¹, sistema experto desarrollado en Taiwán para la detección temprana del cáncer de seno, son solo algunos de los muchos SE que se han aplicado con éxito en el ámbito médico; esto debido principalmente a lo bien estructurados que se encuentran los conocimientos médicos y la conexión directa de síntomas y pruebas de laboratorio con diagnósticos y tratamientos a seguir.

Pese a que el desarrollo de este tipo de sistemas es relativamente reciente, hoy existen en el mundo, una gran gama de sistemas expertos aplicados a una amplia variedad de áreas de estudio, organizaciones, procesos de producción, entre otros, tomando cada vez más fuerza y vislumbrando un futuro promisorio de la ciencia en esta área de investigación.

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

1.1.1. Objetivo General. Complementar los conocimientos adquiridos en la universidad, aplicándolos a problemáticas del mundo real a través del conocimiento y acercamiento a las tecnologías y formas de organización utilizadas en la empresa. Así mismo, adquirir conocimientos profesionales y vivencias personales no impartidos en la academia, facilitando un ejercicio pedagógico, que conlleve al fortalecimiento de competencias, desarrollando habilidades, destrezas y criterios necesarios en el mundo empresarial.

¹ **DARLINGTON**, Keith. Basic Experts Systems (online). Reino Unido, Junio 1996. <http://www.bcsnsg.org.uk/itin08/darling.htm>

1.1.2. Objetivos Específicos. Los objetivos específicos propuestos en el plan, para esta práctica empresarial son:

- Participar en la selección del motor de inferencia más apropiado, para desarrollar un prototipo de sistema experto basado en el conocimiento.
- Evaluar el motor de inferencia Jess61p8, analizando la facilidad de integración que presenta con java, las funcionalidades con las que cuenta, y la practicidad a la hora de definir la base de conocimiento y las reglas o hechos referentes al dominio.
- Apoyar el diseño e implementación del Módulo de almacenamiento y razonamiento del proyecto prototipo de sistema experto, con base en el motor de inferencia seleccionado.
- Apoyar el diseño e implementación del Módulo de actualización del proyecto prototipo de sistema experto.
- Asistir a capacitaciones y charlas, que enriquezcan la formación como ingeniero de sistemas, por medio de la adquisición de nuevos conocimientos.

ALCANCES DE LA PRÁCTICA

El desarrollo de ésta práctica empresarial, ofrece una aproximación a un sistema basado en el conocimiento, con sus fundamentos cimentados en la inteligencia artificial, que haciendo uso de alta tecnología, brinda una alternativa para el diagnóstico oportuno de las complicaciones más frecuentes sobre la morbimortalidad de los pacientes pediátricos sometidos a un procedimiento quirúrgico cardiovascular, particularmente la Transposición de Grandes, que podría ser extendido en un futuro próximo hacia otras disciplinas y centros de atención de alta complejidad. Además se pretende ofrecer un instrumento

especializado, de bajo costo y enormes beneficios tanto para los pacientes como para el sector público y privado.

CONTENIDO DEL INFORME

Este informe contiene la documentación correspondiente al trabajo de grado adelantado en la modalidad de práctica empresarial en la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV) titulado “Práctica Empresarial en la Fundación Cardiovascular de Colombia, área de investigación en pediatría en la línea de sistemas de ayuda a la toma de decisiones médicas”. En el primer capítulo se hace una presentación de la práctica describiendo los detalles mas relevantes; en el segundo capítulo se especifican los requerimientos en cuanto a las herramientas necesarias para ejecutar la aplicación elaborada. En el tercer capítulo se describen los aspectos teóricos relacionados con la temática del proyecto. El cuarto capítulo entra en detalles en cuanto al desarrollo del sistema. El quinto capítulo se aborda la el trabajo realizado, con respecto a la construcción de la versión Web del aplicativo; el sexto capítulo hace referencia a las actividades complementarias adelantadas en la ejecución de la práctica, el séptimo capítulo agrupa las observaciones y conclusiones a las cuales se llegó como consecuencia de la práctica. En el octavo capítulo, se listan las perspectivas que se tienen para el proyecto. Finalmente, se presentan los anexos y se lista la bibliografía de referencia para la elaboración del este informe.

2. AMBIENTE DE DESARROLLO DEL PROYECTO

En el desarrollo de la práctica se construyó una versión *Stand Alone* del protipo Sistema Experto, usando el lenguaje de programación java. A continuación se presentan los servicios necesarios para la ejecución del sistema:

- Java Runtime Enviroment. Que incluye todas las utilidades necesarias para correr aplicaciones java.
- Gestor de base datos de Microsoft Access 2000 o superior.
- Drivers JDBC para Microsoft SQL Server 2003.
- Librería Precompilada JMAtLink v1.3.0, que permite manipular las funciones para graficar de Matlab.
- Matlab6.5.
- Motor de Inferencia Jess61p8. Que permite al sistema desarrollar procesos de inferencia.

La versión Web, creada hacienda uso de la tecnología JSP, requiere de los servicios mencionados anteriormente mas:

- En el servidor , Tomcat5.x de *Apache Software Foundations*.
- En el cliente, un navegador de Internet que soporte la tecnología JSP.

3. MARCO TEÓRICO

EL OBJETO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial tiene por objeto, el estudio del pensamiento inteligente en las máquinas, el cual supone percibir, razonar, aprender comunicarse y actuar en entornos complejos, aplicando procesos similares a los desarrollados por el razonamiento humano. El hecho de llegar en un futuro, a construir máquinas pensantes, ha inspirado el desarrollo de la inteligencia artificial y se ha convertido en la meta concluyente, hacia la cual la inteligencia artificial, no ha dejado de aproximarse constantemente².

Uno de los paradigmas bajo los cuales se enfoca la inteligencia artificial, es el desarrollar una serie de aplicaciones denominadas aproximaciones basadas en el procesamiento de símbolos, destacándose entre éstas, aquellas que se fundamentan en la aplicación de operaciones lógicas sobre bases de conocimiento. Bajo este modelo, el conocimiento sobre un problema de un dominio particular, es representado mediante sentencias declarativas, aplicando sobre éstas la inferencia lógica como mecanismo para deducir consecuencias.

A diferencia de la programación tradicional, bajo la cual la solución a un problema particular es codificada de manera un tanto rígida, la IA proporciona soluciones a problemas en donde el procesamiento de información simbólica es una constante, conduciendo a la toma de decisiones basadas en inferencias aplicadas a los

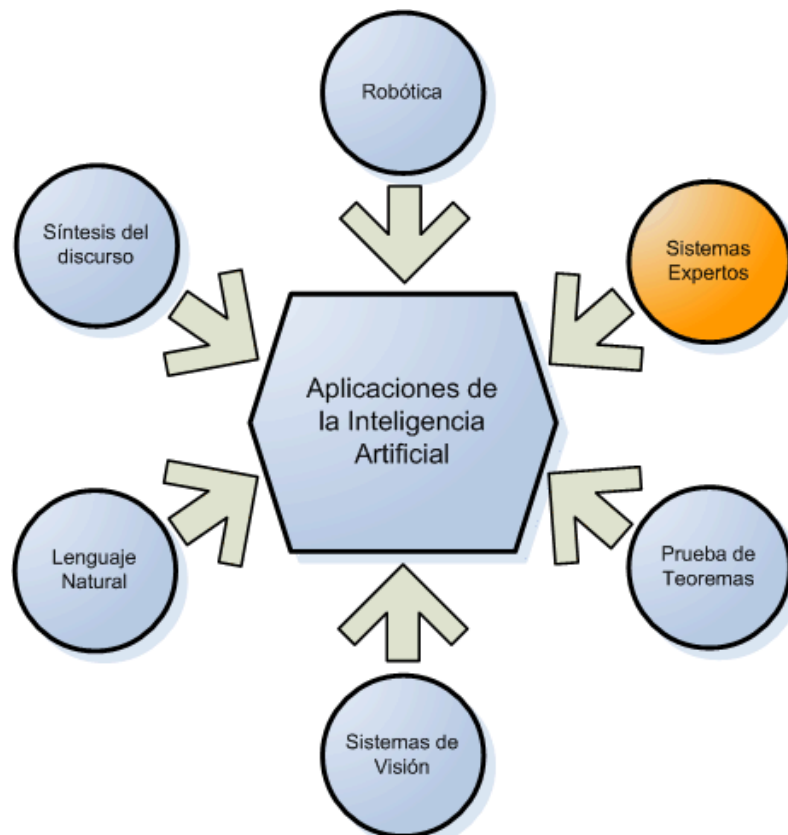
² **NILSON**, J. Nils. Inteligencia Artificial Una Nueva Síntesis. México:2001. p 1.

conocimientos de un área específica, provenientes éstos últimos, de los expertos que los han construido en su mayoría a través de la experiencia.

SISTEMAS BASADOS EN EL CONOCIMIENTO O SISTEMAS EXPERTOS

Los Sistemas Expertos, son uno de los muchos campos de aplicación de la inteligencia artificial. Se definen como programas que intentan imitar el comportamiento de un experto humano, aplicando los conocimientos de un área específica que habitualmente se conoce como el dominio, siendo ésta su principal característica a la cual deben su nombre.

Figura. 1 Aplicaciones de la inteligencia Artificial



De acuerdo con Rolston³, Internamente un sistema experto se caracteriza por contar con los siguientes atributos:

- Amplio conocimiento específico, a partir del campo de interés.
- Aplicación de técnicas de búsqueda.
- Soporte para análisis heurístico.
- Habilidad para inferir nuevos conocimientos, a partir de conocimientos a existentes.
- Procesamiento de símbolos.
- Capacidad para explicar su propio razonamiento.

Por tanto, los sistemas expertos se utilizan para llevar a cabo tareas, que en el pasado solamente podían llevar a cabo un número limitado de personas expertas con alto entrenamiento. A través de la aplicación de técnicas de inteligencia artificial, los sistemas expertos captan el conocimiento básico que permite a una persona desempeñarse como un experto frente a problemas complicados.

La arquitectura básica de un sistema experto puede sintetizarse en:

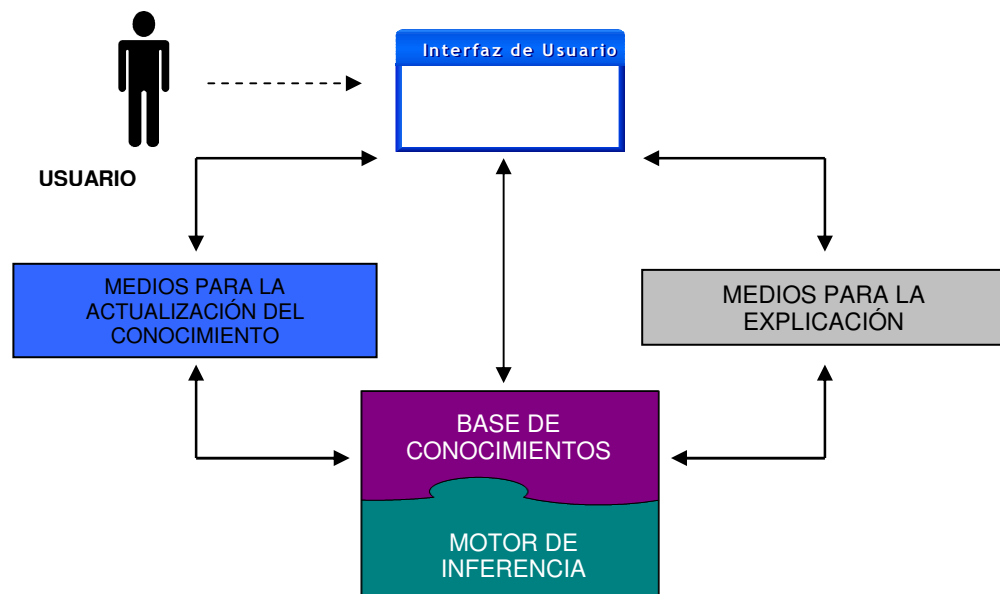
- Base de conocimientos: Es la parte del sistema experto que contiene el conocimiento sobre el dominio. Establece la capacidad del sistema para actuar como un experto. La adquisición del conocimiento es comúnmente, la de mayor dificultad en la construcción de un sistema experto.
- Base de hechos (memoria de trabajo): Contiene los hechos relacionados con un dominio específico.
- Motor de inferencia: El sistema experto modela el proceso de razonamiento humano con un módulo conocido como el motor de inferencia. Es el

³ **ROSTOLN**, David. Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos. McGraw Hill 1990. p 2

encargado de contrastar los hechos particulares que se encuentran almacenados en la memoria de trabajo, con el conocimiento contenido en la base de conocimientos, para arrojar una conclusión acerca de la situación que se esté presentando.

- Subsistema de explicación. Por medio de éste módulo, un sistema experto puede proporcionar una explicación al usuario del por qué hace determinada acción y cómo ha llegado a una conclusión.
- Medios para la actualización de conocimiento: El conocimiento crece y cambia continuamente, por lo cual la base de conocimiento se debe poder modificar en el mismo sentido.
- Interfaz de usuario: Debe ser amigable y permitir al usuario comunicarse con facilidad con el sistema experto. Así mismo, a través de esta, el sistema experto debe arrojar los resultados de una manera entendible y clara para el usuario. Idealmente, ésta facilidad, se compone de un procesador de lenguaje natural que acepta y devuelve información en la misma forma en que lo haría una persona experta.

Figura. 2 Arquitectura de un Sistema Experto



En la figura 2, se aprecia la arquitectura típica de un sistema experto, y la manera como se relacionan cada uno de los módulos que lo componen.

REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO

Son varias las técnicas desarrolladas dentro en la Inteligencia Artificial para representar el conocimiento. Dentro de las más frecuentes encontramos:

3.1.1. Las redes semánticas. Se basan en la representación gráfica del conocimiento, estableciendo las relaciones existentes entre los elementos de un dominio. Una representación por medio de este esquema está compuesta por nodos e hilos, donde los nodos representan los conceptos y los hilos, las relaciones binarias entre éstos, acompañados de una interpretación. Sin embargo, este método resulta simple y débil cuando con él se trata de modelar la complejidad del conocimiento humano, en donde podrían existir cualquier infinidad de lazos, expresando las mismas o similares asociaciones.

3.1.2. Los marcos. Es una técnica similar a la de las redes semánticas. Funciona a partir de una red de nudos organizados jerárquicamente, en donde los nudos mayores representan conceptos generales, mientras que los nudos menores, las instancias específicas de éstos conceptos. Los enlaces asociados a un concepto son llamadas ranuras. Por su estructura, resultan prácticos a la hora de guardar información acerca de objetos, pues incluyen información de tipo declarativo, procedimental e inclusivo.

3.1.3. Guiones o *Scripts*. Los guiones describen secuencias de acontecimientos dentro de un contexto. Definen situaciones que son perfectamente conocidas y que no sufren cambios significativos.

3.1.4. Reglas de Producción. Esta es la forma más usada de representar el conocimiento, dado que facilita el proceso de inferencia y tienen la forma de:

if *condición(es)* **then** *conclusión(es)*

Se llama antecedente a las condiciones que deben cumplirse para que la regla se use y son las declaraciones que relacionan algunos elementos de la realidad con referencia al área específica. Éstas pueden estar ligadas por los operadores *and* u *or*. Por otra parte el consecuente, son las acciones que se van a realizar al usar la regla.

Las reglas pueden ser:

- Reglas de procedimiento: Son reglas bien definidas e invariables que describen secuencias fundamentales de eventos y relaciones relativas al área.
- Reglas Heurísticas: Son reglas generales en formas de opiniones o reglas empíricas, que sugieren procedimientos que se pueden seguir cuando no existen disponibles reglas de procedimientos invariables. Dichas reglas son aproximadas y han sido generalmente acuñadas por el experto a través de su experiencia⁴.

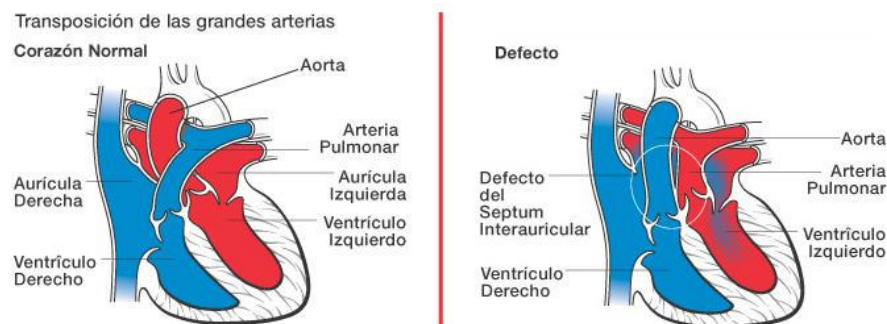
⁴ ROSTOLN, David. Op. Cit p 53.

Según lo planteado por Velarde⁵ ésta técnica se ha impuesto en la representación del conocimiento de tipo procedimental, por cuanto logra simplificar el conocimiento a unos elementos primitivos más las reglas de producción, logrando a partir de éstos obtener los elementos más complejos del sistema, partiendo de la noción de la Inteligencia Artificial más importante, la recursividad, a partir de la cual un conjunto de elementos, ideas o definiciones es suficiente para alcanzar ciertas formas de conocimiento o la solución a un problema.

PATOLOGÍA TRANSPOSICIÓN DE GRANDES ARTERIAS, COMO MODELO CLÍNICO DE INTERÉS

La Transposición de las Grandes Arterias o Grandes Vasos es un defecto congénito en el cual, las arterias mayores están invertidas. Así, mientras en una persona normal la sangre oxigenada se distribuye por el cuerpo y la sangre baja en oxígeno es llevada a los pulmones, en las personas con defecto de las arterias, la sangre baja en oxígeno es distribuida en el organismo y la sangre llena de oxígeno vuelve a los pulmones.

Figura. 3 . Transposición de las Grandes Arterias



⁵ **VELARDE**, Julián. Sistemas Expertos (online). Universidad de Oviedo , España. http://www.ucm.es/info/eurotheo/diccionario/S/sistemas_expertos.htm

Como consecuencia, el niño se pone morado y presenta dificultad para respirar produciéndole cansancio con facilidad. Normalmente, se requiere someter al niño a operación quirúrgica la mayoría de veces en los primeros días de nacido⁶.

Esta patología fue escogida como modelo inicial para la aplicación del prototipo por parte del personal Médico de la FCV, por cuanto se trata de una enfermedad que es ampliamente conocida, y de la cual han diseñado protocolos de manejo bien definidos. Además, su atención involucran una gran cantidad de variables que la hacen compleja y susceptible del error médico.

⁶ American Heart Association (online). Transposición de Grandes Arterias. 2006. <http://www.americanheart.org/presenter.jhtml?identifier=1372#>

4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

ANÁLISIS DEL SISTEMA

4.1.1. Situación Actual. La Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), se caracteriza por ser uno de los escenarios médicos que dispone de gran cantidad de información acerca del estado del paciente que, aunque es obtenida en su mayoría por medios electrónicos (como los dispositivos de monitoreo de los signos vitales y los registros de control de los pacientes provenientes de la Historia Clínica Electrónica), su interpretación se lleva a cabo de forma manual en la mayoría de las unidades, situación que por requerir de la intervención humana directa, produce pérdida e incorrecta transcripción de datos.

La mortalidad por Transposición de Grandes Arterias (TGA) en las unidades de cuidado intensivo (UCIs) es un indicador de calidad, debido a la alta complejidad del manejo postoperatorio, a la baja tolerancia al error, requiriéndose una estructura organizacional sofisticada, coordinación de esfuerzos de múltiples personas trabajando en equipo y altos niveles de conocimiento y desempeño técnico⁷. En los mejores centros del mundo el porcentaje de sobrevivida como resultado de una intervención quirúrgica por TGA se calcula cercano al 100%, pero en nuestro contexto, estos niveles pueden incluso ser inferiores al 40%.

⁷ **LEVAL** Marc, MD. **CARTHEY** Jane, PhD. **WRIGHT** David, PhD. And all United Kingdom pediatric cardiac centers. Human Factors and Cardiac Surgery: a multicenter study. *Toracic Cardiovasc. Surg.*-01-APR-2000;119(4 pt) 661-72 from NIV MEDLINE. Citado por: Víctor Raúl Castillo, Xiomara Patricia Blanco Valencia, Álvaro Eduardo Durán, Gregorio José Mauricio Rincón Blanco, Andrés Felipe Villamizar Vecino. Sistema Experto para Soporte Diagnóstico en el Postoperatorio De Transposición De Grandes Arterias.

4.1.2. Sistema Propuesto. Dada la situación anterior, en donde la UCI se muestra como un entorno donde los volúmenes de información manejados, son demasiado grandes para ser procesados únicamente por humanos y donde el error es susceptible de convertirse en una constante, la FCV plantea el proyecto Sistema Experto, viendo en la aplicación de herramientas de Inteligencia Artificial, la mejor solución a la necesidad de contar con una herramienta que permita mejorar la eficiencia en el cuidado de los pacientes, para lo cual requiere de la participación de dos estudiantes de ingeniería que participen, en la modalidad de Práctica Empresarial.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

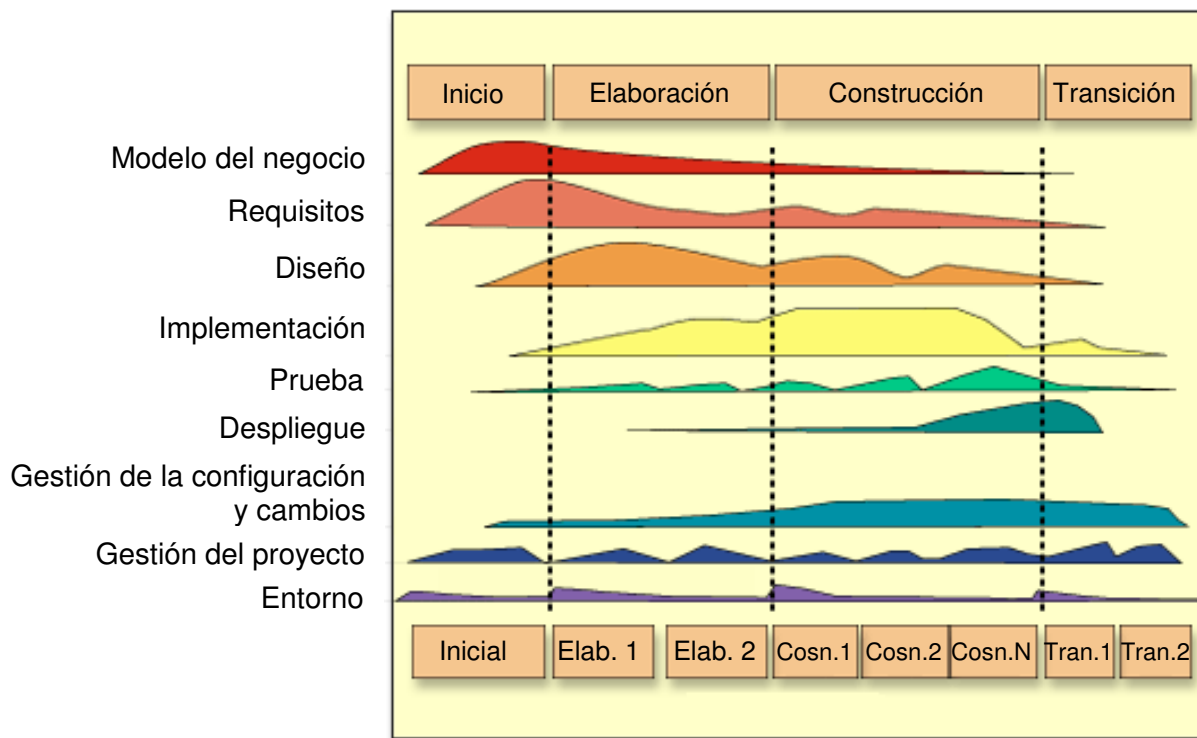
Como metodología de desarrollo, se implementó el Proceso Unificado de Desarrollo de Software (PU), fundamentado en seis practicas:

- El desarrollo iterativo.
- La administración de requerimientos.
- La arquitectura basada en componentes.
- El modelado visual.
- La verificación continua de la calidad.
- La administración del cambio.

El proceso unificado define un conjunto de disciplinas de trabajo dentro de las cuales encontramos el modelado del negocio, levantamiento de requisitos, diseño, implementación, pruebas, entre otras. Cada una de éstas disciplinas, implica un conjunto de actividades en un área específica que deben ser desarrolladas a lo

largo de las iteraciones. Como se ilustra en la figura 4, durante cada iteración, el trabajo se desarrolla en la mayoría de las disciplinas. Sin embargo el esfuerzo relativo en cada una de ellas cambia a lo largo del tiempo. Las primeras iteraciones, como es de suponer, tienden a aplicar un mayor esfuerzo relativo a los requisitos y al diseño y en las posteriores se reduce, cuando éstos se estabilizan, mediante un proceso de realimentación y adaptación⁸. A continuación se presenta una breve descripción de las fases que componen el proceso unificado.

Figura. 4 Proceso Unificado de Desarrollo de Software



Igualmente, el UP organiza las iteraciones en fases, siendo éstas:

⁸ LARMAN, Craig. UML y Patrones, Segunda Edición. Madrid España 2003. Prentice Hall.

- Fase de Inicio: a lo largo de esta fase debe formar una visión aproximada de la problemática, definir el alcance y hacer estimaciones.
- Elaboración: visión refinada, Implementación iterativa del núcleo central de la arquitectura, resolución de los riesgos altos, identificación de más requisitos y alcance. Estimaciones más realistas.
- Construcción: implementación iterativa de los requisitos de menor riesgo.
- Transición: pruebas y despliegue.

Para el caso particular, el proyecto Sistema Experto se dividió en ciclos aplicando sobre cada uno ellos el PU, obteniendo como resultado de los mismos una versión evaluable del producto.

En el desarrollo del plan, se cubrieron disciplinas específicas a lo largo de las iteraciones, unas en mayor proporción que otras, ajustándose a la naturaleza de la labor que como estudiante en práctica, desempeñé en la FCV De esta manera, se abarcaron las cuatro fases definidas por el PU enmarcadas dentro de un primer ciclo del proyecto, alcanzando a abordar las primeras instancias de un segundo ciclo, con la implementación de la pantalla de monitoreo versión Web.

En la tabla 1 se muestra una gráfica, que ilustra cada una de las tareas desarrolladas durante la práctica, correspondientes al primer ciclo del proyecto, enmarcadas dentro del PU. En dicha figura como se puede ver, cada tarea se encuentra relacionada a una disciplina del PU, y se puede apreciar cómo fueron ejecutadas, iteración tras iteración, a lo largo de la aplicación del modelo. Es importante resaltar, que el grado de intensidad del color, indica la dedicación o el esfuerzo con que se trabajó en un momento determinado para la tarea específica.

La duración de cada iteración fue de 3 semanas. Éstas se encuentran agrupadas en cada una de las fases de desarrollo del proyecto definidas por el PU, a saber, inicio, elaboración, construcción y transición.

Tabla 1. Tareas ejecutadas de la práctica, ajustadas al Proceso Unificado

Proceso Unificado de Desarrollo de Software (PU)		PRIMER CICLO						
Disciplinas del PU	Tareas	Inicio		Elaboración		Construcción		Transición
		Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3	Iteración 4	Iteración 5	Iteración 6	Iteración 7
Modelado del negocio	Modelos de casos de uso del negocio							
	Diagramas de casos de uso del negocio							
	Glosario médico							
	Diagramas de actividades							
Definición del Producto	Documentación sobre SE							
	Entrenamiento el motor de inferencia Jess61p8							
	Documentación acerca de la TGA							
Elicitar requerimientos	Listado de requerimientos críticos del sistema							
	Levantamiento de requerimientos del modulo de variables							
Diseño	Diagrama de cuadros de constantine							
	Casos de uso del sistema							
	Diagramas de casos de uso del sistema							
	Diagramas de secuencia							
	Diagramas de flujo - tratamientos							
	Diagrama de modelo de BD - modulo amd. variables							
Implementación	Def. de la bases de conocimiento en Jess para TGA							
	Primer prototipo -DOS							
	Desarrollo interfaz java - motor de inferencia							
	Primer prototipo gráfico							
	Generación de gráficas y análisis de ecocardiograma							
	Desarrollo del módulo de administración de variables							
	Integración de los módulos							
Pruebas	de módulo independiente							
	de módulos integrados							
	de rendimiento del sistema							
Gestión del proyecto	Definición del estándar de programación							
	Estructura del árbol de directorios y adm. de versiones							

A continuación se describen las actividades realizadas en la práctica, de acuerdo a la metodología planteada:

4.2.1 Fase de inicio. Dentro de la fase de inicio tienen particular importancia para el PU, ciertas actividades como son el modelado del negocio, el levantamiento de requerimientos y la definición del producto que se desea desarrollar.

4.2.1.1 Modelado del negocio. La razón principal por la cual es importante crear un modelo del negocio, es por que a través de dicho artefacto⁹ podemos identificar las clases conceptuales significativas en un dominio del problema siendo de vital importancia durante el análisis orientado a objetos. Por definición, un modelo del dominio es una representación de las clases conceptuales del mundo real, no de componentes software¹⁰. No se trata de un conjunto de diagramas que describen clases software, u objetos software con responsabilidades.

4.2.1.1.1 Casos de uso del negocio. Con base en la información suministrada por el departamento de calidad de la Fundación Cardiovascular, apoyados en un modelo inicial de casos de uso desarrollado con anterioridad por ingenieros de la Fundación Cardiovascular, y a partir de la observación del entorno de trabajo del personal de la UCI pediátrica, se llevó a cabo la elaboración de los diagramas UML relacionados, y la definición de los casos de uso del negocio, elaborados a partir del formato suministrado en <http://www.usecases.org>.

PRIMER CASO DE USO – INGRESAR PACIENTE UCIP

Actor Principal: Médico UCIP.

Personal Involucrado e Intereses:

⁹ En Proceso Unificado (UP), artefacto es el término general, para cualquier producto del trabajo: código, gráficos Web, esquemas de bases de datos, documentos de texto, diagramas, modelos...etc.

¹⁰ **LARMAN**, Craig. UML y Patrones. Op. Cit. P 122.

- Medico UCIP: Quiere recibir información oportuna del estado del paciente, conocer su procedencia y antecedentes para emitir un plan de manejo adecuado.
- Personal Asistencial: Quiere conocer el estado del paciente y sus necesidades, para la disposición del cubículo.
- Servicio Externo Remitente: Quiere remitir el paciente a la UCIP y confirmar la remisión del paciente a la UCIP.
- Clínica: Quiere brindar la mejor atención al paciente, satisfaciendo sus necesidades. Quiere asegurarse de que se registre el estado de ingreso del paciente a la UCIP.

Precondiciones: La auxiliar de admisiones o el servicio de urgencias confirma ingreso del paciente indicando procedencia.

Garantía de éxito (Postcondiciones): El paciente es ingresado a UCIP y registrado su estado en Historia Clínica (HC) e Historia Clínica Electrónica (HCE), el cubículo es dispuesto y se emite un plan de manejo acorde a las necesidades, por parte del médico.

Escenario Principal de Éxito:

1. El médico de turno recibe telefónica mente o vía fax la información del estado del paciente.
2. Se informa de las condiciones generales del paciente a la enfermera y auxiliar encargadas de recibirlo.
3. La auxiliar de enfermería, dota el cubículo asignado, con los elementos y equipos necesarios, mediante la guía de dotación del mismo.

4. A la llegada del paciente, la enfermera y la auxiliar reciben al paciente y lo monitorizan. La enfermera registra su ingreso en el proceso de enfermería de la HCE y la auxiliar de enfermería realiza el registro de parámetros hemodinámicos, ventilación, y control de líquidos administrados y eliminados, en los registros establecidos dentro de la historia clínica
5. El médico de turno realiza el ingreso teniendo en cuenta el interrogatorio, revisión de historia clínica, y examen físico.
6. El médico de turno registra en HC el diagnóstico, la categoría, objetivo, y el concepto en el cual estipula el criterio de entrada, y el plan de manejo.
7. El médico de turno realiza órdenes de medicamentos, hemoderivados, nutrición, procedimientos, controles y actividades.

Extensiones (o flujos alternativos):

- 2^a. El paciente es procedente de otro servicio de la institución.
 1. La enfermera del servicio remitente, informa a la enfermera encargada de la unidad, el estado del paciente.
- 2b. El paciente proviene de otra institución.
 1. El médico de turno, informa las condiciones generales del estado del paciente a la enfermera.

SEGUNDO CASO DE USO – EVOLUCIONAR PACIENTE

Actor Principal: Médico UCIP, Personal Asistencial

.

Personal Involucrado e Intereses:

- Médico UCIP: Quiere recibir de modo oportuno información acerca de los cambios súbitos en el estado del paciente. Quiere contar con una monitoría

constante de las variables relevantes para un paciente, de acuerdo a la patología que presenta el mismo. Quiere tener a su disposición información histórica que le permita evaluar el comportamiento del estado de salud del paciente. Quiere poder determinar un plan de manejo adecuado para cada situación particular que se presente.

- Personal Asistencial: Quieren contar con instrumentos que le suministren información acerca del comportamiento de las variables a monitorizar en un paciente. Quieren hacer un seguimiento a la evolución de cada paciente. Quieren suministrar los medicamentos ordenados por el médico en el momento oportuno. Quiere registrar los cambios que se presenten en el paciente.
- Clínica: Quiere brindar la mejor atención al paciente, satisfaciendo sus necesidades. Quiere que el personal médico y asistencial, cuente con las herramientas necesarias para cumplir su labor.
- Secretaría de Salud: Quiere ejercer control sobre los medicamentos que son suministrados a los pacientes.
-

Precondiciones: El paciente ha sido ingresado a la UCIP.

Garantía de éxito (Postcondiciones): El paciente es monitorizado continuamente permitiéndole al médico tomar decisiones oportunas y en muchos casos anticipadas a las complicaciones que puedan presentarse.

Escenario Principal de Éxito:

1. La Revista Médica se realiza en cada uno de los turnos con la participación de todo el grupo interdisciplinario.

2. El personal interdisciplinario visita uno a uno los pacientes de la unidad, valorando su estado de salud y emitiendo juicios sobre el manejo,
3. El médico diligencia los registros de evolución y ordenes médicas de la historia clínica, teniendo en cuenta la valoración y recomendaciones de la revista.
4. Las enfermeras, terapeutas respiratorias, auxiliares de enfermería y nutricionistas ejecutan los procedimientos descritos relacionados a la atención del paciente hospitalizado en la unidad, que conlleven a la satisfacción de necesidades de cada paciente.
5. El personal asistencial de la UCIP, notifica al médico de turno todo tipo de cambio que presente el paciente para que él a su vez, valore al paciente, ordene y se realicen procedimientos que contribuyan a la estabilización del mismo.
6. El personal de enfermería debe notificar y registrar los cambios, así como las acciones tomadas, en los registros de la historia clínica establecidos, con hora y fecha.

TERCER CASO DE USO – EGRESAR PACIENTE UCIP

Actor Principal: Médico UCIP, Personal Asistencial UCIP

Personal Involucrado e Intereses:

- Medico UCIP: Quiere evaluar correctamente al paciente, para determinar si puede abandonar la UCIP.
- Personal Asistencial: Quiere realizar los trámites administrativos y clínicos del caso, de manera eficiente.
- Servicio Receptor: Quiere recibir el paciente y contar con la información oportuna del estado del mismo.
- Clínica: Quiere trasladar de manera eficiente al paciente, al destino particular sea este un servicio interno de la misma u otra Institución.

- Medicina Legal: Quiere corroborar las causas del fallecimiento del paciente, en caso de que las circunstancias así lo requieran.

Precondiciones: Orden de traslado por parte del médico de turno en historia clínica.

Garantía de éxito (Postcondiciones): Se realizan los registros pertinentes en historia clínica, trámites administrativos y procedimientos clínicos y el paciente es remitido al destino.

Escenario Principal de Éxito:

1. La enfermera o auxiliar de enfermería solicita a la secretaria del servicio la asignación de cama en el servicio de hospitalización.
2. La auxiliar de enfermería se encarga de la preparación del cubículo.
3. La enfermera encargada del paciente procederá a la preparación del traslado del paciente realizando procedimientos clínicos y administrativos.
4. La enfermera hace entrega del paciente telefónicamente a la enfermera encargada del servicio receptor y traslado de la historia clínica electrónica al servicio de destino.
5. La enfermera entrega verbalmente al paciente y envía epicrisis.
6. La auxiliar de enfermería prepara los elementos necesarios para el traslado junto con las pertenencias del paciente y la enfermera los verifica.
7. Se entregará al familiar reportes de laboratorio y de exámenes realizados durante su estancia en la Unidad.

Extensiones (o flujos alternativos):

1^a. El paciente ha fallecido.

1. El médico de turno confirmará el fallecimiento mediante su valoración.

2. Informa a la familia o responsable el deceso.
3. Diligencia el certificado de defunción, la epicrisis en la Historia clínica electrónica.
4. La enfermera realiza el trámite administrativo de entrega del cadáver.

1^a. Se desconoce la causa del fallecimiento y el paciente no procede de otra PIS.

1. El medico debe contactar a medicina legal

2^a. El paciente se traslada al servicio interno de hospitalización.

2^b. El paciente se traslada a otra Institución.

1. La enfermera coordina el traslado del paciente.

2. La secretaria solicita el servicio de ambulancia.

4.2.1.1.2 Diagramas de secuencia. Los diagramas de actividades, son los de mayor utilidad cuando lo que se desea es entender la estructura y dinámica del entorno en el cual se desea desplegar un sistema. A continuación se presentan los diagramas de actividades elaborados, en donde se describen los casos de uso que hasta aquí se han expuesto.

Figura. 5. Diagrama de actividades ingreso UCIP

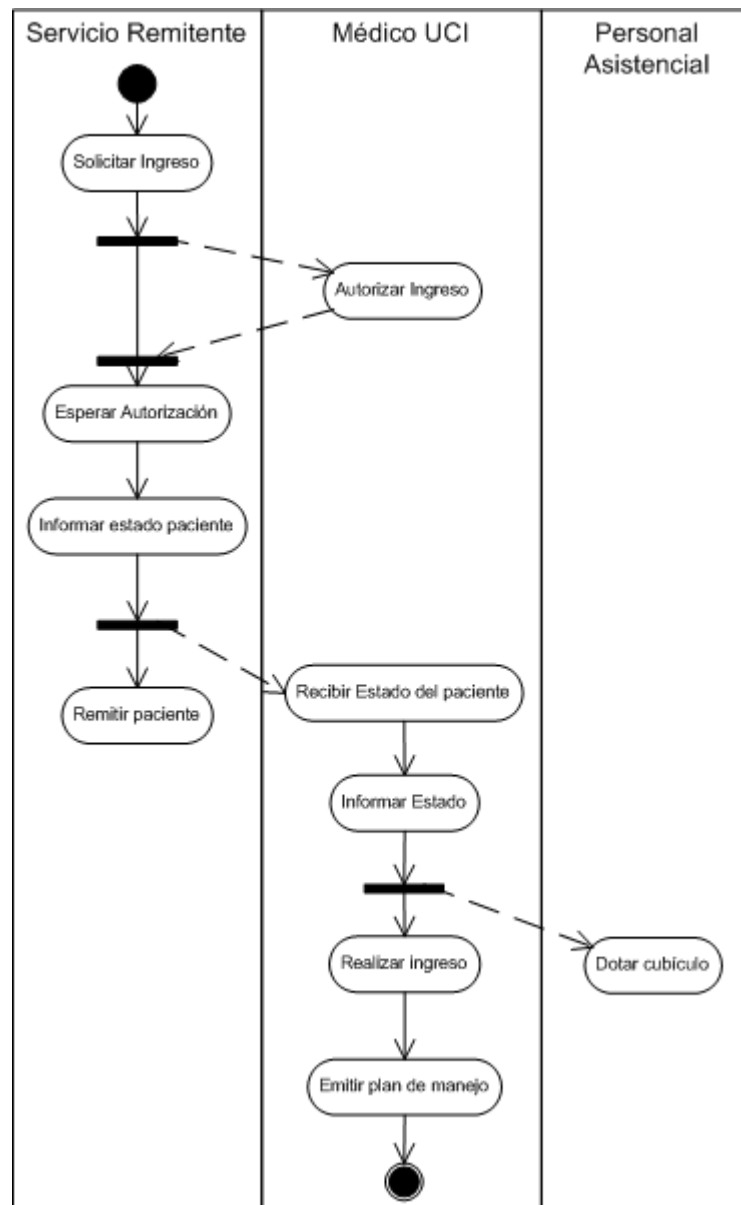


Figura. 6 Diagrama de actividades evolución paciente

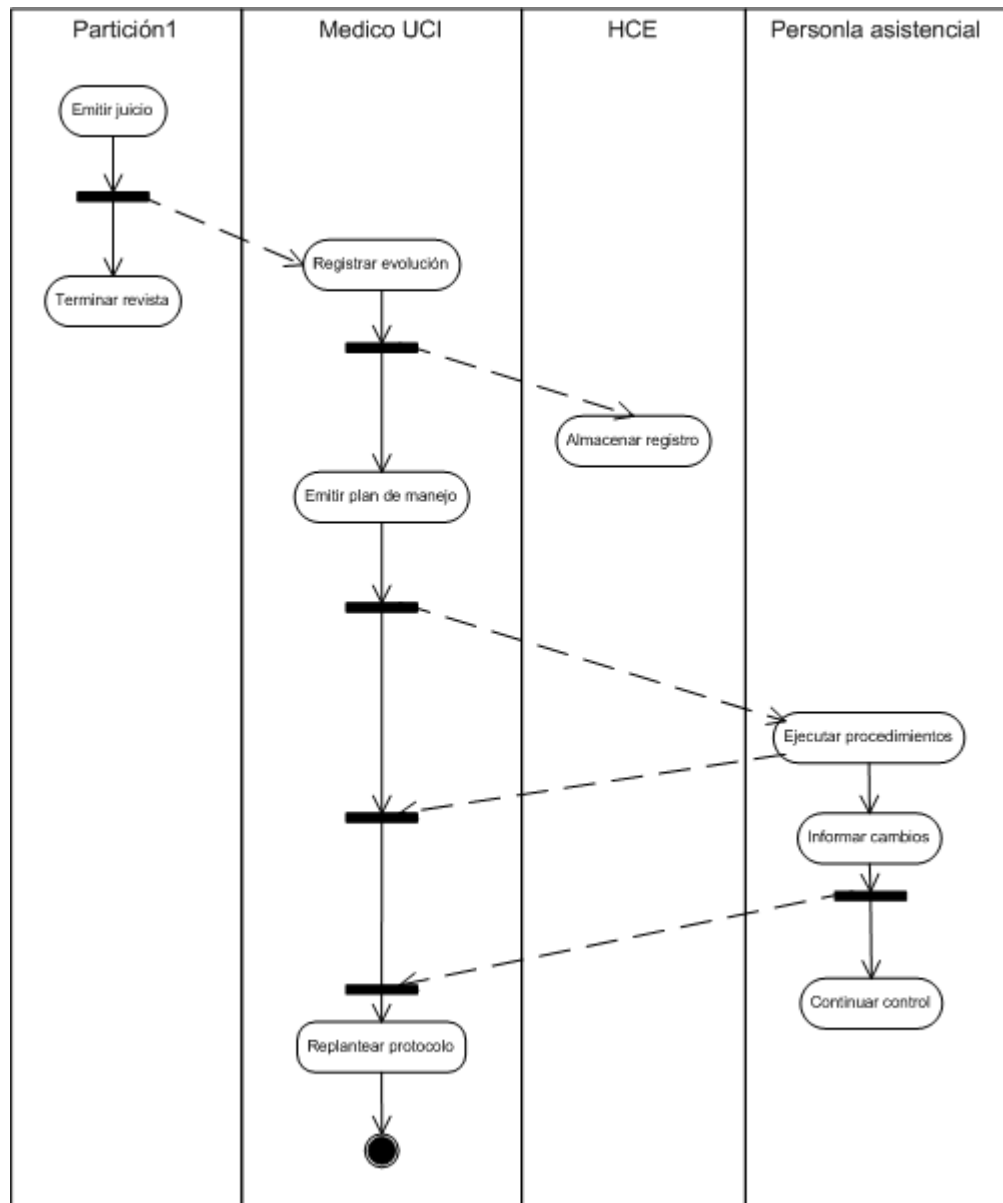
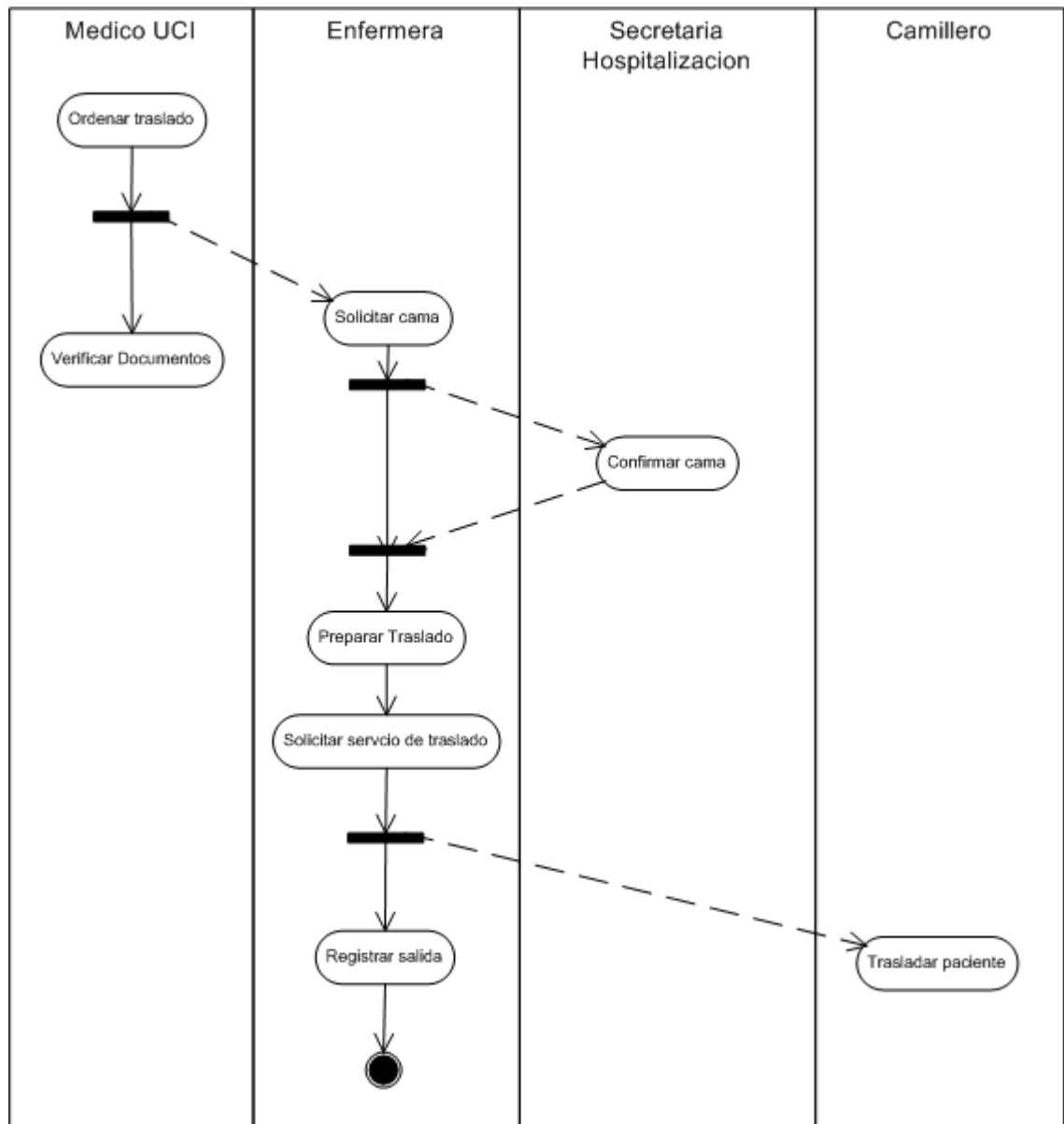
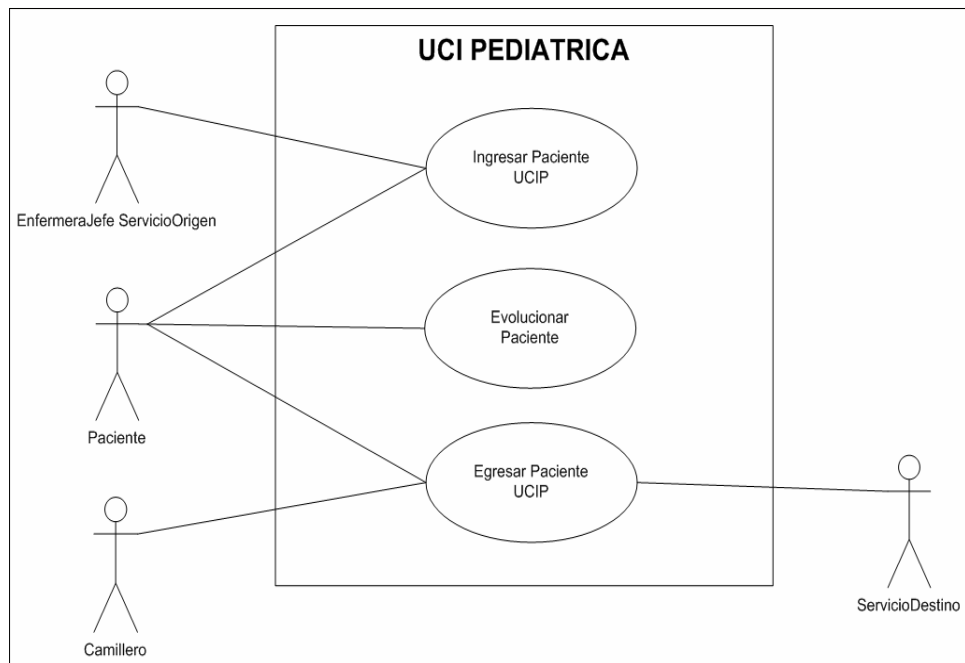


Figura. 7 Diagrama de actividades egreso UCIP



4.2.1.1.3 Diagramas de caso de uso. El siguiente diagrama de casos de uso, se elaboró dentro de las primeras iteraciones de la fase de inicio. En él se aprecian los actores que intervienen en los procesos de la UCIP, quienes serán los usuarios del sistema. Por tanto, es importante identificarlos y conocer el rol que cumplen dentro del proceso, para lo cual éste tipo de diagramas resulta de utilidad

Figura. 8 Caso de uso del negocio



4.2.1.1.4 Glosario. Otro de los artefactos generados por el PU, dentro del modelado del negocio, es el Glosario. Este documento contiene una lista de terminología clave del dominio y sus definiciones, con el ánimo de evitar

ambigüedades y malentendidos entre las partes que interactúan en el desarrollo del proyecto. [Anexo A]

4.2.1.2 Definición del producto. En éste campo, se adelantaron tareas de documentación y recopilación de información con respecto del área de dominio, la patología TGA, y las herramientas a utilizarse en el desarrollo del proyecto, específicamente el motor de inferencia Jess61p8. Ésta tarea se prolongó a lo largo de la primera iteración y principios de la segunda.

4.2.1.3 Elicitar requerimientos críticos del sistema. A continuación se presentan los requisitos considerados de mayor relevancia, obtenidos en la fase de inicio. Dichos requisitos se lograron a partir de las reuniones con el personal médico y asistencial. Fueron calificados como de gran importancia, pues de ellos dependía en gran parte la viabilidad del proyecto.

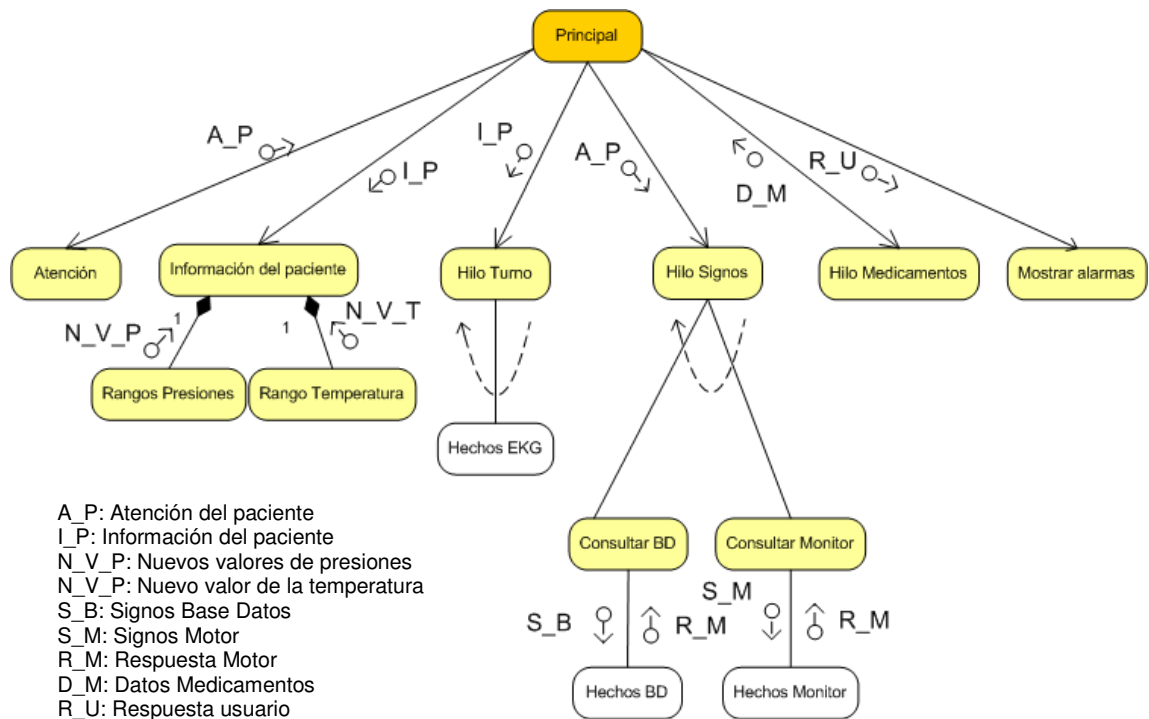
Tabla 2. Requisitos críticos del Sistema

Requisito	Descripción	Prioridad	Nivel de Riesgo
Monitorear Signos Vitales	Debe adquirir la información referente a los signos de monitoreo continuo, procedente del monitor de signos vitales. Esta información debe obtenerse cada 5 min.	Crítico	Crítico
Monitorear Variables	Debe adquirir la información referente a las variables, procedente de la HCE. Esta información debe obtenerse cada 30 min.	Crítico	Crítico
Sugerir medicamentos	El sistema debe sugerir un medicamento cuando éste sea necesario, de acuerdo al protocolo de tratamientos de TGA.	Crítico	Crítico
Identificar Cambio de turno	Capacidad para identificar fecha de inicio y finalización de un turno, de acuerdo a la información suministrada por el usuario.	Importante	Importante

Evaluar EKG	Mostrar preguntas relacionadas con la evaluación del Electrocardiograma al ingreso del paciente, cada 12 horas, dentro de las primeras 48 horas de estadía en UCI.	Crítico	Significativo
-------------	--	---------	---------------

4.2.1.4 Diseño. En cuanto al diseño, se inició la clasificación de los contenidos por categorías y se jerarquizó, dando una primera aproximación a la arquitectura del sistema. A continuación se muestra un Diagrama de *Constantine*, útil en éste tipo de actividades, mostrando los módulos que componían este primer prototipo, y la forma como éstos se relacionaban entre sí.

Figura. 9 Diagrama de Constantine



4.2.1.5 Implementación. En las primeras dos iteraciones, se comenzó el diseño y construcción de la base de conocimiento, así como la construcción del primer prototipo. Éste funcionó bajo DOS, alimentando la memoria de trabajo, con hechos procedentes de la Historia Clínica Electrónica y un archivo de texto generado por el monitor de signos vitales, que registra el comportamiento de signos tales como presiones, temperatura, frecuencia cardíaca, ritmo, entre otros. Estas primeras reglas implementadas bajo Jess, se relacionaban con diagnósticos de bajo refinamiento, algunos de ellos comunes a varias patologías y otras propias del cuidado particular que hay que tener con pacientes pediátricos que hayan sido sometidos a una cirugía de TGA.

Aprovechando las características multi-hilo de java, el primer prototipo contó con tres clases heredadas de la clase *Thread* de java, compuesto por una clase principal encargada de arrancar la aplicación, hacer conexión a la base de datos para identificar el paciente, cargar la fecha de finalización del turno y lanzar tres hilos secundarios, el primero de ellos encargado de monitorear variables, el segundo, encargado de monitorear el suministro de medicamentos, poblando la memoria de trabajo tras cada consulta, para que de esta manera, el motor de inferencia pudiera evaluar las reglas escritas en la base de conocimiento, mostrando al usuario los resultados de cada iteración y el último de ellos, sugería el suministro de medicamentos.

4.2.1.6 Pruebas. También se hicieron las primeras pruebas de rendimiento al prototipo y se presentó ante un grupo de usuarios, conformado por los médicos del departamento de pediatría, buscando obtener realimentación, favoreciendo el desarrollo incremental del mismo.

4.2.1.7 Gestión del proyecto. También se definió el estándar de programación a utilizarse, buscando establecer la normatividad que se debe tener en cuenta al

momento de implementar un aplicativo. Igualmente se definió la organización de los directorios del proyecto de manera que se facilitara la administración de versiones, y la organización y manejo de los artefactos y documentos, que se fueran generando como consecuencia de la práctica. [Anexo B]

4.2.2 Fase de elaboración

4.2.2.1 Elicitar requerimientos. Ya iniciada en forma la fase de elaboración del prototipo, se elicitaron otra serie de requisitos del sistema, que fueron surgiendo a medida que los usuarios fueron sintiendo la necesidad de contar con nuevas funcionalidades. Aquí se listan los requisitos relacionados con la administración de variables del sistema, aspecto fundamental en el desarrollo de ésta práctica empresarial

Tabla 3. Requisitos Transaccionales

REQUISITOS DE TRANSACCIONES			
Requisito	Descripción	Prioridad	Nivel de Riesgo
Ingresar variables y signos al sistema	Permitir al usuario la posibilidad de agregar nuevas variables al sistema, definiendo valores de normalidad para las mismas.	Crítico	Significativo
Construir reglas	Capacidad para construir reglas a partir de las variables que se agregan al sistema.	Crítico	Significativo
Definir criterios	Debe permitir el almacenamiento de criterios. Debe permitir asociar el criterio a un estándar seleccionado. Debe almacenar a que variable hace referencia el criterio.	Crítico	Medio
Definir variables por estándar	Almacenar en la base de datos, variables cuyos valores de normalidad se encuentren definidos por tablas estándar.	Crítico	Medio
Definir variables por rango numérico	Debe permitir la definición de variables cuyos valores de normalidad estén expresamente	Crítico	Medio

	definidos dentro de un rango numérico. Debe almacenar el límite superior y límite inferior definido. Debe almacenar el sistema al cual pertenece la variable. Almacenar la información de la variable, asociada a su nombre, esquema y código.		
Definir variables cualitativas	Debe permitir la definición de variables cuyos valores de normalidad sean no numéricos, y hagan referencia a eventos cualitativos observables. Almacenar la información de la variable, asociada a su nombre, esquema y código.	Crítico	Medio
Parametrizar signos y variables	El sistema debe permitir la parametrización del rango admisible de valores para variables y signos definidos de ésta manera, de acuerdo a las disposiciones del personal médico, para cada paciente.	Importante	Medio
Definir estándar	Permitir la definición de estándares para aquellas variables definidas de ésta manera, de manera que puedan ser asociadas a los criterios adecuados, que se hayan creado con anterioridad. El estándar debe estar asociado a dos registros de criterios existentes.	Crítico	Medio
Relacionar variables	Las variables deben asociarse a un sistema y a un esquema, de acuerdo a como se encuentran en historia clínica electrónica.	Importante	Bajo

Tabla 4. Requisitos de Interfaz

REQUISITOS DE INTERFAZ			
Requisito	Descripción	Prioridad	Nivel de Riesgo
Pantalla de selección de variables	El sistema debe permitir la visualización de las variables de historia clínica. Así mismo, debe permitir encasillar una variable, como	Importante	Medio

	variable estándar, de rango numérico o cualitativa.		
Pantalla de Creación de criterios	Debe permitir la creación de criterios, de manera que se pueda asociar el mismo a una variable de historia clínica. Debe permitir el ingreso de descripciones para las tablas.	Crítico	Significativo
Pantalla de Definición de estándares	Esta pantalla debe ser de fácil manejo, debe permitir la visualización de criterios existentes, ó acceder a la creación de un nuevo criterio. Debe identificar con facilidad la variable que se está definiendo.	Crítico	Medio
Pantalla de definición de variables por rangos numérico	Esta pantalla, debe permitir el ingreso de un único rango para una variable, que será tomado como valor por defecto.	Crítico	Medio
Apariencia	Debe presentarse una interfaz agradable al usuario, que se maneje con la mayor simplicidad posible.	Importante	Medio

Tabla 5. Características Adicionales

CARACTERÍSTICAS ADICIONALES			
Característica	Descripción	Prioridad	Riesgo
Validar rangos	Debe validar que los rangos digitados por el usuario sean coherentes, tanto para las variables definidas por rangos numéricos, como para las definidas por tablas estándar.	Importante	Bajo
Identificar Paciente	Capacidad para identificar un paciente por medio del código de atención, mostrando al usuario el nombre y las cirugías a las que éste haya sido sometido.	Importante	Bajo
Redefinición de variables	No permitir la redefinición de variables.	Importante	Bajo
Alertar ausencia de variables	Si el sistema no encuentra el registro de variables en HCE, debe alertar.	Importante	Bajo

Cargar valores por defecto	El sistema debe contar con una serie de valores por defecto, con los cuales la aplicación funcionará, de no ser modificadas por el personal calificado.	Importante	Bajo
----------------------------	---	------------	------

4.2.2.2 Diseño. En esta etapa del diseño del prototipo, se hicieron algunos cambios a la arquitectura que se consideraron convenientes, agregando la ejecución de los tratamientos dentro de una misma clase software que se encargara de ejecutar la monitorización de las variables y signos vitales, de acuerdo con los tiempos establecidos, dado que el suministro de algunas medicinas se encuentra directamente ligado al resultado de la valoración de ciertos signos y variables arrojadas por el motor de inferencia. Para esto, se crearon los diagramas UML correspondientes a la fase de elaboración, como paso previo a la programación, dentro de los cuales se encuentran los casos de uso del sistema, diagramas de secuencia del sistema, y diagramas de estado, correspondientes a las disposiciones finales de esta etapa.

4.2.2.2.1 Casos de uso del sistema. Se inició la definición de los casos de uso principales. Monitorear Paciente, Monitorear Variables y Monitorear signos vitales. A continua se muestra el texto de los mismos.

PRIMER CASO DE USO DEL SISTEMA – MONITOREAR PACIENTE

Actor Principal: Médico UCIP, Personal Asistencial UCI.

Personal Involucrado e Intereses:

- Medico UCIP: Quiere de manera oportuna, conocer el estado del paciente, de acuerdo al comportamiento registrado de signos vitales y demás variables.

- Personal Asistencial: Desea tener acceso de primera mano, a información que le permite controlar el estado de un paciente, para poder informar al médico de turno las incidencias que puedan presentarse. Quiere llevar un control estricto del estado del comportamiento de los signos vitales y demás variables monitorizadas.
- FCV: Quiere brindar la mejor atención al paciente, satisfaciendo sus necesidades. Desea tener un registro histórico del comportamiento de las variables y signos vitales del paciente.

Precondiciones: Se ha identificado el paciente, y se ha escogido Transposición de Grandes Arterias (TGA) como el protocolo por el cual se hará la monitorización.

Garantía de éxito (Postcondiciones): El sistema alerta la anormalidad de los signos vitales y variables, que se encuentren por fuera de los rangos definidos como aceptables. El sistema sugiere medidas a tomar por parte del personal médico y asistencial.

Escenario Principal de Éxito:

1. El sistema inicializa los temporizadores, que controlan las consultas.
2. El sistema consulta estado del paciente.
3. El sistema Ejecuta control de tratamientos y controles.

Extensiones (o flujos alternativos):

- 2^a. Consultar Variables: Incluye Monitorear Variables.
- 2^b. Consultar Signos Vitales: Incluye Monitorear Signos Vitales.

SEGUNDO CASO DE USO DEL SISTEMA – MONITOREAR VARIABLES

Actor Principal: Médico UCIP, Personal Asistencial UCI.

Nivel: Subfunción.

Personal Involucrado e Intereses:

- Médico UCIP: Quiere de manera oportuna, conocer el estado del paciente, de acuerdo al comportamiento registrado en historia clínica electrónica, de las variables que han sido registradas del paciente.
- Personal Asistencial: Desea tener acceso de primera mano, a información que le permite controlar el estado de un paciente, para poder informar al médico de turno las incidencias que puedan presentarse. Quiere llevar un control estricto del estado del comportamiento de las variables monitorizadas.

Garantía de éxito (Postcondiciones): El sistema alerta la anomalía de las variables que se encuentren por fuera de los rangos definidos como aceptables. El sistema sugiere medidas a tomar por parte del personal médico y asistencial.

Escenario Principal de Éxito:

1. El sistema accede a Historia Clínica Electrónica, y recupera los últimos valores registrados para las variables que deben ser monitorizadas, de acuerdo al protocolo de TGA.
2. El sistema carga el archivo CLP, que contiene las reglas definidas para el protocolo de TGA para variables del paciente.
3. El sistema crea los hechos correspondientes a las variables, en la memoria de trabajo del motor de inferencia.
4. El sistema elimina los valores recuperados de la base de datos.

5. El sistema recupera los resultados de las reglas disparadas por el motor de inferencia.

Extensiones (o flujos alternativos):

1^a. El sistema es incapaz de conectarse a la base de datos.

1. El sistema informa del error al usuario

1^b. El sistema no encuentra la totalidad de los registros de las variables que se han buscado en la base de datos.

1. El sistema informa del error al usuario

2^a. El sistema no encuentra el archivo CLP con las reglas del protocolo de TGA.

1. El sistema informa al usuario del error.

TERCER CASO DE USO DEL SISTEMA – MONITOREAR SIGNOS VITALES

Actor Principal: Médico UCIP, Personal Asistencial UCI.

Nivel: Subfunción.

Personal Involucrado e Intereses:

- Médico UCIP: Quiere de manera oportuna, conocer el estado del paciente, de acuerdo al comportamiento registrado de signos vitales.
- Personal Asistencial: Desea tener acceso de primera mano, a información que le permite controlar el estado de un paciente, para poder informar al médico de turno las incidencias que puedan presentarse. Quiere llevar un control estricto del estado del comportamiento de los signos vitales del paciente.

Garantía de éxito (Postcondiciones): El sistema alerta la anormalidad de los signos vitales, que se encuentren por fuera de los rangos definidos como aceptables. El sistema sugiere medidas a tomar por parte del personal médico y asistencial.

Escenario Principal de Éxito:

1. El sistema lee el archivo generado por el monitor de signos vitales, y recupera los últimos valores registrados para las variables que deben ser monitorizadas, de acuerdo al protocolo de TGA.
2. El sistema carga el archivo CLP, que contiene las reglas definidas para el protocolo de TGA para signos vitales del paciente.
3. El sistema crea los hechos correspondientes a los signos vitales, en la memoria de trabajo del motor de inferencia.
4. El sistema elimina los valores recuperados del archivo proveniente del MSV.
5. El sistema recupera los resultados de las reglas disparadas por el motor de inferencia.

Extensiones (o flujos alternativos):

- 1^a. El sistema es incapaz de leer el archivo.
 1. El sistema informa del error al usuario
- 2^a. El sistema no encuentra el archivo CLP con las reglas del protocolo de TGA.
 2. El sistema informa al usuario del error.

CUARTO CASO DE USO DEL SISTEMA – SUGERIR MEDICAMENTOS

Actor Principal: Médico UCIP.

Personal Involucrado e Intereses:

- Médico UCIP: Quiere determinar el plan de manejo adecuado para un paciente, de acuerdo a su estado. Desea suministrar los medicamentos necesarios en el momento oportuno a un paciente. Desea suministrar al paciente los medicamentos definidos por protocolo, de acuerdo al peso del mismo, ya sean en bolo o por infusión continua.
- Personal Asistencial: Desea contar con órdenes oportunas por parte del médico de turno, que le indique el comportamiento a seguir con un paciente.
- FCV: Quiere brindar la mejor atención al paciente, satisfaciendo sus necesidades.

Precondiciones: Se han monitorizado las variables y signos vitales del paciente.

Garantía de éxito (Postcondiciones): Se suministra un medicamento al paciente.

Escenario Principal de Éxito:

1. El sistema sugiere los medicamentos y controles determinados por el protocolo.
2. El sistema detecta la necesidad de suministrar un medicamento, de acuerdo al análisis de las reglas disparadas por el motor de inferencia.
3. El sistema sugiere el medicamento al médico, mostrando peso, y edad del paciente.
4. El médico acepta la sugerencia del medicamento e indica la dosis a suministrar al paciente.
5. El sistema envía la orden a las bombas de infusión.

Extensiones (o flujos alternativos):

1^a. El sistema no logra conectarse a la Base de Datos (BD).

1. El sistema señala el error.

2. El médico puede cancelar la sugerencia del medicamento.

4^a. El médico rechaza la sugerencia del medicamento.

4.2.2.2.2 Diagramas de secuencia del sistema

Por medio de los diagramas de secuencia, se busca mostrar la forma en que los objetos interaccionan por medio de mensajes. A través de ellos se pretende asignar responsabilidades a los objetos software, y si bien el diseño que representan los diagramas será imperfecto y un tanto especulativo, proporcionan un punto de partida serio, consistente y común, que sirve de guía durante la programación. Los diagramas de secuencia que se presentarán a continuación, hacen referencia a tres de los casos de uso que hasta ahora se han expuesto.

Figura. 10 Secuencia monitorear variables

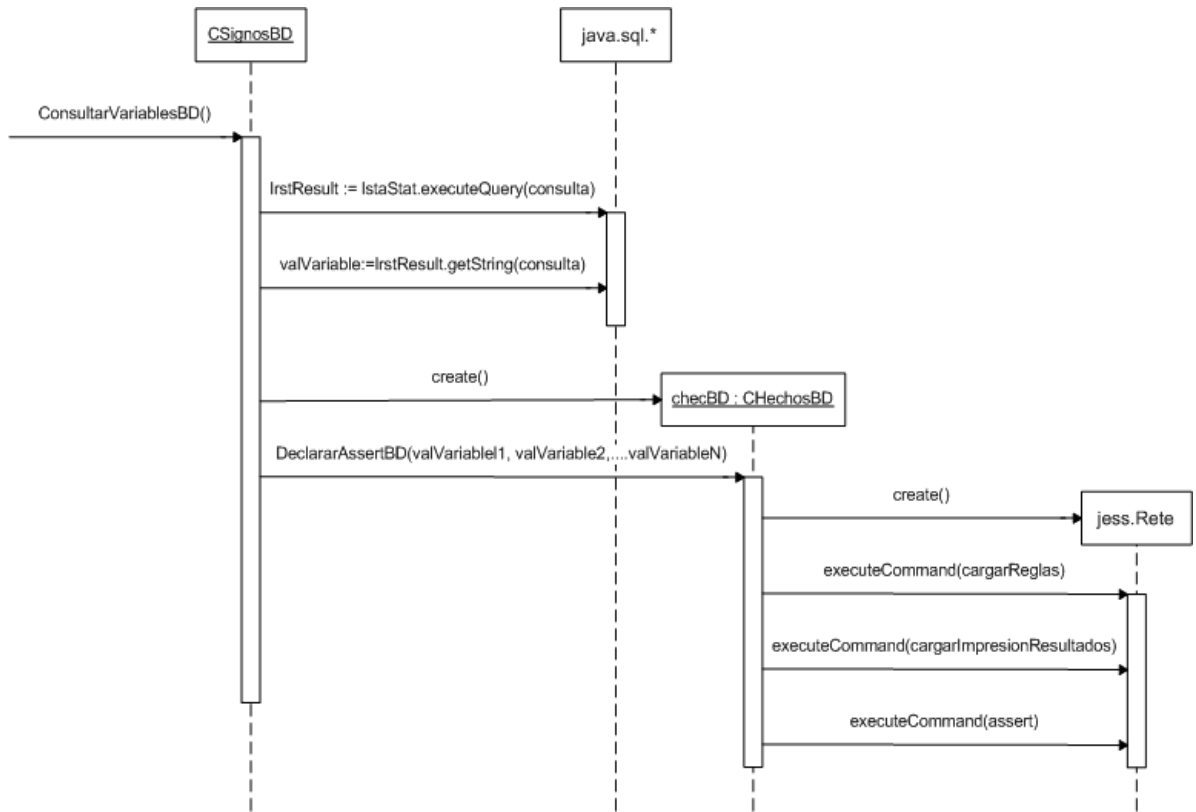


Figura. 11 Secuencia monitorear paciente

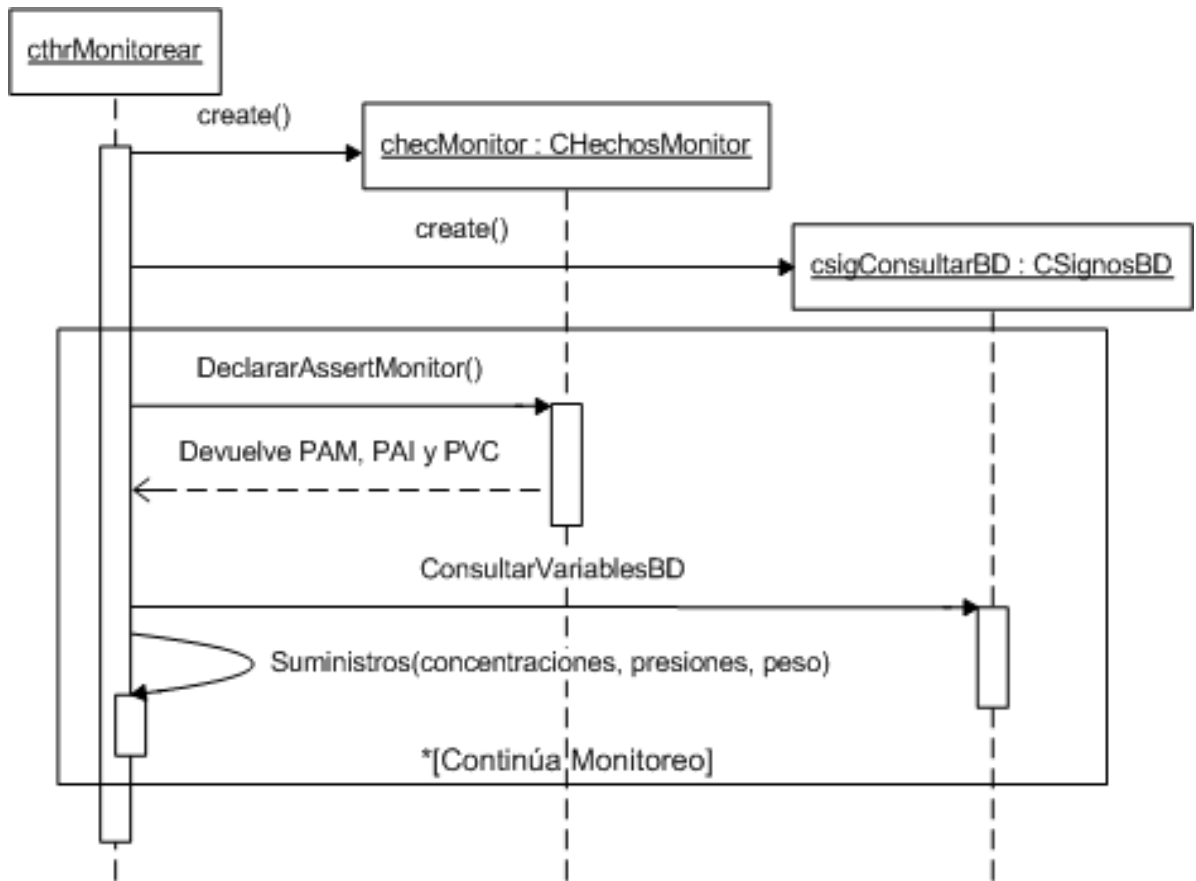


Figura. 12. Secuencia monitorear signos

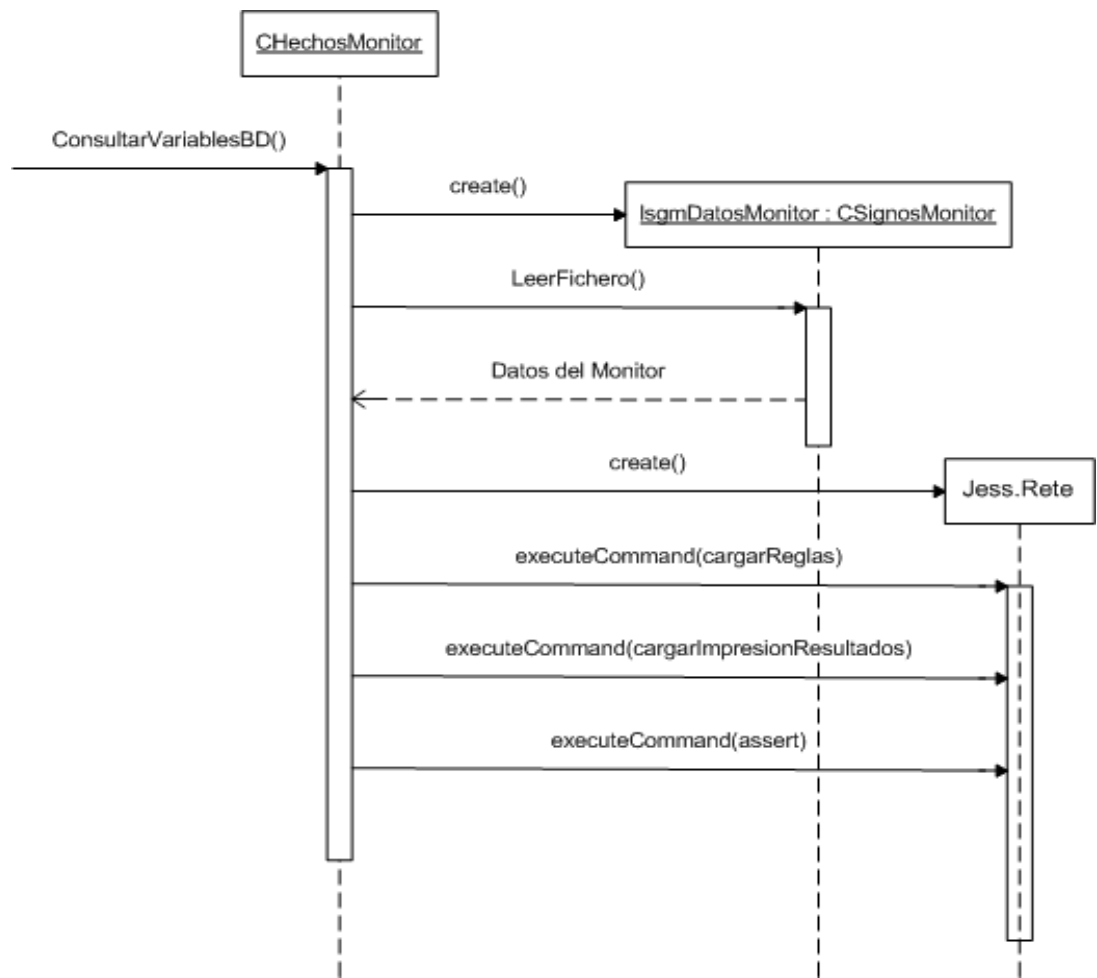
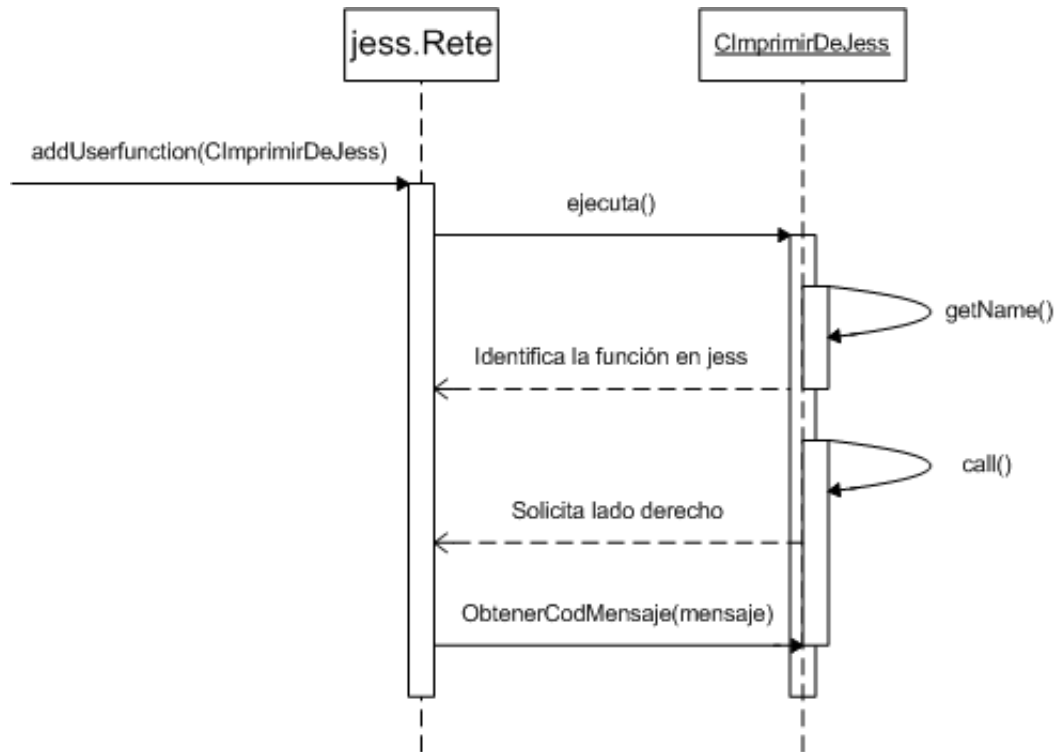


Figura. 13 . Diagrama de secuencia Obtener mensajes de jess

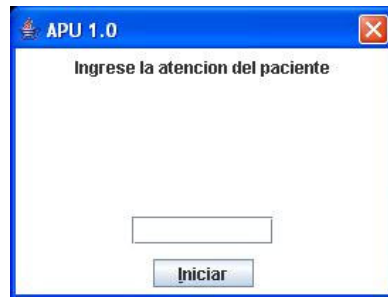


La figura 13, especifica el funcionamiento de la clase *CImprimirDeJess*, que funciona como interfaz entre el motor de inferencia y java. La clase mencionada, es invocada en los lados derechos de las reglas, es decir, en la consecuencia de la regla. Como resultado, los lados derechos de cada una de las reglas disparadas son capturados en forma de *string*, de manera que pueden ser obtenidos fácilmente por cualquier otra clase que tenga acceso a *CImprimirDeJess*.

4.2.2.3 Implementación. En este momento era indispensable dar inicio a la implementación del primer prototipo gráfico, pues ya se tenían elementos suficientes para poder hacerlo. Se inició implementando la clase interfaz entre java y el motor de inferencia, dejando a disponibilidad los lados derechos de las reglas. Finalmente, se aplicaron los cambios mencionados anteriormente y descritos en los diagramas de secuencia, sobre la arquitectura del sistema y una vez integrado

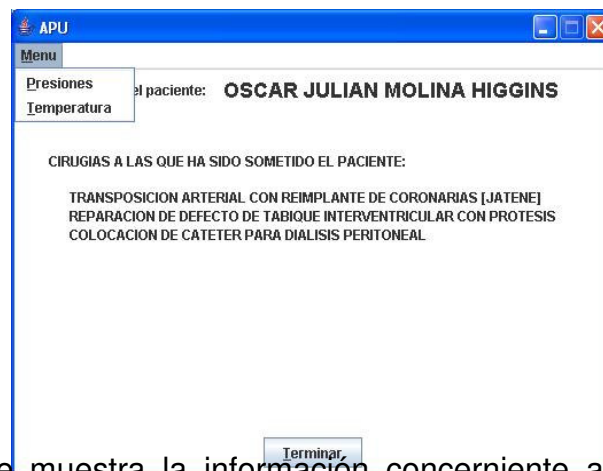
esto con las interfaces, se tuvo como resultado la primera versión gráfica del prototipo.

Figura. 14. Diálogo de ingreso de atención del paciente



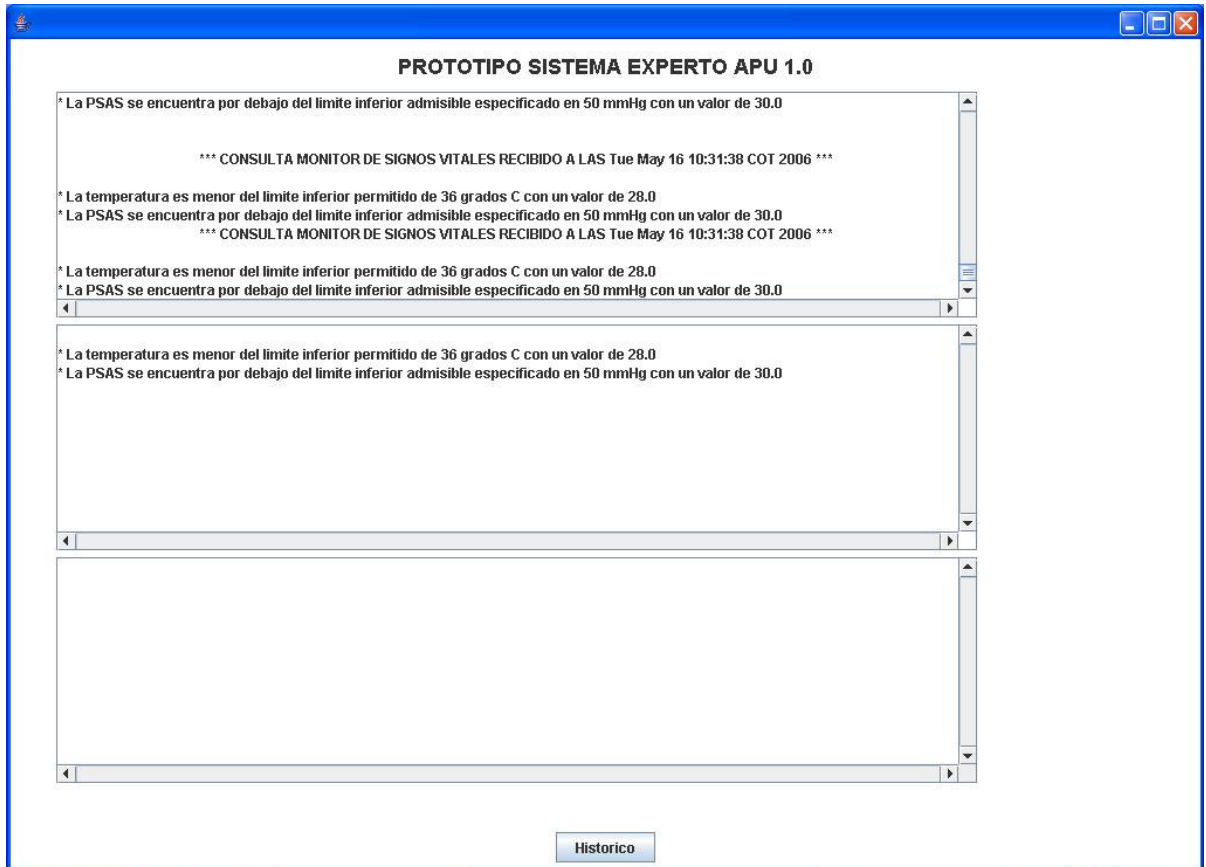
A través de éste diálogo, se le indica al sistema la identidad del paciente que va a ser monitoreado, permitiéndole al sistema identificarlo dentro de la base de datos de HCE.

Figura. 15 Diálogo datos del paciente



En la figura 15, se muestra la información concerniente al paciente, como su nombre y patologías por las cuales ha sido tratado. Esto facilita al médico la verificación de que TGA es una de las complicaciones que presenta el paciente.

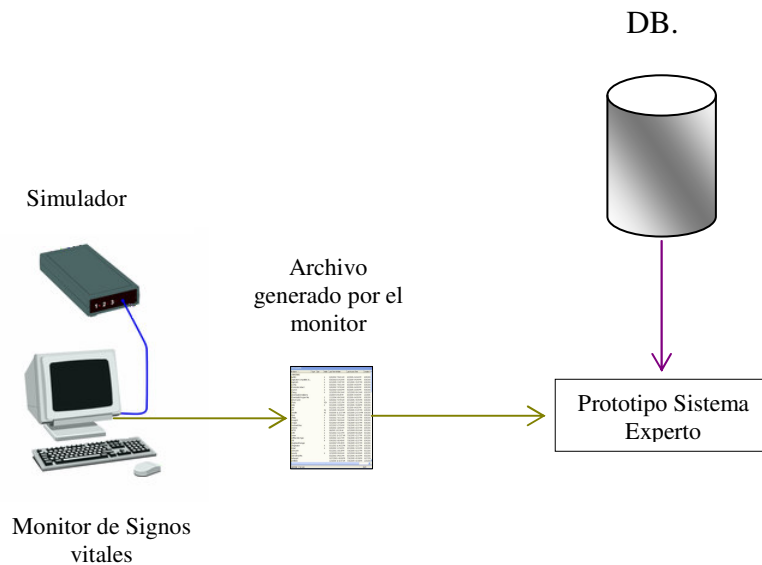
Figura. 16 . Diálogo de alarmas y sugerencias



La figura 16, muestra la pantalla de monitoreo de esta primera versión gráfica del prototipo. Cuenta con tres áreas básicas en las cuales se imprime de arriba a abajo, el resultado del monitoreo de los signos vitales, el resultado del monitoreo de variables de historia clínica y las sugerencias acerca del suministro de medicamentos. El control de medicamentos se hace minuto a minuto, mientras que el control de signos vitales y variables de historia clínica se lleva a cabo cada 5 y 30 minutos respectivamente.

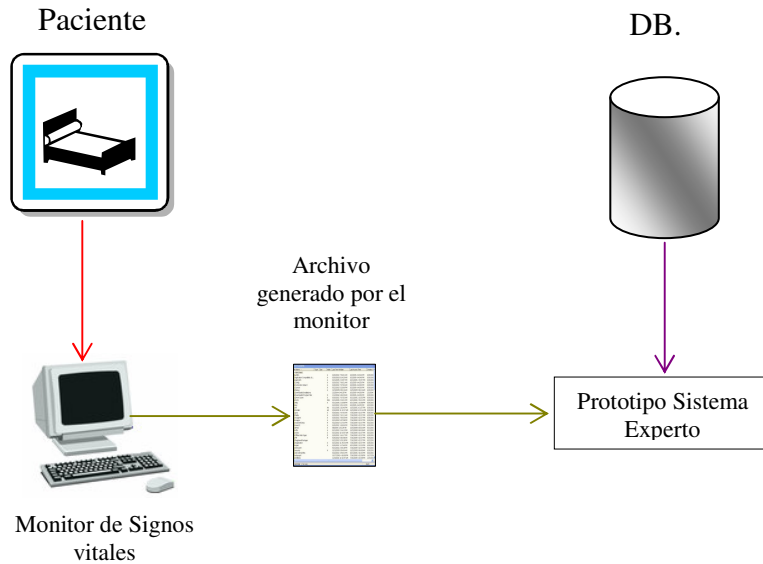
4.2.2.4 Pruebas. Una vez más, se realizaron pruebas de rendimiento de la herramienta y se probó con un simulador, que suministraba datos tal como lo haría el monitor de signos vitales. Igualmente se probaron las conexiones a la base de datos de Historia Clínica Electrónica (HCE), haciendo un monitoreo de un paciente ficticio.

Figura. 17 . Entorno de prueba del prototipo de sistema experto con simulador



Las pruebas también abarcaron el funcionamiento del prototipo en el ambiente de la UCI pediátrica. El sistema se probó haciendo el monitoreo de pacientes sometidos a una cirugía de transposición de grandes arterias, obteniendo resultados satisfactorios. La disposición del sistema, se muestra en la figura 17.

Figura. 18 Entorno de prueba del prototipo de sistema experto en UCI



La verificación de la eficiencia de la herramienta, se llevó a cabo mediante el cotejo de los archivos históricos generados por el monitor de signos vitales, en los cuales se registraba el comportamiento de los mismos a través de cada lectura, con las reglas que el sistema experto había ido disparando a lo largo de la prueba. Estos *tests* tuvieron duraciones de 24, 48 y 72 horas, a medida que el rendimiento del prototipo fue mejorando.

4.2.2.5 Gestión del proyecto. Se realizó un complemento al estándar de programación, agregando las definiciones correspondientes a la nomenclatura para la construcción de las bases de datos del proyecto, teniendo en cuenta referencias de tablas, campos, tipos de datos, etc.

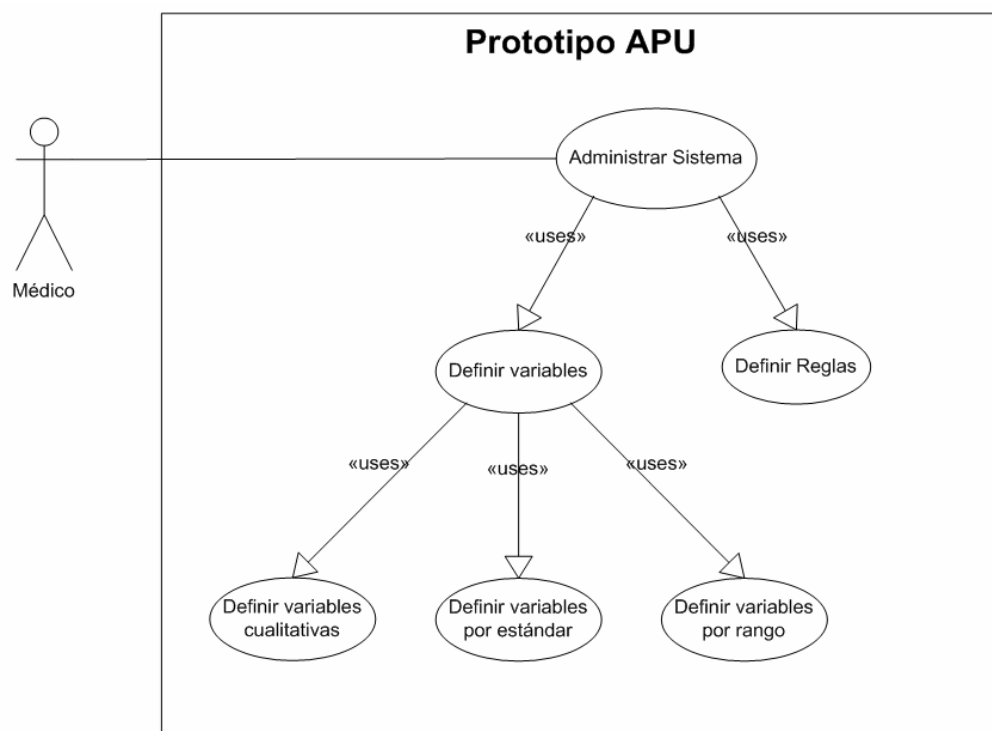
4.2.3 Fase de construcción. A lo largo de esta fase, se incrementó la intensidad en la implementación y el diseño del prototipo. Con base en los requerimientos

solicitados, y demás nuevas funcionalidades requeridas para el prototipo, se procedió a diseñar el módulo de administración de variables del sistema.

4.2.3.1 Diseño

4.2.3.1.1 Diagrama de caso de uso del sistema. A continuación se especifican los casos de uso que se escribieron, por ser considerados como los de mayor relevancia en el diseño del módulo de administración de variables. En ellos se describen los procesos de inserción de variables al sistema y definición de las mismas a través de los casos de uso, definir variables y sus subfunciones, definir variables por rangos, definir variables cualitativas y definir variables por estándar.

Figura. 19 Diagrama de caso de uso



4.2.3.1.2 Casos de uso

QUINTO CASO DE USO DEL SISTEMA – DEFINIR VARIABLES

Actor Principal: Médico.

Personal Involucrado e Intereses:

- Médico: Quiere agregar al sistema las variables que desea sean monitorizadas, indicando el valor que deben tener, bajo el cual se consideran normales para un paciente.

-

Precondiciones: Se han comprobado los permisos del usuario que desea tener acceso a esta sección del módulo de administración.

Garantía de éxito (Postcondiciones): El médico ingresa con éxito las variables y signos vitales a ser monitorizados.

Escenario Principal de Éxito:

1. El usuario selecciona la variable que desea ingresar al sistema identificando el esquema al cual pertenece la misma.
2. El usuario define el origen de los datos de la variable.
3. El usuario define los valores permitidos para la variable.

Extensiones (o flujos alternativos):

- 2^a. Variable por rango numérico: Incluye Definir variables por rango.
- 2b. Variable cualitativa: Incluye Definir variables cualitativas.

2c. Variable por estándar: Incluye Definir variables por estándar.

SEXTO CASO DE USO DEL SISTEMA – DEFINIR VARIABLES POR RANGO

Nivel: Subfunción.

Escenario Principal de Éxito:

1. El usuario digita el rango permitido para la variable.
2. El usuario solicita que la información sea almacenada.
3. El sistema valida la información ingresada por el usuario.
4. El sistema guarda el registro.

Extensiones (o flujos alternativos):

- 3^a. El sistema detecta error en los datos de usuario.
 1. El sistema solicita rectificación.

SÉPTIMO CASO DE USO DEL SISTEMA – DEFINIR VARIABLES CUALITATIVAS

Nivel: Subfunción.

Escenario Principal de Éxito:

1. El usuario digita el número de valores permitidos para la variable.
2. El usuario digita los valores permitidos para la variable.
3. El usuario solicita que la información sea almacenada.
4. El sistema valida la información ingresada por el usuario.
5. El sistema guarda el registro.

Extensiones (o flujos alternativos):

3ª. El sistema detecta error en los datos de usuario.

1. El sistema solicita rectificación.

OCTAVO CASO DE USO DEL SISTEMA – DEFINIR VARIABLES POR ESTÁNDAR

Nivel: Subfunción.

Escenario Principal de Éxito:

1. El usuario asocia dos criterios existentes a la variable que se va a definir.
2. El usuario asigna un nombre o identificación al estándar.
3. El usuario solicita la creación del estándar.
4. El sistema valida la información ingresada por el usuario.
5. El usuario determina el tipo de estándar que va a ingresar.
6. El usuario ingresa el estándar correspondiente.
7. El usuario solicita que la información sea almacenada.
8. El sistema valida la información ingresada por el usuario.
9. El sistema guarda el registro.

Extensiones (o flujos alternativos):

3ª. El sistema detecta error en los datos de usuario.

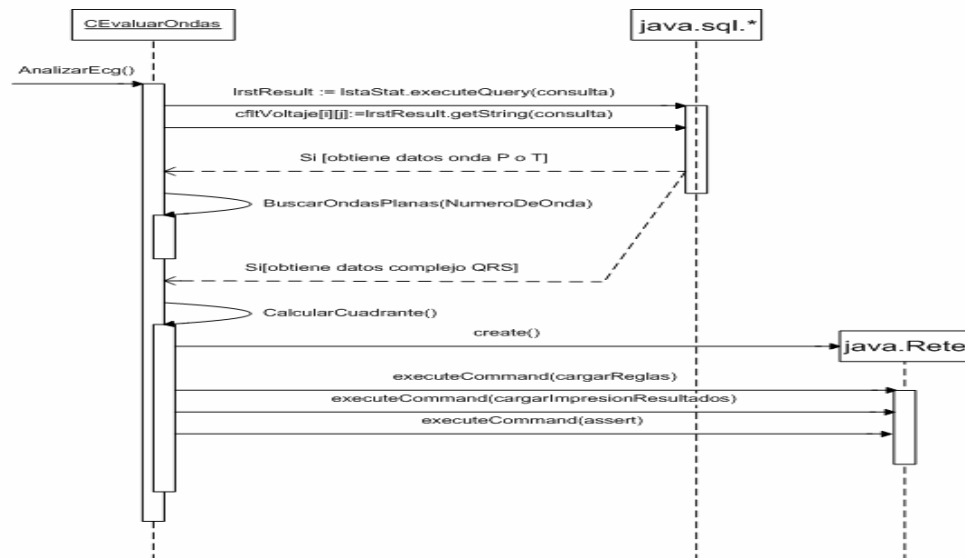
1. El sistema solicita rectificación.

4.2.3.1.3 Diagramas de secuencia. Dentro de ésta disciplina, se diseñó una nueva funcionalidad para el prototipo, a través de la cual es posible analizar el electro cardiograma del paciente que se encuentra bajo seguimiento. El “análisis

ECG”, que permite determinar los ejes y la derivación de las ondas P y T, así como del segmento QRS, de manera precisa y en el momento deseado, a partir de los datos registrados por el personal asistencial en la historia clínica electrónica, correspondientes al último ECG tomado al paciente. La elección de los ejes correctos, para las ondas y el segmento QRS, se implementó a partir de reglas definidas dentro del motor de inferencia, que evalúan los datos provenientes de la “Historia Clínica Electrónica” y devuelven los resultados a la aplicación en java, a través de la clase *CEvaluarOndas* para que puedan ser visualizados por el usuario.

A continuación se muestra el diagrama de secuencia que describe el comportamiento de los objetos y las clases software que intervienen, ilustrando cómo ellos y éstas interactúan entre sí, para obtener los resultados requeridos.

Figura. 20 Diagrama de secuencia analizar ECG

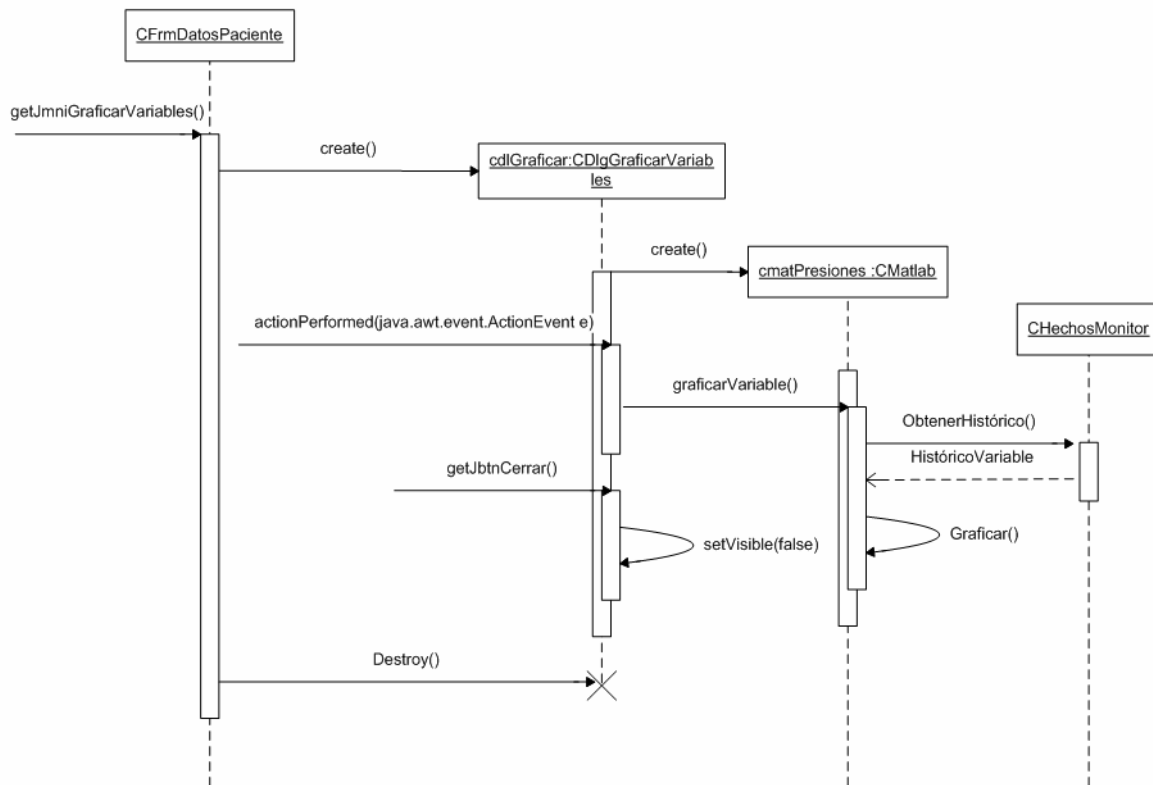


También se elaboró el diseño tendiente a satisfacer el requisito por el cual se hacía necesario poder graficar el comportamiento registrado por las variables

durante por lo menos la última hora de monitoreo. Para esto se utilizó la facilidad que tiene Java para comunicarse con Matlab, y haciendo uso de las funciones de esta herramienta, se añadió al prototipo la posibilidad de graficar hasta una hora y veinte minutos del comportamiento de los signos vitales de los cuales haya registro.

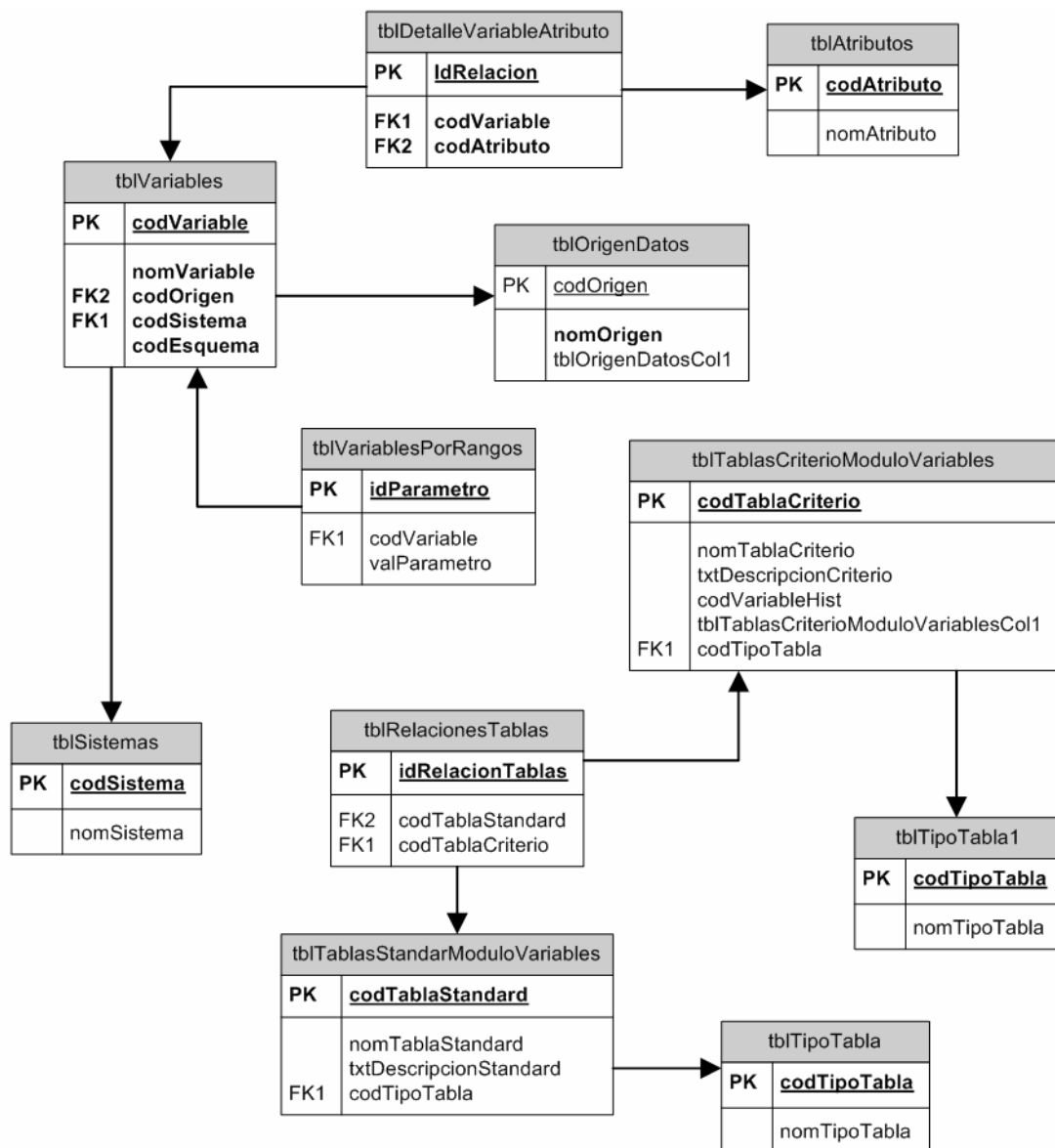
La figura 21, muestra el diagrama de secuencias en el cual se especifica el comportamiento de las clases y objetos software que intervienen en el caso de uso graficar variables. La clase *CMatlab*, importa una librería llamada JMatlink.dll, para enviar peticiones a Matlab.

Figura. 21 Diagrama de secuencia graficar variables



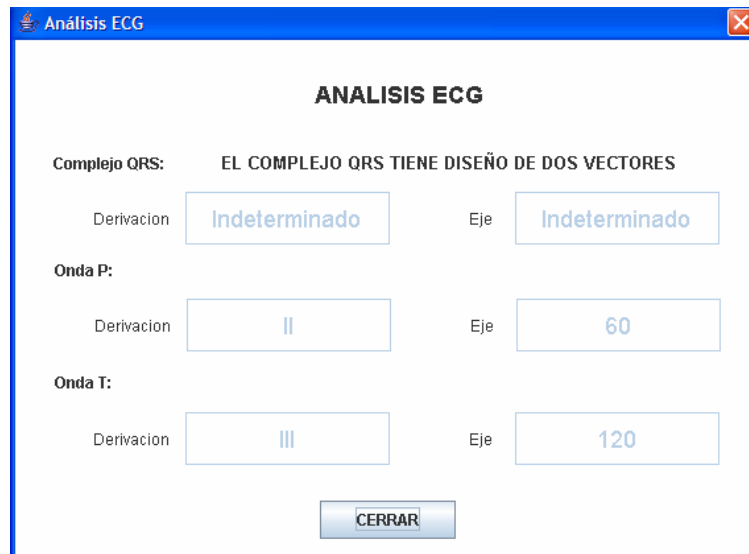
4.2.3.1.4 Diseño de la BD para el módulo de Administración de variables. Para almacenar la información referente al módulo de administración de variables del sistema, se creó el modelo de bases de datos que se expone en la figura 22. En esta se muestran las entidades y sus relaciones identificando llaves primarias (PK) y llaves foráneas(FK).

Figura. 22. Diagrama de modelo de base de datos



4.2.3.2 Implementación. El diálogo que se muestra a continuación, es aquel por medio del cual es posible generar el análisis del ecocardiograma. Los resultados de la evaluación de las reglas relacionadas con el EKG, usando la información procedente de la HCE, permite determinar la derivación y el eje de las ondas P y T, así como del complejo QRS, facilitando ésta labor al especialista.

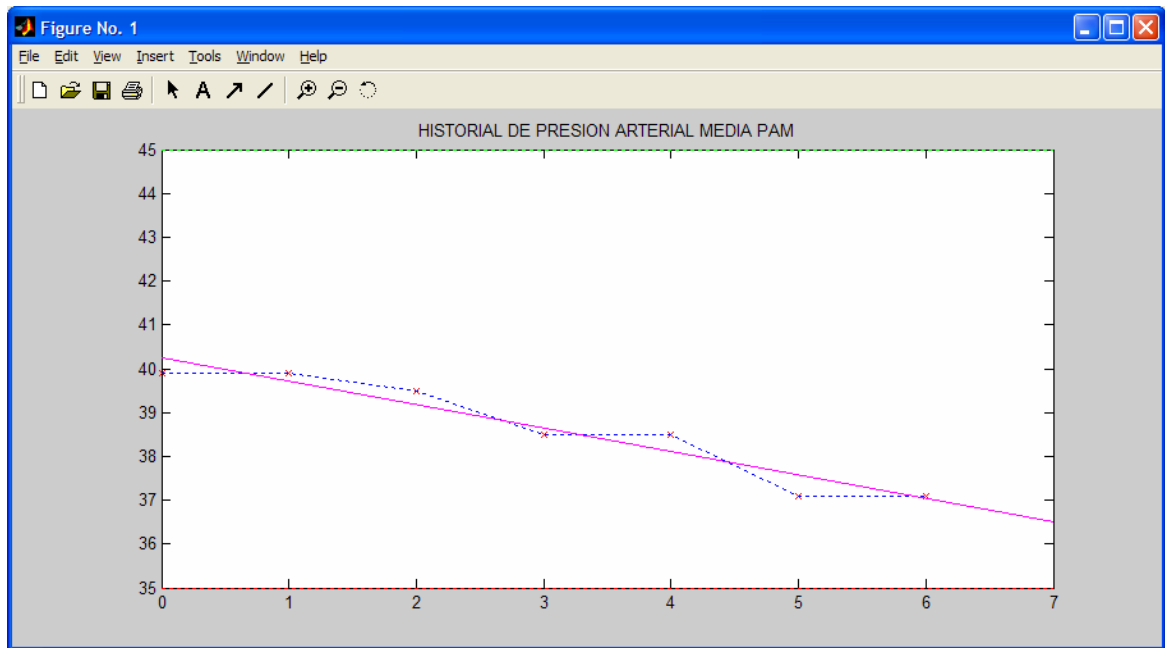
Figura. 23. Diálogo Analizar ECG



A continuación se describe la segunda utilidad desarrollada durante esta fase, para ser integrada al prototipo. Con ella, se tiene la posibilidad de graficar el comportamiento de ciertos signos vitales en el momento en que resulte necesario. Las gráficas se pueden realizar una a la vez, o por parejas de signos, de acuerdo a las necesidades. Para el desarrollo de ésta utilidad, se usaron componentes de la herramienta *Matlab*, a través de una clase java que permite manipularlos.

En la figura 24 se muestra la gráfica correspondiente al comportamiento registrado de la Presión arterial media (PAM). En ella se puede identificar el límite superior admisible para dicha variable a través de la línea punteada color verde en $y=45$, el límite inferior establecido en 35, por medio de la línea punteada roja en $y=35$; el valor registrado por la variable representado por la línea punteada azul que une las equis de color rojo y finalmente una línea que representa la tendencia del comportamiento de la variable, correspondiente a la recta resultante de la regresión lineal aplicada a los puntos que hasta el momento se hayan registrado como resultado de la monitorización de la misma.

Figura. 24 Gráfica de signos vitales



Por medio de esta utilidad es posible graficar hasta los últimos 26 valores registrados de una variable equivalente aproximadamente a dos horas de seguimiento. La figura 25 muestra el diálogo a través del cual se tiene acceso a

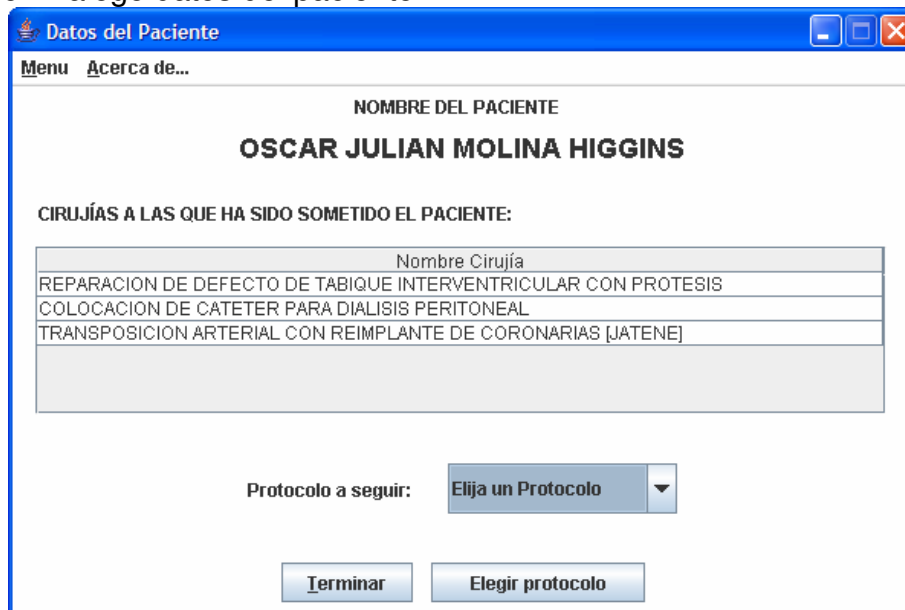
las gráficas. Este permite graficar hasta dos variables a la vez, en una misma ventana.

Figura. 25. Diálogo de variables graficables



Las utilidades anteriores se integraron al prototipo, haciéndolas accesibles al usuario a través del diálogo encargado de mostrar la información del paciente que se expone a continuación.

Figura. 26. Diálogo datos del paciente



Como se puede apreciar, se realizaron modificaciones al diálogo que muestra la información correspondiente al paciente que se encuentra bajo observación. En ésta nueva versión, se agregó la posibilidad de elegir un protocolo por el cual el médico desea se controle el paciente, cargando las reglas correspondientes al mismo durante la monitorización. De igual manera, se agregó al menú, la última opción implementada “Analizar ECG”, la opción “parametrizar variables” y la opción “Graficar”, por medio de la cual el médico puede graficar los valores correspondientes a los últimos 26 registros de los signos vitales, equivalente a 2 horas de seguimiento.

Como se ve en la figura 26, el diálogo muestra el nombre del paciente en cuestión y las cirugías a las que ha sido sometido, para que de ésta manera el médico pueda decidir bajo que protocolo se tratará el paciente, de acuerdo al cuadro que él considere como de mayor gravedad y que por lo tanto requiera de mayor atención.

También se implementó el módulo completo de administración de variables. En La figura 27 muestra el *frame* que permite al usuario visualizar las variables existentes en la historia clínica electrónica de la FCV, permitiéndole agregarlas a la base de datos del sistema, para que empiecen a ser monitoreadas. Al cargarse el *frame*, aquellas variables que ya cuenten con una definición, aparecerán seleccionadas en el check de la última columna de la tabla y solo son modificables aquellas que aún no se hayan agregado al sistema.

En la imagen se puede apreciar el campo buscar variable mediante el cual el usuario puede realizar una búsqueda de la variable deseada en la tabla, dado que al ser alrededor de 410, puede resultar bastante dispendioso el encontrar el registro necesario. En este *frame*, el usuario inicia la definición de una variable

indicándole al sistema si es una variable que se va a definir por tablas estándar, por rango numérico o bien, uno o varios valores cualitativos.

Figura. 27 Frame variables del sistema

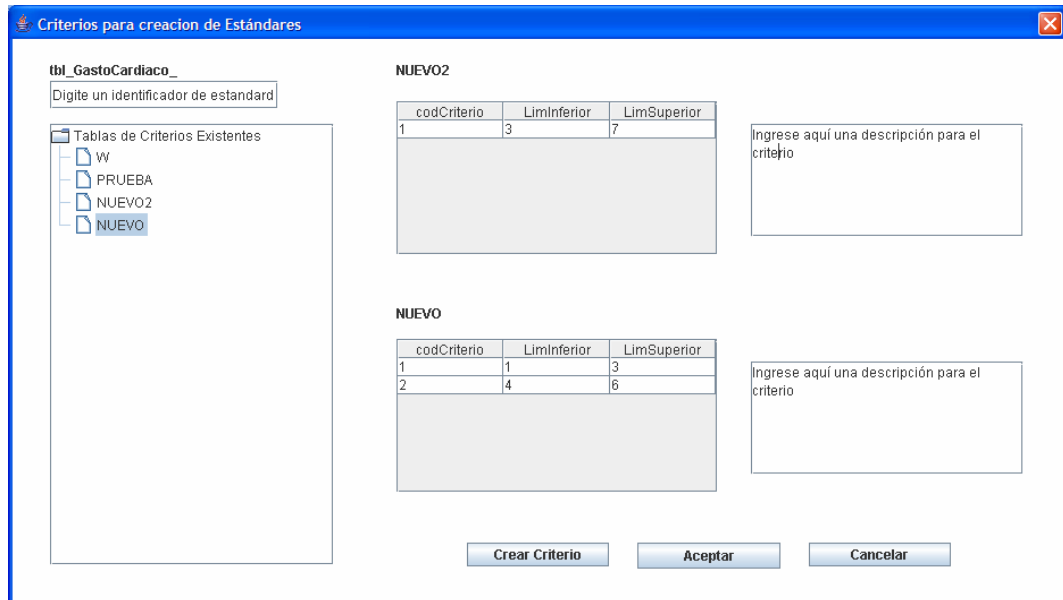
The screenshot shows a window titled "Variables del Sistema" with a table of variables and their configuration options. The table has four columns: Sistema, Código de Variable, Nombre de Variable, and Definir Origen. Below the table are search and configuration options, including a search box, a dropdown for "Esquema de origen", and three radio buttons for "Standar por Tablas", "Rango Numérico", and "Valor Cualitativo". At the bottom are "SALIR" and "Cancelar" buttons.

Sistema	Código de Variable	Nombre de Variable	Definir Origen
Circulatorio	1	Ritmo	<input type="checkbox"/>
Circulatorio	2	Frecuencia Cardiaca	<input type="checkbox"/>
Circulatorio	3	P.A.S. (mmHg)	<input checked="" type="checkbox"/>
Circulatorio	4	P.A.D. (mmHg)	<input checked="" type="checkbox"/>
Circulatorio	5	P. Arterial Media	<input checked="" type="checkbox"/>
Circulatorio	6	MAP. (mmHg)	<input checked="" type="checkbox"/>
Circulatorio	7	FC (mmHg)	<input type="checkbox"/>
Circulatorio	8	Ritmo-Defibr	<input type="checkbox"/>
Circulatorio	9	P.P.S. (mmHg)	<input checked="" type="checkbox"/>
Circulatorio	10	P.P.D. (mmHg)	<input type="checkbox"/>
Circulatorio	11	Marcapaso	<input type="checkbox"/>
Circulatorio	12	PVC (mmHg)	<input checked="" type="checkbox"/>
Circulatorio	13	PCP - AI	<input type="checkbox"/>
Circulatorio	14	Gasto Cardiaco	<input type="checkbox"/>
Respiratorio	15	Oxigenoterapia	<input checked="" type="checkbox"/>
Respiratorio	17	Modo Ventilatorio	<input type="checkbox"/>
Respiratorio	18	Número fijación del Tubo	<input type="checkbox"/>
Respiratorio	19	O2 (L/min)	<input checked="" type="checkbox"/>
Respiratorio	20	Aire (L/min)	<input type="checkbox"/>
Respiratorio	21	N2O (L/min)	<input type="checkbox"/>
Respiratorio	22	Halogenado	<input type="checkbox"/>
Respiratorio	23	FR	<input checked="" type="checkbox"/>
Respiratorio	24	VT (ml)	<input type="checkbox"/>
Respiratorio	25	PEEP	<input type="checkbox"/>
Respiratorio	26	Sapt (%)	<input type="checkbox"/>

Buscar Variable Esquema de origen:

Standar por Tablas Rango Numérico Valor Cualitativo

Figura. 28 Diálogo de configuración de estándar



La figura 28 muestra el diálogo mediante el cual, el usuario puede escoger criterios existentes o crear nuevos criterio, para definir una variable por tablas estándar. El diálogo también suministra información adicional acerca de los criterios que el usuario vaya seleccionando, por medio de las descripciones que de éstos haya hecho el usuario al momento de definirlos y que aparecen al costado derecho de cada uno de los criterios seleccionados.

Figura. 29 Diálogo definición de nuevo criterio

Definición de Nuevo Criterio

Nombre del Criterio Número de Filas Esquema de Origen

Variable relacionada con el criterio

Sistema	Código de Variable	Nombre de Variable	Seleccionar
Circulatorio	1	Ritmo	<input type="checkbox"/>
Circulatorio	2	Frecuencia Cardiaca	<input type="checkbox"/>
Circulatorio	3	P.A.S. (mmHg)	<input type="checkbox"/>
Circulatorio	4	P.A.D. (mmHg)	<input type="checkbox"/>
Circulatorio	5	P. Arterial Media	<input type="checkbox"/>

Tabla Límites Inferiores

Tabla Límites Superiores

Criterio de Rango Numérico Criterio de Valor Específico

Digite los límites de los rangos, en la tabla que corresponda, de manera que coincidan las parejas de límites, con su posición en cada tabla

Descripción Breve:

Ingrese aquí una descripción para el criterio

La figura 29 muestra el diálogo que le permite al usuario definir un nuevo criterio. A través de éste, se asocia un nombre al mismo así como una variable de la historia clínica electrónica. Igualmente el usuario tiene la posibilidad de agregar una descripción y definir si la variable asociada a dicho criterio, será evaluada a través de un rango numérico o como un criterio de valor específico o cualitativo.

Figura. 30 Definición de nuevo estándar

ESTANDAR QUE SE VA A INGRESAR

Tabla Límites Inferiores

	(1.0, 5.0)	(6.0, 8.0)	(9.0, 12.0)	(15.0, 19.0)
(1, 3)				
(2, 4)				

Tabla Límites Superiores

	(1.0, 5.0)	(6.0, 8.0)	(9.0, 12.0)	(15.0, 19.0)
(1, 3)				
(2, 4)				

Estandar de Rango Numerico Estandar de Valor Especifico

Digite los límites de los rangos, en la tabla que corresponda, de manera que coincidan las parejas de límites, con su posición en cada tabla

Descripcion Breve:
Ingrese aquí una descripción para el estándar

Aceptar Cancelar

En la figura 30 se muestra el diálogo mediante el cual es posible definir un listado de valores estándar para una variable, sujetos a dos criterios asociados a dicha tabla con anterioridad. Para el caso, se muestra la posibilidad de definir un estándar de rango numérico para una variable.

Figura. 31 Definición de variable por rango numérico

Rango Numérico para una Variable

Límite Inferior:

Límite Superior:

Aceptar Cancelar

Figura. 32. Definición de variable cualitativa

Valor Cualitativo para una Variable

Valores posibles de la variable:

Opción	Valor
Valor 1	
Valor 2	
Valor 3	

Numero de Filas:

Aceptar Cancelar

Las figuras 31 y 32, hacen referencia a los diálogos por medio de los cuales se pueden definir una variable por rangos numéricos y una variable cuyos valores sean cualitativos respectivamente, ambos independientes de cualquier criterio, es decir su valor de normalidad no está sujeto al valor registrado en la monitorización de otras variables.

Figura. 33 Diálogo parametrizar variables

Parametrización de Variables

VARIABLES PARAMETRIZABLES DEFINIDAS POR RANGOS

Sistema	Nombre de Variable	Límite Inferior	Límite Superior
Renal - Líquidos	Sangrado	2	7
Circulatorio	P.A.S. (mmHg)	1	9
Circulatorio	P. Arterial Media	1	9
Respiratorio	FR	1	4
Análisis de gases Arteriales	BE	5	9
General	Peso (Kg)	35	39
Respiratorio	PEEP	1	9

Buscar Variable:

Aceptar Cancelar

La figura 33 muestra el diálogo diseñado para la parametrización de variables definidas por rangos numéricos. El diálogo muestra las variables que hayan sido almacenadas en la base de datos del sistema y que tengan una definición por rangos exclusivamente. De ésta manera, el médico puede modificar los parámetros bajo los cuales será supervisado el paciente, dependiendo de las condiciones del mismo y de sus características propias.

La parametrización puede ser realizada en cualquier momento, durante la ejecución de APU. Los valores asignados en éste diálogo, solo alteran la ejecución actual, pues los valores por defecto en la base de datos, permanecen intactos.

4.2.4 Fase de Transición.

4.2.4.1 Implementación. En el inicio de la fase de transición, se llevó a cabo la integración del prototipo, en su versión *Stand Alone*, integrando el módulo de generación de reglas, administración de usuarios y copias de seguridad, con el Módulo de administración de variables y La pantalla principal de monitoreo. Para esto, se diseñaron ventanas que permitieran al usuario acceder a las utilidades del sistema, de una manera ágil, segura y sencilla. A continuación se muestra dicha interfaz, diseñada en conjunto con Andrés Felipe Villamizar Vecino, compañero de práctica.

Figura. 34 Formulario de opciones del sistema

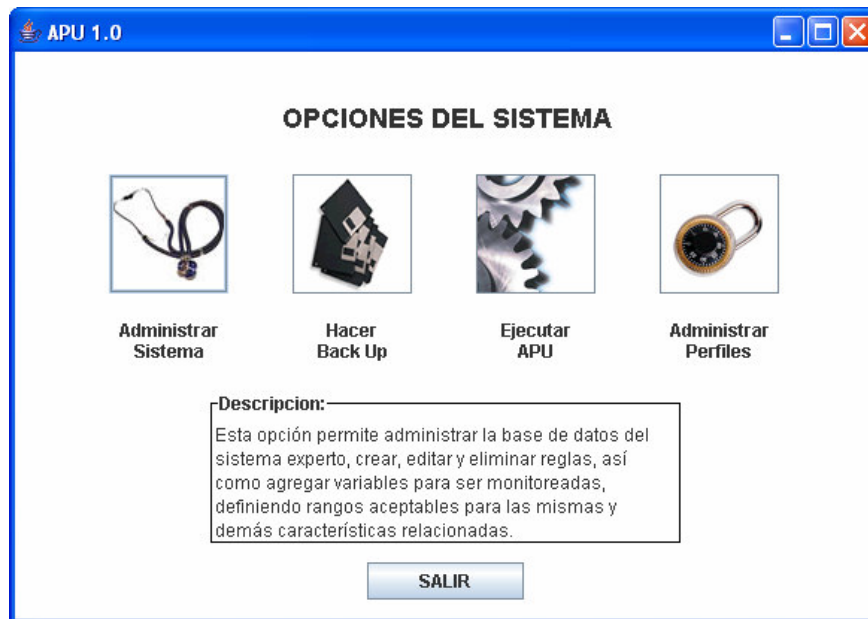
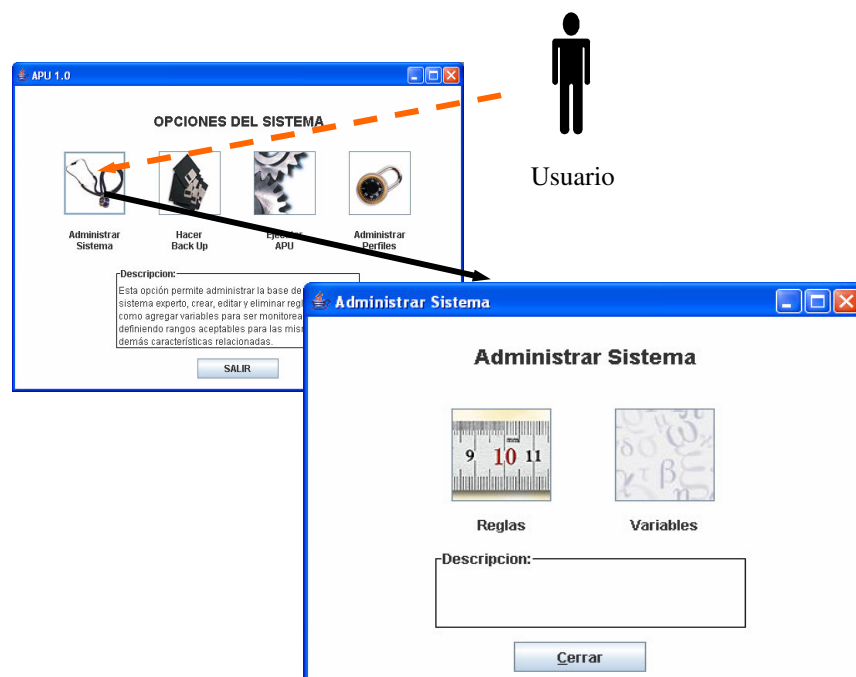


Figura. 35 Acceso al módulo administrar variables, a través de las ventanas de opciones del sistema



4.2.4.2 Pruebas. Para hacer la integración del prototipo, se siguió la metodología denominada “Integración no incremental”, en la cual se prueba cada módulo por separado para luego integrar todos los módulos de una vez, y probar el funcionamiento del paquete completo. Con respecto al tema de las pruebas de integración, es conveniente aclarar ciertos conceptos relacionados:

Prueba: Actividad en la cual un sistema o uno de sus componentes se ejecuta en circunstancias previamente especificadas, en donde los resultados se observan y registran.

Caso de Prueba: Son un conjunto de entradas, condiciones de ejecución y resultado esperados desarrollados para un objetivo particular.

Defecto: Cualquier tipo de procesamiento, definición de datos o un proceso que imposibilite alcanzar o cumplir un objetivo planteado dentro de un caso de prueba.

Para cada uno de los módulos, se identificaron casos de prueba básicos que debían ser evaluados antes de iniciar la integración intermodular. El esquema general seguido, se basó en pruebas de tipo de caja negra, que estudian las especificaciones del software, las funciones que éste debe realizar así como las entradas y salidas esperadas. Las pruebas se hacen básicamente en función de los requerimientos determinados para la herramienta.

Tabla 6. Pruebas del módulo administración de variables

Caso de prueba	Entrada	Salida Esperada	Resultado
Establecimiento de conexiones	Cadena dirección de conexión.	Descriptor del socket.	OK.
Selección de variable identificando esquema.	Esquema, nombre y código de la variable.	Visualización de la variable en el Diálogo de configuración de estándares.	Visualización OK.
Selección de criterios existentes.	Referencia a la tabla de criterios seleccionada.	Registro de asociación de un criterio con un estándar.	Reg. OK.
Creación de criterios de valor específico	Datos válidos para el criterio, Nombre, Variable de H. Clínica asociada, descripción, número de registros de la tabla.	Registro en tablas de la BD, creación de Tablas y relaciones.	Reg. y creación. OK.
Creación de criterios de rango numérico	Datos válidos para el criterio, Nombre, Variable de H. Clínica asociada, descripción, número de registros de la tabla.	Inserción de registro en tablas de la BD, creación de Tablas y relaciones.	Reg. y creación. OK.
Creación de estándares de valor específico	Criterios asociados al estándar, valores válidos para el estándar y descripción del estándar.	Inserción de registro en tablas de la BD, creación de Tablas y relaciones.	Reg. y creación. OK.
Creación de estándares de rango numérico	Criterios asociados al estándar, valores válidos para el estándar y descripción del estándar.	Inserción de registro en tablas de la BD, creación de Tablas y relaciones.	Reg. y creación. OK.
Validación de criterios existentes	Nombre de criterio.	Identificación de criterio existente.	OK.
Definición de variables por rango numérico	Rangos numéricos válidos.	Ingreso del registro en la BD.	OK.
Definición de variables por valor cualitativo	Conjunto de valores válidos para la variable.	Ingreso del registro en la BD.	OK.

Tabla 7. Pruebas de módulos integrados

Caso de prueba	Entrada	Salida Esperada	Resultado
Acceso al módulo administración.	Evento de usuario	Visualización Del módulo de administración de variables y reglas del sistema.	OK.
Acceso al módulo de copias de respaldo.	Evento de usuario	Visualización del módulo de copias de respaldo.	OK.
Acceso al módulo Sistema experto.	Evento de usuario	Visualización de la pantalla principal de ejecución del prototipo.	OK.
Acceso al módulo de administración de usuarios.	Evento de usuario	Visualización del módulo de administración de usuarios.	OK.
Definición de protocolo para ejecución del sistema.	Protocolo seleccionado.	Almacenamiento del protocolo de funcionamiento.	OK.

Tabla 8. Pruebas de rendimiento del módulo de monitoreo

Caso de prueba	Entrada	Condición	Rendimiento
Generación de informes	<i>String</i> contenido en <i>TextArea</i> de monitoreo.	Activo	72 h.
Monitoreo de signos y variables	Signos vitales del MSV y Consulta del a variables de la BD.	Activo	72 h.
Generación de gráficas	Registro histórico de la variable elegida.	Activo	72 h.
Análisis de ECG	Atención del paciente.	Activo	72 h.

5. INICIO DEL SEGUNDO CICLO DENTRO DEL DESARROLLO DEL PROYECTO SISTEMA EXPERTO

Durante las últimas semanas de la práctica, se abordó la fase inicial del desarrollo del segundo ciclo del proyecto Sistema Experto. Para ésta nueva versión, se tiene pensado un prototipo Web, diseñado a partir de las funcionalidad de la primera versión *Stand Alone*, desarrollada enteramente en java.

Para esto, fue necesario hacer ciertos cambios de tipo funcional al prototipo experimental, buscando adaptar las clases java a la manera como se plantea deberá trabajar la aplicación en un entorno Web, pues la forma en que se mostrará la información al usuario y el contenido de la misma será sustancialmente diferente.

Las nuevas interfaces del prototipo Web, fueron diseñadas con la ayuda de un nuevo ingeniero integrante del equipo, experto en usabilidad¹¹. Esta nueva gama de interfaces brinda una mejor apariencia y mayor eficiencia en cuanto a uso de espacios, distribución y calidad de la información que se muestra.

Debido al manejo que hay que darle en éste nuevo prototipo a las reglas que se disparan y a aquellas que no lo hacen, se hizo necesario crear un estándar para definir su estructura en la base de conocimiento, de manera que se puedan generar las aserciones de los hechos y el almacenamiento y carga de las reglas

¹¹ *Usabilidad*: Es una medida empírica y relativa acerca de lo fácil, rápido y agradable que es utilizar un determinado producto o servicio. Empírica porque no se basa en opiniones o sensaciones sino en pruebas (del inglés *tests*) de usabilidad, realizadas en laboratorio u observadas mediante trabajo de campo. Relativa porque el resultado no es ni bueno ni malo, sino que depende de las metas planteadas (por lo menos el 80% de los usuarios de un determinado grupo o tipo definido deben poder instalar con éxito el producto X en N minutos sin más ayuda que la guía rápida) y/o de una comparación con otros sistemas similares.

de una manera dinámica, de acuerdo al protocolo bajo el cual se controle el estado del paciente así como recuperar los lados derechos de las mismas, identificando con facilidad el tipo de información que contienen.

SINTAXIS CREADA PARA LA DEFINICIÓN DE REGLAS EN LA BASE DE CONOCIMIENTO DE ACUERDO A SU CLASIFICACIÓN

5.1.1 Alarmas. Las alarmas, son aquellas reglas que involucran variables cuyos valores de aceptación, están definidos por un rango numérico, y por lo tanto se deben producir alertas o alarmas, en caso de que su valor leído se encuentre por fuera de dicho intervalo. Además se requiere que dichas alarmas, sean mostradas al usuario en orden de importancia, por lo tanto se hace necesario especificar una prioridad en cada regla, de manera que las reglas más importantes, sean disparadas primero. La estructura de estas reglas se muestra a continuación.

- **Lado Izquierdo:**

(defrule **nombreRegla** (declare (salience **prioridad**))

(**NOMVAR[A, B] ?nomvar[a, b]**)

(**NOMVAR ?nomvar & : ([<, >, <=, >=...] ?nomvar ?nomvar[a, b]) =>**

- **Lado Derecho:**

(bind \$?texto (create\$ **NOMVAR, ?nomvar , nivelGravedad, codVariable, tipoRegla**))

(bind ?mess (implode\$?texto))

(ObtenerCodMensaje ?mess))

Donde:

nombreRegla= Hace referencia al nombre asignado a la regla.

NOMVAR= Nombre de la variable evaluada en la regla en mayúscula.

?nomvar= Nombre de la variable evaluada en la regla en minúscula, captura el valor leído de la variables.

NOMVAR[A, B] = Indica el límite que se está evaluando de la variable, sea el superior, o el inferior.

?nomvar[a, b] = Nombre de la variable evaluada en minúscula, mas un carácter adicional, a o b, que captura el valor del límite que se está evaluando.

prioridad= Prioridad dada a la regla, indica el orden en que deben dispararse las reglas.

nivelGravedad= Indica en caso de dispararse la regla, si la alarma que se dé debe ser alarma roja (grave) o alarma amarilla (leve).

codVariable= Contiene el código de la variable asociada a la regla.

tipoRegla= Entero que indica qué tipo de regla es, para el caso el valor será de 1 (Uno).

5.1.2 Sugerencias. Las sugerencias, son aquellas reglas en las cuales el sistema sugiere una acción a tomar con respecto del estado del paciente de acuerdo al cumplimiento de una o más situaciones. En estas reglas no es importante el orden en que se disparen, por lo tanto no se hace necesario definir una prioridad par las mismas.

- **Lado Izquierdo:**

(defrule **nombreRegla**

condicionesNecesarias =>

- **Lado Derecho:**

(bind \$?texto (create\$ - **mensaje**, **tipoRegla**))

(bind ?mess (implode\$?texto))

(ObtenerCodMensaje ?mess))

Donde:

nombreRegla= Hace referencia al nombre asignado a la regla.

condicionesNecesarias= Hace referencia a las condiciones necesarias que deben cumplirse para que la regla se dispare, cualquiera que éstas sean.

mensaje= Hace referencia a la sugerencia que se quiere enviar al usuario en el momento en que esta regla se cumple.

tipoRegla= Entero que indica qué tipo de regla es, para el caso el valor será de 2 (*Dos*).

5.1.3 Medicamentos. Este tipo de reglas, sugieren específicamente uno o más medicamentos, y por lo tanto deben ser tratadas de manera especial, imprimiendo su mensaje o lado derecho, en un área específica de la pantalla, lo que hace necesario que se diferencien de una sugerencia cualquiera. Su estructura se muestra a continuación:

- **Lado Derecho:**

```
(defrule nombreRegla  
condicionesNecesarias =>
```

- **Lado Izquierdo:**

```
(bind $?texto (create$ - medicamento1, medicamento2...  
,medicamentoN, tipoRegla))  
(bind ?mess (implode$ ?texto))  
(ObtenerCodMensaje ?mess)  
)
```

Donde:

nombreRegla= Hace referencia al nombre asignado a la regla.

condicionesNecesarias= Hace referencia a las condiciones necesarias que deben cumplirse para que la regla se dispare, cualquiera que éstas sean.

medicamentoN= Hace referencia cada uno de los medicamentos sugeridos, cualquiera que sea su cantidad.

tipoRegla= Entero que indica qué tipo de regla es, para el caso el valor será de 3 (Tres).

5.1.4 Diagnósticos. Este tipo de reglas asocia un conjunto de diagnósticos, a una variable. Su estructura se muestra a continuación:

- **Lado Derecho:**

(defrule **nombreRegla** (declare (salience **prioridad**))

varNecesariasDiagnostico =>

- **Lado Izquierdo:**

(bind \$?texto (create\$ - **diagnostico**, **tipoRegla**))

(bind ?mess (implode\$?texto))

(ObtenerCodMensaje ?mess))

Donde:

nombreRegla= Hace referencia al nombre asignado a la regla.

varNecesariasDiagnostico = Hace referencia a las condiciones que deben cumplirse con las variables asociadas a la regla, que hacen que ésta se dispare.

diagnostico= Hace referencia al diagnóstico asociados a las variables.

tipoRegla= Entero que indica qué tipo de regla es, para el caso el valor será de 4 (Cuatro).

5.1.5 Cambios de protocolo. Este tipo de reglas, invocan el foco hacia otro protocolo en caso de que el cumplimiento de ciertas situaciones así lo amerite. Al hacer esto, las reglas de dicho protocolo se dispararán si alguna de ellas es accionada.

- **Lado Derecho:**
(defrule **nombreRegla**
condicionesNecesarias =>
- **Lado Izquierdo:**
(focus **nomProtocolo**)
)

Donde:

nombreRegla= Hace referencia al nombre asignado a la regla.

condicionesNecesarias= Hace referencia a las condiciones necesarias que deben cumplirse para que la regla se dispare, cualquiera que éstas sean.

nomProtocolo= Nombre del protocolo que es diseccionado.

5.1.6 Reglas de aserción. Estas reglas hacen que otras reglas se disparen, es decir, en realidad por sí mismas no devuelven ningún tipo de información al sistema, para ser mostrada al usuario.

- **Lado Derecho:**
(defrule **nombreRegla**
condicionesNecesarias =>
- **Lado Izquierdo:**
(assert (**nomAssert val**)))

Donde:

nombreRegla= Hace referencia al nombre asignado a la regla.

condicionesNecesarias= Hace referencia a las condiciones necesarias que deben cumplirse para que la regla se dispare, cualquiera que éstas sean.

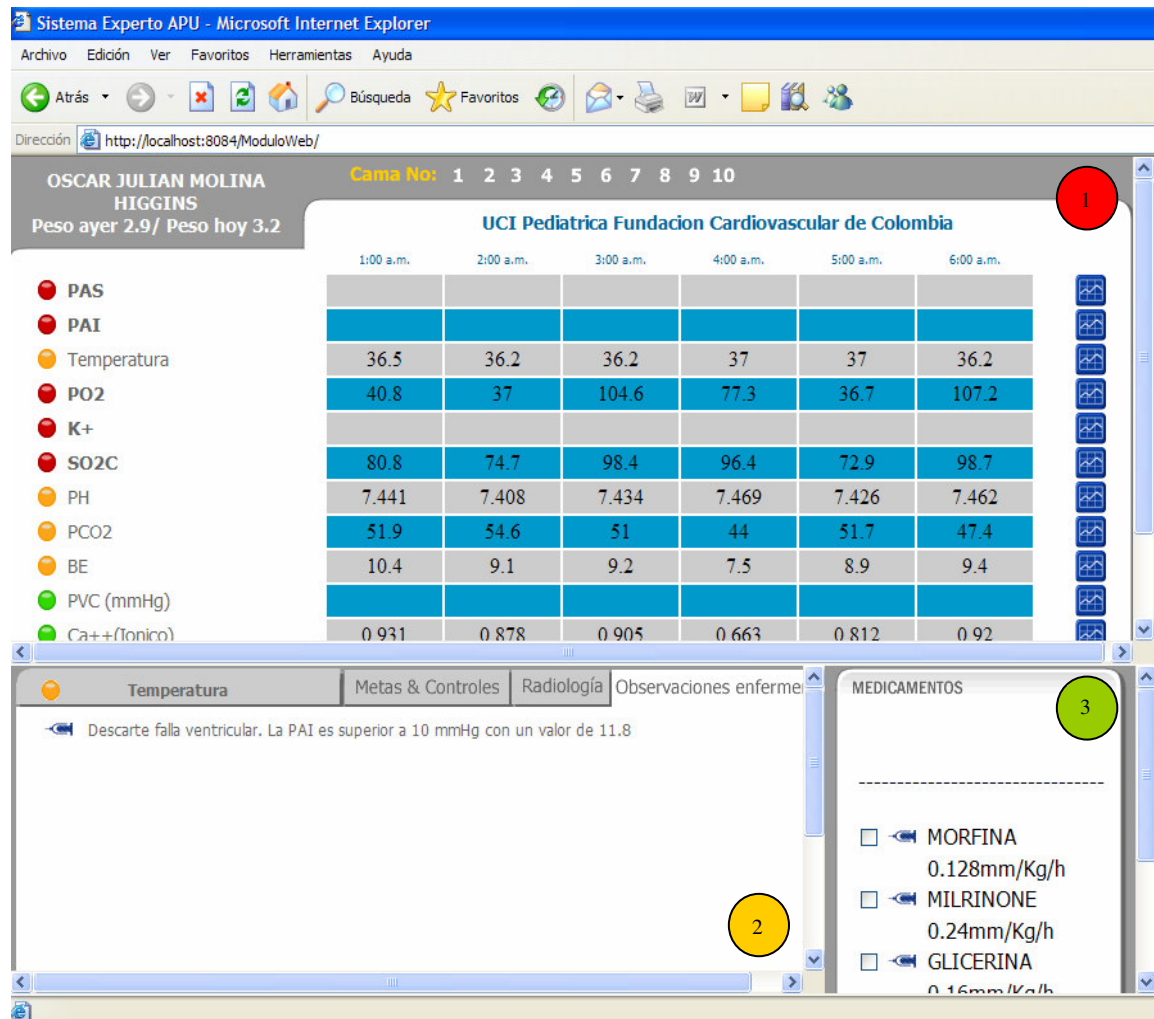
nomAssert = Nombre asignado a la aserción.

val= Valor asignado a la aserción.

Las funciones *create\$*, *implode\$* y *bind*, usadas en el lado derecho de la regla, son propias del motor de inferencia Jess61p8. La función *bind* a una variable especificada en su primer argumento, un valor dado en su segundo argumento; Así, (*bind ?a 5*) asigna el valor de cinco a la variable *a*. La función *create\$* recibe un argumento y a partir de éste crea un String y finalmente, la función *implode\$* evalúa un String, reemplazando aquellos símbolos que corresponden a variable, por el valor que éstos contienen. La función *CObtenerCodMensaje*, recibe como argumento un String y lo pasa a la clase *CImprimirDeJess* de java. En realidad *CObtenerCodMensaje*, es el “alias” por el cual se conoce la función *CImprimirDeJess* dentro del motor de inferencia. Los cambios en la estructura de las reglas, hicieron necesaria la implementación de ciertas modificaciones de la clase *CImprimirDeJess*, encargada de recoger las respuestas del motor de inferencia, en la manera como procesa la información que recibe.

INICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN WEB DEL PROTOTIPO SISTEMA EXPERTO APU.

Figura. 36 Pantalla principal SE-APU Web.



Como se aprecia en la figura 36, el prototipo basado en la Web, consta de cuatro páginas JSP visibles al usuario. Una de ellas es una página que contiene la

distribución de los *frames* y las otras tres hacen referencia al control de alarmas y seguimiento de variables ubicada en la zona 1, información general del sistema ubicada en la zona 2 y finalmente suministro de medicamentos ubicada en la zona 3.

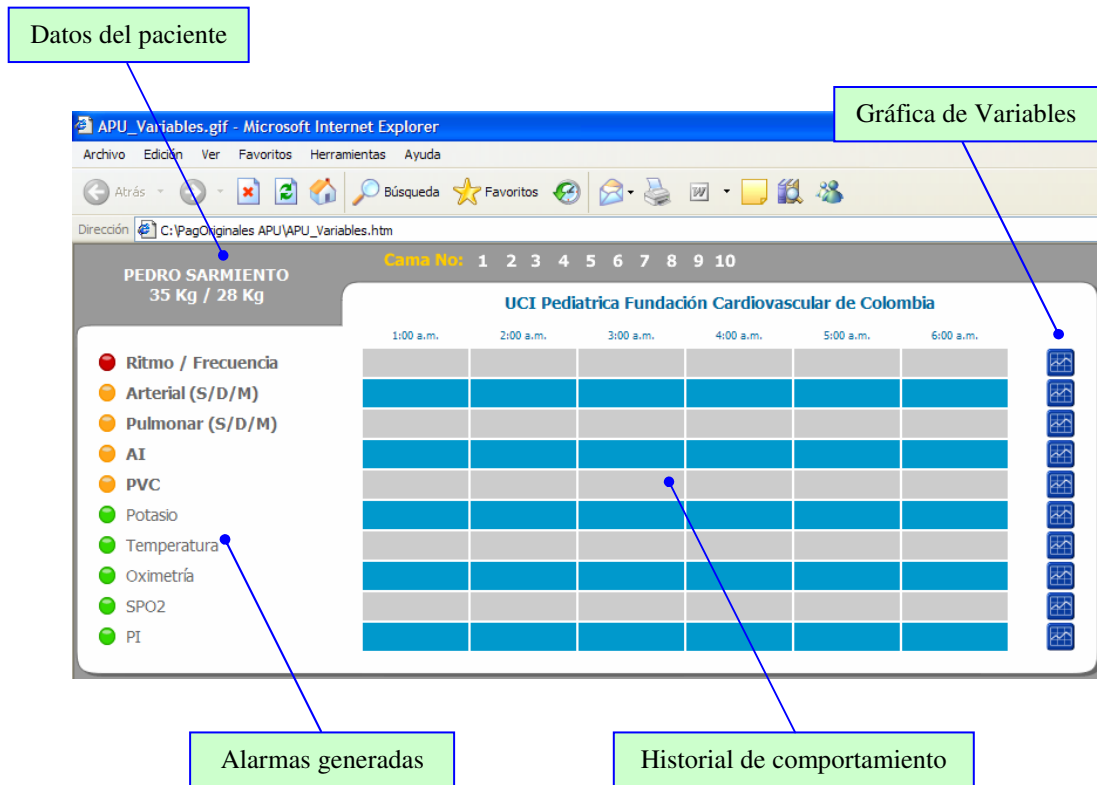
Se escogió JSP debido principalmente a la facilidad de integración que presenta con java (haciendo uso de ficheros *.class* y embebiendo código java en la JSP), permitiendo así separar en niveles las aplicaciones Web, almacenando en las clases java, aquellas partes que representan mayor consumo de recursos así como aquellas que requieran de mayor seguridad dejando la parte encargada de formatear el documento HTML en el archivo JSP.

En términos generales la tecnología JSP (*Java Server Pages*), es una tecnología Java que permite a los programadores generar dinámicamente HTML, XML o algún otro tipo de página Web permitiendo al código Java y a algunas acciones predefinidas ser embebidas en el contenido estático. El uso de Java, que puede ser usado bajo cualquier sistema, sumado a JSP, le da al prototipo mucha versatilidad y portabilidad.

Por su parte Apache Tomcat5.0, es un servidor Web contenedor de *servlets* es decir de la tecnología J2EE, de libre distribución que suministra todo el soporte necesario para correr la aplicación sin ningún contratiempo.

A continuación se explicará con mayor detalle, cada una de las utilidades con las que cuenta la pantalla principal del prototipo Web del sistema experto. En ésta se abstraen los principales componentes con los que contaba el primer prototipo, y se adicionan elementos importantes como la tabla de historial de comportamientos.

Figura. 37 Detalle área de control de alarmas y seguimiento de variables



Datos del Paciente: Esta sección permite visualizar los datos del paciente mas relevantes, que deben ser tenidos a mano por el personal médico, como son el nombre y la lectura del peso registrado del día anterior y del día actual.

Alarmas Generadas: Como se aprecia, en la sección de alarmas se pueden presentar tres tipos de situaciones. Que las alarmas sean de un grado de relevancia alto, leve o sencillamente el valor leído de la variable se encuentra dentro de los valores establecidos. Todas las variables que se estén monitorizando aparecerán en ésta zona sin excepción, eso sí, clasificadas de acuerdo a los tres niveles anteriormente mencionados.

Igualmente, aparecerán en el orden en que fueron disparadas por el motor de inferencia, es decir aparecerán primero en la lista, aquellas variables asociadas a las reglas que hayan sido definidas como de una prioridad alta, seguidas por aquellas que se definieron como de prioridad media. A continuación se explica de manera detallada el orden y los criterios usados para ubicar las alarmas y el significado de cada una de ellas.

● **Ritmo / Frecuencia** Variable definida con grado de relevancia alto. Por lo tanto al verificar que se encuentra fuera del rango admitido, se asigna como una alarma roja. Debido a que tiene una prioridad alta en la regla definida en la base de conocimiento, será evaluada por el motor de inferencia en primera instancia junto con aquellas reglas de igual prioridad ubicándola dentro de las primeras posiciones del listado.

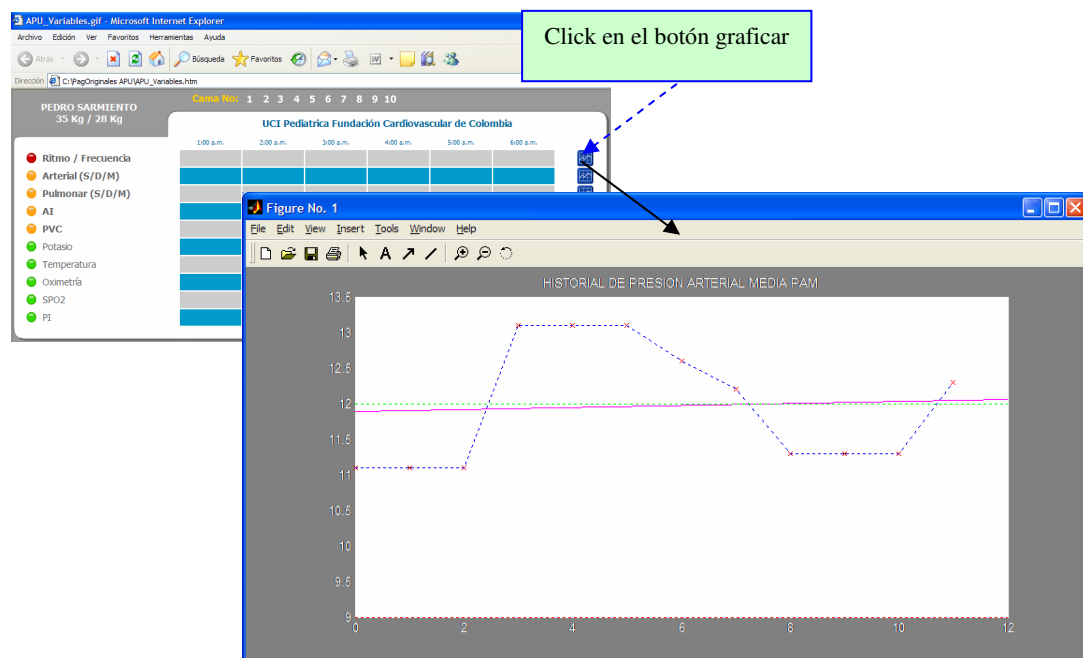
● **Arterial (S/D/M)** Estas variables han sido asociadas a reglas de una prioridad secundaria. Por lo tanto serán evaluadas en segunda instancia por el motor de inferencia, y aparecerán en segunda posición en el listado de alarmas. Debido a que su grado de relevancia asignado es leve, el color que le corresponde es el amarillo.

● **Temperatura** Una vez se tiene el total de respuestas provenientes del motor de inferencia, se sabe cuales variables han accionado reglas, indicando que sus valores no se encuentran dentro de los rangos permitidos y por lo tanto también se sabe, cuales variables no han accionado ninguna regla, indicando que su valor se encuentra dentro de los valores apropiados. Éstas últimas aparecerán al final del listado y con color verde indicando que su estado es satisfactorio.

Historial de Comportamiento: En ésta tabla, se van consignando, lectura tras lectura, los últimos seis registros de cada una de las variables que se estén monitorizando, permitiéndole al médico, evaluar el comportamiento de las mismas, tal como lo haría en lo que ellos llaman sábana de registros, que es un tablero acrílico, ubicado en cada una de las camas de la UCIP, en donde la enfermera apunta, hora a hora, los valores registrados por cada una de las variables que se encuentren bajo observación, junto con registros adicionales de medicamentos suministrados, peso, controles aplicados...etc.

Gráfica de variables: Por medio de ésta opción, el médico tiene la posibilidad de graficar el comportamiento de la variable seleccionada, tal cual se hacía en el primer prototipo experimental. En ésta gráfica, se ilustran el límite superior e inferior admisible permitido para la variable, así como un trazado por cada uno de los registros que se ésta se hayan realizado.

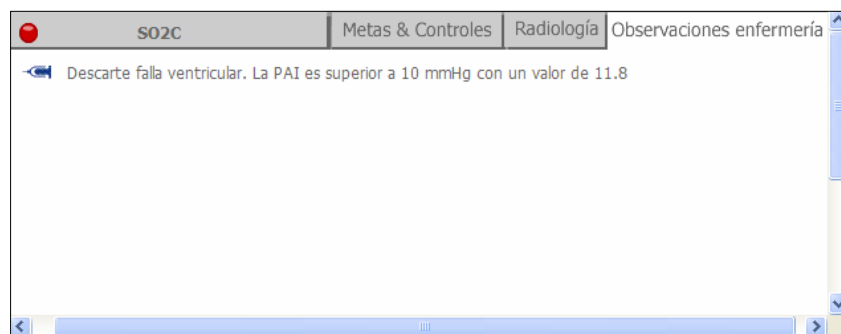
Figura. 38. Gráfica de variables en Matlab



Por otra parte, aquellas reglas que se encuentren definidas como sugerencias, cuyo valor de retorno sea un texto que proporciona información al médico acerca de una situación particular que se puede estar presentando o en el cual se le sugieren medidas a tomar, se envían al *frame* número dos, en el cual se recibe dicha información y se le da un formato para su posterior impresión en el área destinada para tal fin, denominada “*Observaciones de Enfermería*”.

Como se explicaba en un principio, dado que las reglas de este tipo, no tienen definido para sí un nivel de prioridad específico, su orden de aparición en *observaciones de enfermería* será aleatorio y la manera como se retornen por parte del motor de inferencia, estará dictaminada por el sistema de resolución de conflictos con el que éste cuenta. A continuación se muestra dicha área de impresión de la interfaz, en la que se puede apreciar una sugerencia efectuada por el sistema.

Figura. 39 . Visualización de reglas portadoras de sugerencias



Ya en la parte operativa, el sistema sufrió ciertas modificaciones, para permitir su ejecución dentro de un ambiente Web. Algunas clases fueron integradas y otras desaparecieron. En particular, la clase *CHtrMonitorear*, hilo encargado de controlar

el monitoreo de variables y signos, se embebió dentro de la página APU variables, que es aquella que aparece referenciada en la sección uno de la figura 36. De igual forma, se agruparon las clases en 3 paquetes buscando dar mayor orden a la configuración interna de la aplicación y facilitando su utilización dentro de las páginas Web por medio de la tecnología JSP.

En la figura 40, se muestra el diagrama de paquetes, que muestra como se jerarquizaron para ésta etapa, los contenidos de este primer prototipo.

Figura. 40. Diagrama de paquetes

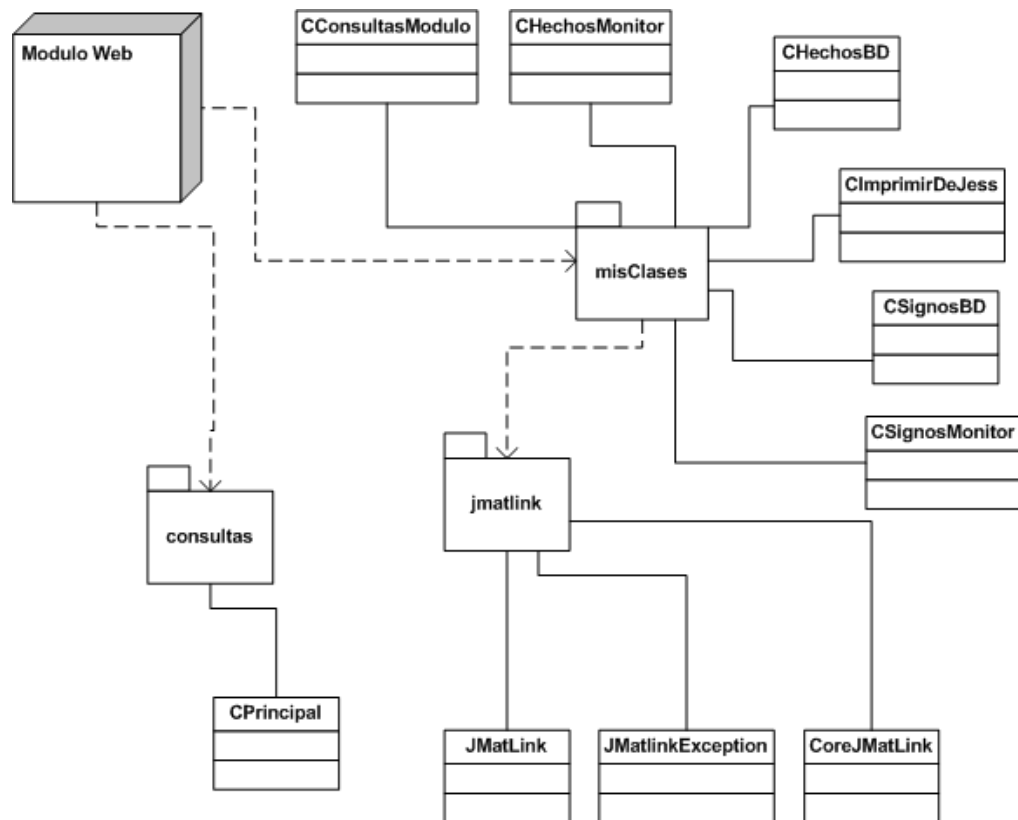
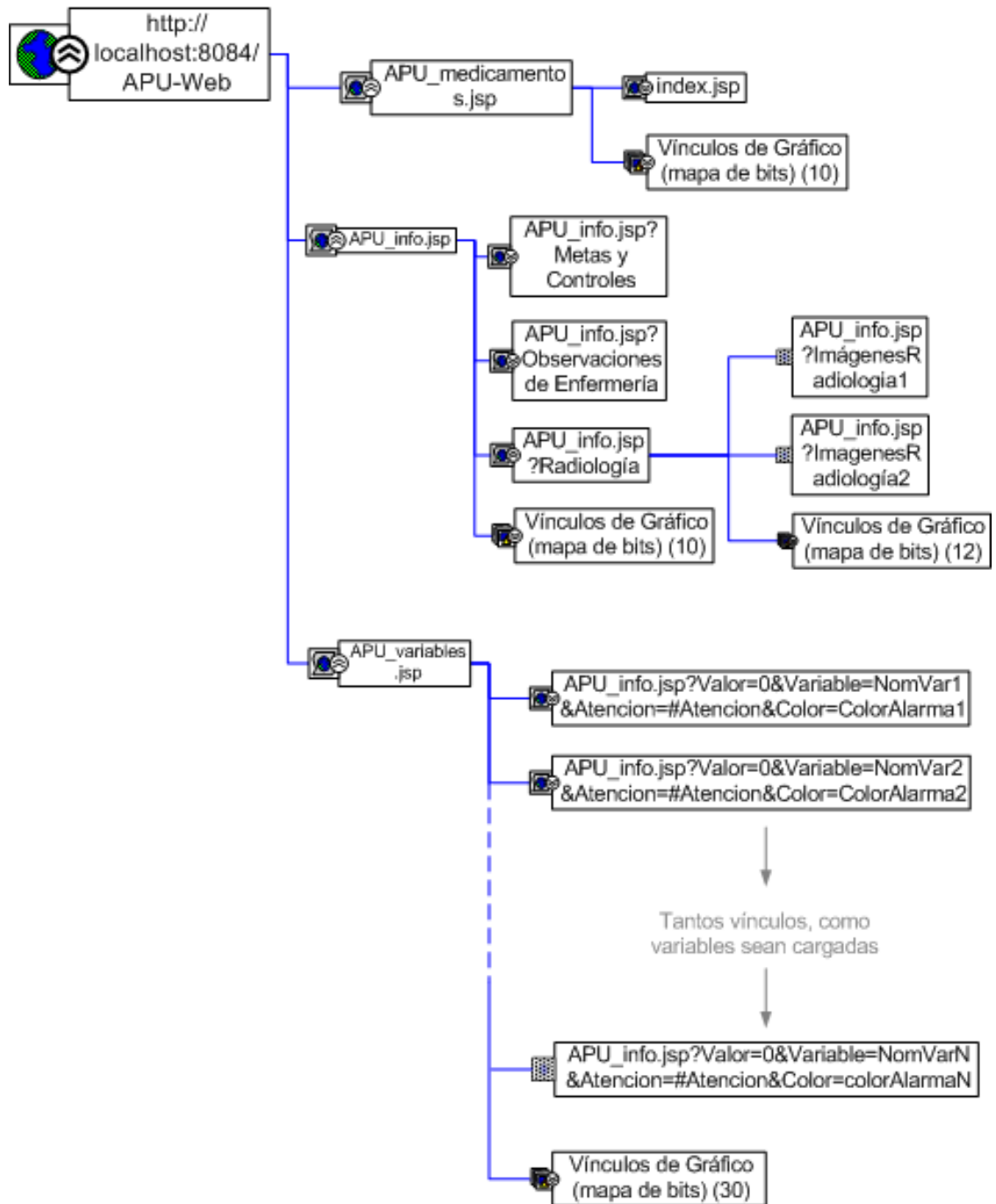


Figura. 41 . Diagrama Web, mapa del sitio



En la figura 41, se muestra el mapa del sitio Web. Cada una de las formas del mapa representa un vínculo del sitio Web e incluye información sobre el tipo de vínculo y su ubicación. Este tipo de diagramas resulta útil a la hora de analizar la organización del sitio o para clasificar su contenido.

A continuación se presentan los nuevos diseños de las demás pantallas del módulo Web, para los cuales también se aportó y que fueron elaborados con base en las primeras pantallas creadas para el aplicativo.

Es importante aclarar, que éstas ventanas aún no se encuentran implementadas. De ellas tan solo está su modelo, y deberán ser construidas en las iteraciones subsiguientes, del nuevo ciclo del proyecto que hasta ahora comienza.

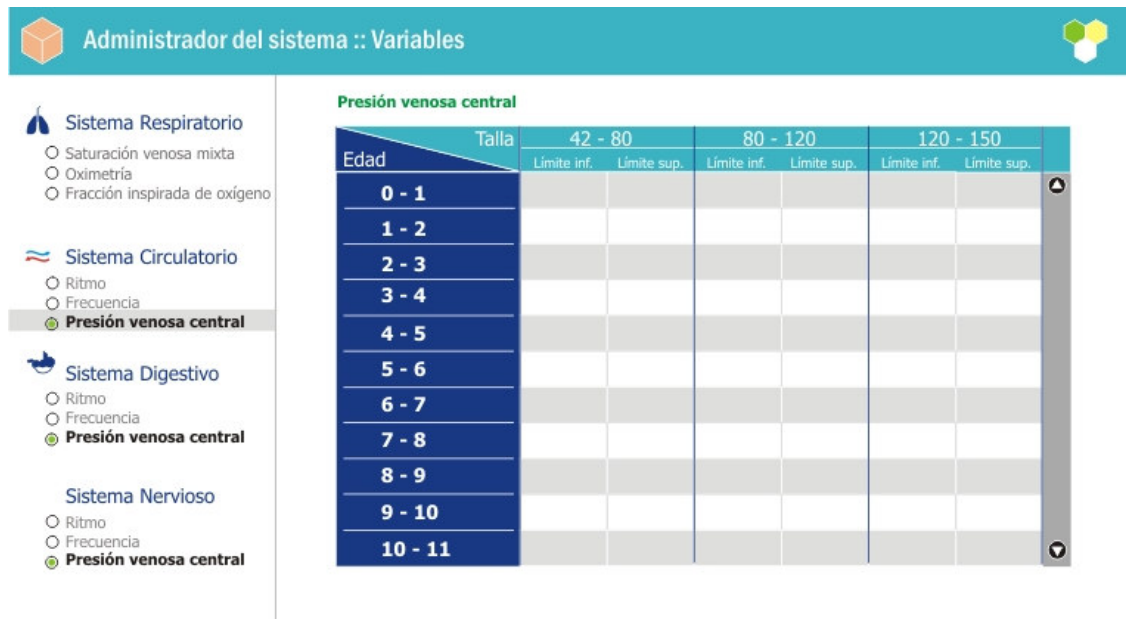
Figura. 42 Pantalla inicial Apu Web



Figura. 43 Diseño Web módulo de Administración de reglas



Figura. 44 . Administración de variables



6. OTRAS ACTIVIDADES

PROYECTO DE CRF

Una de las labores que se llevan a cabo dentro del Grupo de Investigación en Pediatría, en lo que corresponde innovación y desarrollo tecnológico, es la presentación ante el Comité Técnico-Científico de propuestas de investigación tendientes a dar solución a las necesidades que surgen en el día a día de la labor investigativa del personal médico y asistencial que labora en dicho departamento y como estudiantes en práctica del mismo, tuvimos la oportunidad de participar también en éste campo, en un proyecto que pretende desarrollar una herramienta, que facilite el diseño y publicación de Formularios de Recolección de Datos (CRF's). A continuación se presenta la propuesta de investigación que se elaboró en el marco de esta idea de proyecto. [ANEXO C]

ARTÍCULO

También se participó en la elaboración de un artículo aceptado para ser publicado en las actas del congreso CMPI 2006 Campus Multidisciplinar en Percepción e Inteligencia – Albacete, España. En el se esboza el proyecto que actualmente se adelanta en la FCV titulado, [ANEXO D]

BIOESTADÍSTICA

Paralelamente a las conferencias correspondientes al diplomado, se tuvo la oportunidad de participar en un curso de Bioestadística dictado por un epidemiólogo y metodólogo del Instituto de investigaciones de la Fundación Cardiovascular. Dicho curso se dictó los días martes en el horario de 6 a 8 a.m, en donde se impartieron los conocimientos necesarios para aplicar métodos estadísticos como estrategia para fortalecer el análisis de los procesos de investigación.

La participación en el curso de Bioestadística resultó bastante provechosa, pues permitió afianzar conocimientos adquiridos durante el pregrado, apreciando su utilidad y aplicación dentro de un dominio particular, en este caso las áreas de investigación en salud y la biomedicina, así como el aprendizaje de nuevos conocimientos que enriquecen la formación del estudiante y que conducen al cumplimiento de uno de los objetivos principales de una práctica empresarial.

ASISTENCIA A CONFERENCIAS DEL DIPLOMADO EN HABILIDADES INVESTIGATIVAS PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA INSTITUCIONAL, DESARROLLADO EN LA FCV EN CONVENIO CON EL INSTITUTO SENA.

También se tuvo la oportunidad de participar en las cuatro primeras conferencias dictadas en la Fundación Cardiovascular, en el marco del diplomado que se dictó al personal que adelanta tareas investigativas en la institución, titulado “Diplomado en habilidades investigativas para el desarrollo de la ciencia y la tecnología institucional”.

En conclusión, se puede decir que estas conferencias fueron muy completas y enriquecedoras, pues brindaron un espacio para aprender cosas nuevas

abordando temáticas de otras disciplinas, así como tópicos de interés propios del mundo de la ingeniería y brindaron la posibilidad de profundizar en habilidades importantes que todo profesional debe desarrollar como son la facilidad para abordar el planteamiento de un problema, y redactar objetivos de manera clara, elementos que conducen a la elaboración de una propuestas de investigación consistente y bien elaborada.

PUNTOS DE FUNCIÓN

Se recibió una capacitación acerca de una métrica para el software llamada Puntos de función, mediante la cual se estima el tiempo a emplearse en la consecución de un proyecto. Los Puntos de Función miden la aplicación desde una perspectiva del usuario, dejando de lado los detalles de codificación. Partiendo de que “No se puede controlar, lo que no se puede medir”, los puntos de función ofrecen una métrica para determinar el tamaño del software y se caracteriza por ser una técnica totalmente independiente de todas las consideraciones de lenguaje.¹²

¹² **DURÁN**, Sergio. Puntos por función, una métrica estándar para establecer el tamaño del software. Boletín de política informática No. 6 1003.
www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/Articulos/tecnologia/puntosxfuncion.pdf

7. CONCLUSIONES

- La practica empresarial, proporciona un ambiente propicio para el desarrollo de las habilidades profesionales del estudiante, al brindar un espacio en el que sus saberes teóricos se ven continuamente enfrentados a la realidad a la vez que el entorno interdisciplinario en el que se desarrolla, facilita el intercambio permanente de conocimiento.
- Los sistemas expertos, son un campo con un potencial de desarrollo enorme, que pueden ser aplicados en diferentes áreas del conocimiento del saber humano, en búsqueda de soluciones a problemáticas que requieran del manejo de grandes volúmenes de información, o de expertos humanos que resulten escasos. Sin embargo, es necesario ahondar en su estudio, propiciando el desarrollo de proyectos de investigación, que promuevan en nuestro contexto, una cultura de apropiación del conocimiento, creando un escenario propicio para la innovación y el desarrollo tecnológico en donde la Universidad, el Estado y la empresa privada, tienen la responsabilidad de jugar un papel protagónico.
- El prototipo de sistema experto diseñado e implementado en ésta práctica empresarial, sienta unas bases sólidas para la continuidad del proyecto, dentro del proceso iterativo de construcción de software en el que se enmarca el desarrollo del Sistema Experto en la Fundación Cardiovascular.
- El proceso unificado, es una metodología de desarrollo de software que resulta apropiada para proyectos, en donde los requerimientos son cambiantes y se van

construyendo de la mano con el usuario, necesitando de la aplicación de metodologías flexible; aspecto que favoreció fuertemente el desarrollo del prototipo con relativamente poca complejidad y altos estándares de calidad.

8. PERSPECTIVAS DEL PROYECTO

El Sistema Experto se perfila como uno de los proyectos más importantes de la Fundación Cardiovascular de Colombia, por sus alcances y el fuerte impacto positivo que tendría en la atención, tratamiento y control de los pacientes, así como la enorme cantidad de recursos económicos y humanos que se ahorrarían.

En éste momento se encuentra en sus fases iniciales la implementación de la versión Web del aplicativo. Ésta nueva versión será mucho más amigable al usuario y está pensada para satisfacer en muy buen grado, los requerimientos del personal médico.

El proyecto sistema experto, es un proyecto pensado a largo plazo y seguramente adquirirá todo su potencial y magnitud, en el momento en que se pase de ser un sistema determinístico, a uno probabilístico. Entonces se podrá aplicar, no solo a situaciones deterministas, sino que haciendo uso de conceptos como las redes *Bayesianas* y las cadenas de *Markov*, podrá ser aplicado a situaciones prácticas que impliquen incertidumbre.

Con éste enorme valor agregado, el sistema experto fácilmente podrá constituirse en una herramienta de notable aplicabilidad, previendo que este avance importante, seguramente no está muy lejos.

ANEXOS

ANEXO A. GLOSARIO

Aorta: Arteria que lleva la sangre arterial (oxigenada) desde el ventrículo izquierdo al resto del cuerpo.

Arritmia: Frecuencia ritmo anormal de la contracción auricular o ventricular.

Arteria pulmonar: Lleva la sangre venosa (desoxigenada), desde el ventrículo derecho a los pulmones para que recupere su nivel de oxígeno óptimo.

Balance hídrico: Relación que hay entre los líquidos se le suministran al paciente y los que son evacuados por el paciente. Su valor ideal es de cero (que lo que entre sea igual a lo que sale).

Bomba de Infusión: Máquina que controla el ritmo y cantidad de fluido intravenoso administrado.

Cardiovascular: Relacionado con el corazón y los vasos sanguíneos (arterias, venas y capilares); sistema circulatorio.

Catéter: tubo plástico que se inserta en el cuerpo; incluye aquellos catéteres que se usan para administrar alimentos, succionar líquidos, administrar fluidos intravenosos y extraer muestras de orina.

Derrame pleural: Acumulación patológica de líquido en el espacio pleural; es el resultado de un desequilibrio entre la formación y la reabsorción de líquido a este nivel.

Destete ventilatorio: Es la adaptación progresiva de un paciente intubado y ventilado mecánicamente a la ventilación espontánea.

Diálisis peritoneal: El proceso de diálisis se basa en la ósmosis (filtración y difusión de soluciones a través de las membranas semipermeables). La solución de diálisis se perfunde en la cavidad peritoneal a través de un catéter. La membrana peritoneal sirve como membrana semipermeable entre los vasos sanguíneos y el líquido de diálisis. Cuando se extrae el líquido de diálisis, éste contiene los productos de desecho que normalmente serían expulsados por los

riñones. Además ayuda en la redistribución de líquidos corporales y optimiza las funciones orgánicas (especialmente la cardio-pulmonar).

Diástole: Fase del ciclo cardíaco en la cual el músculo cardíaco se relaja y dilata, y el corazón se llena de sangre.

ECG/EKG: Un electrocardiograma (ECG o EKG), es un gráfico en el que se inscriben las variaciones del voltaje del corazón, captadas por electrodos en la superficie de nuestro cuerpo, en relación con el tiempo.

Ecocardiograma: Es una prueba que utiliza ondas de ultrasonido para observar el corazón. Sirve para determinar el tamaño del corazón, fuerza del bombeo, problemas valvulares, fluidos alrededor del corazón,, coágulos de sangre, tumores dentro del corazón o orificios anormales entre las cámaras.

Endovenoso: método que se utiliza para administrar medicamentos o líquidos directamente en la vena.

Electrolitos: sodio, potasio y cloruro, elementos esenciales para el cuerpo que pueden medirse en la sangre u orina, o agregarse al fluido intravenoso.

Epicrisis: Es el resumen de la historia clínica del paciente que ha recibido servicios de urgencia con observación o de hospitalización.

Extrasístoles: Contracción prematura de la aurícula o el ventrículo, (o de ambos) independiente del ritmo normal.

Frecuencia cardíaca: Cantidad de latidos del corazón en un determinado tiempo.

Gasto cardíaco: Cantidad de sangre que el corazón expulsa por minuto. En reposo es alrededor de cinco litros y en situaciones de esfuerzo puede llegar a multiplicarse por cuatro.

Hematocrito: Porcentaje del volumen de la sangre que ocupa la fracción de los glóbulos rojos. Las cifras normales de hematocrito en humanos oscilan entre 37% y 54% dependiendo de diversos factores fisiológicos, como la edad, el sexo y la condición física del sujeto.

Hemoglobina: Es la sustancia química de la sangre contenida en los glóbulos rojos y encargada del transporte del oxígeno desde los pulmones a todos los tejidos del organismo.

Hipotermia: Estado en el que la temperatura del cuerpo es inferior a 35°C, causada generalmente por una exposición prolongada al frío. Se caracteriza por una disminución de las frecuencias respiratoria y cardiaca, palidez generalizada y escalofríos.

Historia clínica: Es un documento en el que se registran los datos e información pertinentes a la salud y a la enfermedad de una persona, se archivan en el área de Estadística y puede ser de papel, en película, soporte óptico o magnético. Debe ser única o sea que una persona tendrá a lo largo de su vida un solo documento.

Homeostasis: Cuando el organismo funciona como debe porque todos los sistemas están equilibrados.

Inotropico: Agente que afecta la fuerza de las contracciones musculares.

Intervalo P-R: Comprende la onda P más el segmento P-R del EKG, representa el tiempo que media entre el comienzo de la despolarización auricular y el comienzo de la ventricular.

Intubación: colocación de un tubo en la tráquea, que se conecta a un ventilador para ayudar al bebé a respirar.

Isquemia miocárdica: Falta de oxigenación del tejido miocárdico por disminución del aporte sanguíneo al mismo. Puede variar desde una isquemia reversible, con sintomatología muy variable, desde la falta de síntomas reconocibles por el paciente, pasando por la angina de pecho, hasta un infarto de miocardio, caracterizado por necrosis del tejido miocárdico.

Leucocitos: También llamados glóbulos blancos, hay entre 9.000 y 10.000 unidades por mm³ de sangre. Actúan defendiendo al organismo de los agentes nocivos.

Monitoreo hemodinámico: Técnica de medición de signos fisiológicos útil para la identificación precoz de situaciones que amenazan la supervivencia, para la

evaluación de la respuesta inmediata del paciente al tratamiento y/o intervenciones realizadas, así como para el aporte de datos que orienten diagnósticos médicos y de enfermería.

Monitoreo invasivo: monitoreo que se le realiza al paciente por medio de instrumentos que son introducidos al cuerpo del paciente.

Monitoreo no invasivo: Monitoreo realizado al paciente con instrumentos externos.

Neonato: Es el tiempo de vida desde el momento del nacimiento hasta los 40 días de vida.

Neumotórax: Escape de aire de los pulmones hacia el espacio pleural (entre los pulmones y las costillas).

Pleura: La pleura es una membrana serosa de origen mesodérmico que recubre ambos pulmones, el mediastino, el diafragma y la parte interna de la caja torácica. La pleura parietal es la parte externa, en contacto con la caja torácica mientras que la pleura visceral es la parte interna, en contacto con los pulmones.

PVC: La presión venosa central (PVC) se corresponde con la presión sanguínea a nivel de la aurícula derecha y la vena cava, estando determinada por el volumen de sangre, volemia, estado de la bomba muscular cardíaca y el tono muscular. Es una presión invasiva.

Radiografía: imagen bidimensional de una estructura del cuerpo, con diferentes tonos del negro al blanco separando estructuras y delimitando tejidos. Generalmente se tiene un modelo normal y con este se pueden comparar las variaciones que aparezcan para extraer datos necesarios para el diagnóstico de diferentes patologías

Sístole: Es la contracción del tejido muscular cardíaco. Esta contracción produce un aumento de la presión en la cavidad cardíaca, con la consiguiente eyección del volumen sanguíneo contenido en esa cavidad.

Switch Arterial: En este procedimiento la aorta es conectada al ventrículo izquierdo de tal forma que ésta es bombeada al resto del cuerpo. Por otro lado la

arteria pulmonar es reconectada al ventrículo derecho de tal forma que la sangre venosa se dirija a los pulmones. Este *switch* arterial debe realizarse en la primera semana después del nacimiento o dependiendo de varios factores, poco tiempo después.

TGA: En la transposición de grandes arterias (TGA), la arteria pulmonar y la aorta están invertidas, de tal forma que la aorta está conectada al ventrículo derecho llevando la sangre venosa a todo el cuerpo y por otro lado la arteria pulmonar se conecta con el ventrículo izquierdo permitiendo que la sangre oxigenada vuelva a entrar a los pulmones.

UCIP: La unidad de cuidados intensivos pediátrica (UCIP) es un servicio destinado a la hospitalización de pacientes menores de 18 años, en postoperatorio de cirugía cardiovascular o con alteraciones multisistémicas causadas por otras patologías, que se encuentren en estado crítico que exigen monitoreo invasivo y no invasivo, asistencia médica y de enfermería permanente con la ayuda de equipos especializados.

Vasodilatador: Agente que causa la dilatación de los vasos sanguíneos.

Vasoconstrictor: Agente causante de la constricción o disminución del volumen de los vasos sanguíneos.

Ventilación mecánica: Medio terapéutico al que se recurre cuando la mecánica ventilatoria del paciente no le permite el intercambio gaseoso suficiente para cubrir las necesidades mínimas de oxígeno y eliminación de dióxido de carbono, la cual necesita ser ajustada a la homeostasis del paciente, entendiendo como tal los parámetros ventilatorios y ácido- base que le eran usuales a esa persona.

ANEXO B. ESTÁNDAR DE DESARROLLO

1. PROPÓSITO

Establecer la normatividad estándar que se debe tener en cuenta al momento de implementar un aplicativo.

2. ALCANCE

Este estándar es aplicable al área de desarrollo tecnológico del grupo de Investigación en pediatría, por todo el personal que tenga dentro de sus actividades el desarrollo de software.

3. DEFINICIONES

No aplica

4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

4.1. Árbol de directorios y nomenclatura de archivos

4.2. Base de Datos

4.3. Programación de Procesos

Símbolos y Convenciones:

Sis: Sigla de 3 letras o del proyecto software. Ejemplo: Software para IPS: FCV

Sistema: Nombre descriptivo abreviado del aplicativo, de máximo 15 letras sin espacios en blanco. Ejemplo: FCV.Soft

Mod: Sigla de 3 letras del nombre del módulo. Ejemplo: Hce (Historia clínica electrónica).

Modulo: Nombre descriptivo abreviado de los módulos componentes de un sistema, si los hay, de máximo 15 letras. Ejemplo: ViaClinica, Módulo de Vías clínicas componente de Gerencial.

Nombre Abreviado: Nombre descriptivo abreviado de la referencia, de máximo 15 letras sin espacios en blanco.

Clase: Abreviado de los tipos de imágenes utilizados en el proyecto software.

Nombre Documento: Nombre de los documentos soporte del proyecto software.

Identificación: Número de identificación de las personas. Aplica para imágenes y video.

Consecutivo: Número de secuencia, para el caso de tener varios archivos del mismo tipo o clase. Aplica para imágenes y video.

4.1. Árbol de Directorios y Nomenclatura de Archivos

La organización de los directorios de un proyecto software, dependerá de una carpeta con el nombre del mismo. Se utilizara el nombre de proyecto ExampleV1.0 como ejemplo ilustrativo. En dicho fólder principal los subdirectorios son:

4.2. Base de Datos

4.2.1 Nomenclatura del Nombre de la Base de Datos

















Los nombres de los archivos de la base datos empezaran por el prefijo BD.

Nombre NombreAbreviado

Excepción: Ninguna

Ejemplos: BDVariables, BDReglas

Figura. 45 Jerarquía de Directorios

	ExampleV1.0: Folder principal del proyecto dentro de c:\InvesPed\
	Bin: (Binary File) Archivos Ejecutables(.exe) y de procesamiento (.bat) que hayan sido probados
	Bin: (Binary File) Archivos Ejecutables(.exe) y de procesamiento (.bat) que no hayan sido probados
	Dat: (Data) Archivos de Base de datos Local
	Dll: (Dynamic Link Library) Librerías dinámicas compiladas
	Doc: (Document) Documentación General del producto
	Dev: (Developer) Controles de cambio del software
	Pmg: (Project Management) Archivos de administración del Proyecto
	Usr: (User Document) Documentación de Usuario
	Hlp: (Help) Manual de Usuario en línea
	Img: (Image) Imágenes comunes a la documentación de usuario
	Tch: (Technical) Documentación Técnica del Software
	Trn: (Training) Manuales y videos de entrenamiento
	Flt: (Flat File) Archivos Planos generados por el Software
	Img: (Image) Imágenes a cargar en tiempo de ejecución
	Ins: (Installer) Instaladores del producto
	Ole: (Object Linking Embedding) Objetos enlazados desde el software
	Source: Archivos fuentes del software
	Lybrary: Cursores, imágenes, videos e iconos usados en tiempo de diseño
	Ico: (Icon) Archivos de íconos
	Img: (Image) Archivos de Imágenes
	Snd: (Sound) Archivos de Sonido
	Vid: (Video) Archivos de Video

4.2.2 Nomenclatura de Objetos en la Base de Datos

4.2.2.1 Campos

Prefijo de tres (3) caracteres en minúscula que indiquen su contenido.

Nombre NombreAbreviado

Excepción Ninguna

Ejemplos numFactura, codProducto, codCliente, fecNacimiento

4.2.2.2 Tablas

Prefijo con los caracteres tbl

Nombre NombreAbreviado

Excepción Si la tabla es creada directamente por la aplicación se separarán el prefijo, nombre y demas identificadores por el carácter _

Ejemplos: tblIVariables, tbl_OndaQ_Profundidad

4.3. Programación de Procesos

4.3.1 Nomenclatura de Objetos en Programación

4.3.1.1 Clases

Prefijo CFrm para las clases que extienden de JFrame, CDlg para las clases que extienden de Dialog, CThr para las clases que extienden de Thread. Para aquellas clases que no heredan de ninguna clase, se usara el prefijo C.

Nombre NombreAbreviado

Ejemplos: CdlgPresiones, Cprincipal.

4.3.1.2 Objetos en Formularios y Diálogos

Prefijo xxx. Éste se define para cada objeto en las Tabla de Componentes, Tabla de Contenedores y Tabla de Menús.

Nombre NombreAbreviado que identifique la variable que representan.

Ejemplos: cmdSalir, lblEmpresa.

Tabla 9. Componentes swing

COMPONENTES SWING	
Objeto	Abreviatura
Jbutton	jbtn
JcheckBox	jchk
JradioButton	jrads
Jlabel	jlbl
JtextField	jtxf
JpasswordField	jpas
JtextArea	jtxa
JscrollBar	jscr
Jlist	jlst
JcomboBox	jcmb

Tabla 10. Contenedores swing

CONTENEDORES SWING	
Contenedor	Abreviatura
JFrame	jfrm
JPanel	jpnl
JDialog	jdlg
JScrollPane	jscp

Tabla 11. Menús swing

SWING MENÚS	
Menu	Abreviatura
JMenuBar	jmnb
JMenu	jmnu
JMenuItem	jmni
JPopupMenu	jpum

4.3.1.3 Variables

Prefijo xyyy

x : global por clase, o locales de un método.

yyy : identifican el tipo de dato según Tabla de Tipos de Datos.

Nombre: Nombreakbreiado

Tabla 12. Tipos de datos

VARIABLES	
Tipo de Dato	Abreviatura
Boolean	bol
Connection	con
Date	dte
Double	dbl
Flota	flt
Int	int
Integer	itg
Long	lng
String	str
Statement	sta
ResultSet	rst

ANEXO C. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN DE FORMATOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS CRFs

Tabla 13. Proyecto Formatos de recolección de datos CRF

Organización:		Título:	Proceso:	
Fundación Cardiovascular de Colombia		INSCRIPCIÓN DE UNA NUEVA IDEA DE PROYECTO	Gestión de Proyectos	
Unidad:	Área:		Código:	Versión:
Empresarial:			R-PROY-01	0
Área Corporativa:	Plantación y Gestión de la calidad			

Unidad empresarial:	Área: Plantación y Gestión	Tipo de Proyecto:
IDEA DE PROYECTO		
Título: Diseño e implementación de una herramienta software para el desarrollo de bases de datos aplicables a procesos de investigación, con base en el diseño de formularios de recolección de datos CRF's.		
Objetivos (General): Desarrollar una herramienta software que estructure y facilite la recolección de información asociada a procesos de investigación en salud.		
Descripción (Problema y Justificación): El objetivo de una prueba clínica es determinar la veracidad de una hipótesis que surge a partir de estudios no controlados observacionales, descriptivos o retrospectivos, o de estudios preclínicos, que pueden conducir a la generación de nuevo conocimiento. Dado que los datos son el principal indicador de la calidad de una prueba clínica, es necesario contar con instrumentos idóneos para su recolección. De éstos, los CRF (<i>Case Report Forms</i>) son las herramientas más importantes, diseñadas para recolectar de manera efectiva dentro de una prueba clínica, información completa y precisa, minimizando cualquier posibilidad de malinterpretarla o de cometer errores de transcripción. La recolección y manejo de la información, en el marco de cualquier investigación, requiere personal entrenado en el desarrollo de las inquietudes generadas durante la práctica clínica y que sea cualificado tanto en el acceso a las diversas fuentes de información como en el uso de las diferentes herramientas informáticas disponibles que permiten		

almacenar de manera organizada los datos recolectados.				
<p>A partir de la experiencia adquirida dentro de los diferentes grupos de investigación de la Fundación Cardiovascular, el cuerpo médico concluyó, que las actividades en las que mas dificultades tienen los usuarios durante la implementación del método en el desarrollo de sus propuestas de investigación, son la creación de bases de datos con características adecuadas para ser analizadas con paquetes estadísticos estándar, la creación de formatos de recolección de datos y la doble digitación controlada.</p>				
<p>Aunque actualmente en el mercado existen herramientas informáticas como <i>Epi Info</i>, <i>InfoPath</i>, <i>Adobe Designer</i>, entre otras, tendientes a dar soporte a una o varias de las actividades mencionadas, éstas requieren de personal capacitado con un nivel considerable de conocimientos técnicos para poder manipularlas, presentan interfaces de usuario poco amigables y no orientadas al ámbito médico, dificultad en el diseño y construcción de las bases de datos, limitaciones para ejecutarse bajo diferentes sistemas operativos y la necesidad del uso de otras herramientas como complemento, incrementando así los costos en licencias (dado que muchas de ellas no abarcan la totalidad de los procedimientos enmarcados en la recolección y manejo de datos en las pruebas clínicas).</p>				
<p>Por lo anterior, se hace evidente la necesidad de disponer de una herramienta que, además de cumplir con las reglas legales y éticas exigidas para la elaboración de un CRF que garanticen la confiabilidad de la información, se ajuste a las necesidades del personal médico, facilite tanto el diseño y publicación de los CRF's como la construcción y llenado de las bases de datos, cuente con sistemas confiables de digitación y comparación de las mismas y que disponga de una interfase amigable que permita al personal con un mínimo entrenamiento en estadística y epidemiología, hacer uso efectivo de la aplicación.</p>				
<p>Responsable y/o investigador principal: Javier Martínez Gómez Ing. MSc.</p>				
<p>Resultados esperados: Una herramienta software diseñada para dar soporte a procesos de investigación en salud, que cumpla con las especificaciones técnicas, científicas y legales requeridas y que permita manejar bases de datos generadas a partir del diseño y publicación de formatos de recolección de datos CRF's.</p>				
<p>Proponentes:</p> <table border="0"> <tr> <td>Andrés Felipe Villamizar Vecino.</td> <td>Estudiante en Práctica</td> </tr> <tr> <td>Gregorio José Mauricio Rincón Blanco.</td> <td>Estudiante en Práctica</td> </tr> </table>	Andrés Felipe Villamizar Vecino.	Estudiante en Práctica	Gregorio José Mauricio Rincón Blanco.	Estudiante en Práctica
Andrés Felipe Villamizar Vecino.	Estudiante en Práctica			
Gregorio José Mauricio Rincón Blanco.	Estudiante en Práctica			
<p>Entidades involucradas: Fundación Cardiovascular de Colombia Universidades de la Región</p>				

**ANEXO D. ARTÍCULO PROYECTO SISTEMA EXPERTO
SISTEMA EXPERTO PARA SOPORTE DIAGNÓSTICO EN EL
POSTOPERATORIO DE TRANSPOSICIÓN DE GRANDES ARTERIAS**

Víctor Raúl Castillo¹, Xiomara Patricia Blanco Valencia², Álvaro Eduardo Durán¹, Gregorio José Mauricio Rincón Blanco³, Andrés Felipe Villamizar Vecino³,

¹MD, Fundación Cardiovascular de Colombia, inv_pediatria@fcv.org

² Ing. de Sistemas, Fundación Cardiovascular de Colombia,
xblanco@fcvsoft.com

³ Estudiantes Universidad Industrial de Santander

Abstract.

En los mejores centros del mundo la mortalidad acumulada de cirugía cardiovascular pediátrica es cercana al 2%, en la Fundación Cardiovascular de Colombia, la incidencia acumulada de muerte en los últimos 8 años es del 5.8%.

El gran volumen de información, la síntesis e interpretación se suele hacer manualmente en la mayoría de las Unidades de Cuidado Intensivo, haciéndolas un lugar susceptible al error médico y sitio ideal para la aplicación de una serie de herramientas informáticas, que permitan una mayor eficiencia en el cuidado de los pacientes.

Uno de los campos de aplicación de la Inteligencia Artificial son los sistemas expertos, que solucionan problemas utilizando conocimientos basados en hechos y capacidad de razonamiento. Este tipo de tecnologías, realiza diferentes aportes a la práctica clínica: soporte confiable para la toma de decisiones mostrando sugerencias, estandarizando actitudes, métodos y tratamientos, respetando la autonomía del profesional de la medicina.

1. Planteamiento de un problema clínico modelo

La Transposición de Grandes Arterias (TGA) se refiere al origen invertido de las grandes arterias del corazón. Hoy en día es posible corregir esta anomalía en niños de 15 días de vida con un porcentaje de éxito que en los mejores centros del mundo es cercano al 100% [1]. En nuestro medio debido a las dificultades del recurso humano y en algunos casos técnicos el porcentaje de supervivencia puede ser inferior al 40%.

La mortalidad de esta patología en las unidades de cuidado intensivo (UCIs) es un indicador de calidad, debido a la alta complejidad del manejo postoperatorio, a la baja tolerancia al error, requiriéndose una estructura organizacional sofisticada, coordinación de esfuerzos de múltiples personas trabajando en equipo y altos niveles de conocimiento y desempeño técnico [1]. Se ha descrito que bajos índices de mortalidad asociados a esta patología, se asocian con mejores resultados en otros postoperatorios. Al comparar las UCIs de hospitales como los de Suecia, los cuales cuentan con los mismos recursos técnicos que las de los hospitales Colombianos, se encuentra que sus índices de mortalidad son menores. Esto último se ha atribuido al alto nivel de entrenamiento de su personal, con lo cual han logrado reducir el error humano.

2. Sistemas expertos

La disciplina conocida como Inteligencia Artificial (IA) ha generado en las últimas décadas un gran número de sistemas con supuestos rasgos de inteligencia¹³ en

¹³ En el área de la IA, el término inteligencia se utiliza de manera débil, haciendo referencia a cualquier comportamiento de apariencia inteligente, que puede ir del reconocimiento de un patrón perceptual determinado a la toma de decisiones basada en reglas preconstruidas. La mayoría de los sistemas no presupone una cierta teoría global de la inteligencia humana, ni pretende simular la función del cerebro, más bien, se limita a aprovechar técnicas algorítmicas existentes para resolver una situación concreta.

los que interactúan unos datos de entrada con los de una base de información que contiene el conocimiento de un área específica. Un tipo bien conocido de este tipo de sistemas es el de los sistemas expertos (SE).

Una de las aplicaciones más importantes de los SE ha tenido lugar en el campo médico, donde éstos han sido utilizados para recoger, organizar, almacenar, poner al día y recuperar información médica de una forma eficiente y rápida, permitiendo aprender de la experiencia [2].

Dentro de los trabajos relacionados con el tema se pueden citar: INTERNIST-1/CADUCEUS, sistema de fácil uso sobre medicina interna. MYCIN, construido en Stanford que diagnostica enfermedades infecciosas de la sangre y receta los antibióticos apropiados y PUFF que diagnostica enfermedades pulmonares.

En la Universidad de Edimburgo se esta realizando una tesis de doctorado para evaluar condiciones de monitoreo en neonatos en una UCI. Dicho sistema detecta falsas alarmas causadas por diferentes factores y puede inferir el comportamiento de una variable [3].

Desde hace 2 años, la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV) ha ido desarrollando una herramienta de ayuda diagnóstica y terapéutica orientada a la reducción del error humano y a la mejora de procesos de atención en salud gracias a la toma oportuna de conductas para preservar la estabilidad clínica y predecir la complicación de niños atendidos en la UCI postoperatoria cardiovascular pediátrica. Dicha herramienta, podría en un futuro ser extendida a otras disciplinas y centros de atención de alta complejidad, con enormes beneficios tanto en el sector público como en el privado.

3. Aplicación del proyecto al modelo clínico de interés

La TGA uno de los diagnósticos congénitos más complejos por su manejo postoperatorio. Si adicionalmente se considera la gran cantidad de variables que se requiere integrar al realizar el ejercicio médico de su atención; encontramos explicación a situaciones cotidianas en servicios asistenciales como las UCIs donde son comunes los errores de comunicación, la pérdida e incorrecta transcripción de datos, y la demora en la obtención de registros que alerten sobre anomalías y permitan anticiparse a posibles complicaciones en los pacientes [1]. Todo esto hace estos servicios particularmente susceptibles al error médico y el ambiente ideal para la aplicación de una serie de herramientas informáticas tradicionales o basadas en técnicas de IA, que permitan una mayor eficiencia en el cuidado de los pacientes.

4. Metodología y descripción de las etapas del proyecto

El desarrollo del sistema se planeó realizar por ciclos que constituyeran cada uno, una versión del producto. Cada ciclo se dividió en cuatro fases (inicio, elaboración, construcción y transición) que a su vez se dividieron en iteraciones que se planearon desarrollar a lo largo de 5 flujos de trabajo fundamentales: requisitos, análisis, diseño, implementación y pruebas.

Fase de elaboración:

En esta fase la labor primordial fue la selección de una arquitectura estable con el fin de planificar adecuadamente las labores de construcción. Se definieron aspectos como motor de inferencia, lenguaje de programación y plataforma.

Motor de inferencia: se analizaron catorce diferentes shells de motores de inferencia en aspectos como plataforma, lenguaje, estrategia de búsqueda, forma en que elige el conocimiento y posibilidad de incorporar metaconocimiento.

Al finalizar nuestro análisis se escogieron Jess y Clips como posibles shells¹⁴ ya que cumplían con características como trabajo en plataformas Linux y Windows, integración con java¹⁵ como lenguaje de programación, sistema de producción por encadenamiento hacia delante (de las mejores estrategias encontradas para diagnóstico médico)[4] y tenían implementado Rete como algoritmo de búsqueda.

Algoritmo Rete: del tiempo de ejecución el 90% se consume en el proceso de emparejamiento. El algoritmo Rete se basa en dos observaciones (suposiciones): La memoria de trabajo es muy grande y cambia poco entre cada ciclo. El esfuerzo de emparejamiento depende de la razón de cambio de la memoria de trabajo en lugar del tamaño de ésta. Las condiciones de muchas reglas son similares. Rete procesa (compila) las reglas antes de ser usadas, localizando condiciones comunes y eliminando todas menos una [5].

Fue diseñado para facilitar el análisis temporal estático de los programas que lo usan, así propiedades como la no duplicación, la novedad, la especificidad y la prioridad de operación, se preservan. [6][7]

Fase de construcción: Se construyó el primer prototipo de TGA.

Construcción de la base de conocimiento: se diseñaron e implementaron las reglas del protocolo de manejo postoperatorio de TGA que incluyen aspectos como:

¹⁴ El intérprete de comandos usado para interactuar con el núcleo de un sistema operativo.

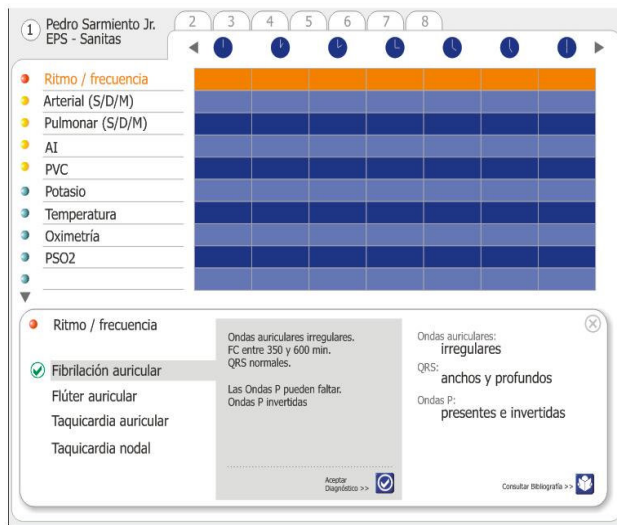
¹⁵ Java es un lenguaje de programación libre, independiente de la plataforma, muy extendido y con mucha importancia en el ámbito de Internet. [15]

- Alarmas generadas por alteración de una variable.

El especialista tiene la posibilidad de mirar la alteración de una variable en especial y el sistema le muestra un listado de los posibles diagnósticos asociados con la alteración de esta variable, teniendo en cuenta prioridades en las complicaciones posibles. Cuando se escoge uno de la lista, el sistema muestra un paralelo entre los signos asociados con los signos y síntomas que presenta el paciente para que el especialista pueda decidir si acepta o no el diagnostico. De esta manera el especialista va construyendo reglas en la práctica clínica y se esta generando un histórico para alimentar el sistema de aprendizaje a realizar en una etapa posterior.

- Otro tipo de reglas muestran consideraciones a tener en cuenta por posibles complicaciones dependiendo de la edad y peso del paciente.
- Un conjunto de reglas sugieren tratamientos a seguir dependiendo del tiempo del postoperatorio, edad, peso y signos del paciente.

Figura. 46 Interfaz del prototipo



Hasta el momento se han realizado pruebas experimentales en dos niños en este tipo de postoperatorio obteniendo resultados favorables y observando que estas mismas reglas se pueden generalizar a casi todos los postoperatorios cardiovasculares de la UCI.

El sistema esta en capacidad de conectarse al monitor de signos vitales diseñado por el grupo de bioingeniería de la FCV [8], ventaja que le permite al SE disparar alarmas en tiempo real. Adicionalmente esta conectado a la base de datos de la HCE¹⁶ de donde obtienen los valores de los signos no monitoreados en tiempo real.

Vale la pena resaltar que el diseño de este prototipo se dio gracias a un trabajo interdisciplinario de médicos e ingenieros, que inicialmente acordaron las características principales de el sistema y visualizaron la necesidad de realizar un estudio de usabilidad¹⁷ dada la complejidad de los sitios donde va a ser empleado.

Se considera que las fases de inicio, elaboración y construcción deben repetirse hasta que exista un sistema lo suficientemente robusto para volver a realizar pruebas. El paso siguiente fue el desarrollo de una interfaz de usuario para el ingreso de reglas y visualización de resultados teniendo en cuenta el estudio de usabilidad. Paralelamente a este proceso se probaran las reglas implementadas para el manejo de pacientes operados de TGA.

Sistema de aprendizaje: será desarrollado bajo el marco teórico que existe acerca de las Máquinas de Soporte Vectorial (MSV). Los progresos importantes en teoría de aprendizaje basados en estadística han introducido nuevos paradigmas tales

¹⁶ Sistema software de Historia Clínica Electrónica.

¹⁷ **Usabilidad** es la efectividad, eficiencia y satisfacción con la que un producto permite alcanzar objetivos específicos a usuarios específicos en un contexto de uso específico" ISO/IEC 9241.

como MSV cuya principal característica es la estructura de un algoritmo de aprendizaje el cual consiste en la solución de un simple problema cuadrático. [9]. Las MSV se pueden ver también como un nuevo método para el entrenamiento de modelos polinómicos, redes neuronales, modelos borrosos, entre otros [9].

5. Discusión de los resultados preliminares

Al revisar la historia de los sistemas basados en el conocimiento, la mayoría de ellos son extremadamente pequeños en cuanto al volumen de sus bases de conocimiento y base de hechos. Es decir, el universo de estos sistemas es simple y limitado, y en la mayoría de los casos se centran exclusivamente en resolver una situación o un problema determinado. Partiendo del reconocimiento de esa situación de estrechez en el ámbito de los sistemas basados en el conocimiento, el presente proyecto pretende construir una base de conocimiento de un volumen radicalmente mayor en diagnóstico y tratamiento de enfermedades cardiovasculares. Adicionalmente puede llegar a tener un gran impacto clínico si se asocia con una disminución significativa de indicadores como la mortalidad en postoperatorios cardiovasculares. La complejidad de plasmar el conocimiento médico requiere de mucho tiempo y dedicación, el presente proyecto le permite al especialista construir las reglas durante la práctica clínica. El presente proyecto, podría en un futuro ser extendido a otras disciplinas y centros de atención de alta complejidad, lo cual tendría un gran impacto en el campo asistencial.

Referencias

- [1] Leval Marc, MD. Carthey Jane, PhD. Wright David, PhD. And all United Kingdom pediatric cardiac centers. Human Factors and Cardiac Surgery: a multicenter study. *Toracic Cardiovasc. Surg.* -01-APR-2000;119(4 pt) 661-72 from NIV MEDLINE.
- [2] E. Castillo, J.M. Gutiérrez, and A.S. Hadi. *Expert Systems and Probabilistic Network Models*. Springer Verlag, New York, 1997. 600 pages. ISBN: 0- 387-94858-9.
- [3] Williams Christopher K. I., Quinn John, McIntosh Neil. *Factorial Switching Kalman Filters for Condition Monitoring in Neonatal Intensive Care*. November 2005.
- [4] Montagut Martha Vitalia. *Principios de inteligencia artificial y sistemas expertos*. Ediciones UIS 2000.
- [5] L. Martin, W. Taylor, S. Meadows and K. Freeman. *CLIPS Application Abstracts*. November 1st 1997.
- [6] *Third Conference on CLIPS*. September 12-14, 1994. Lyndon B. Johnson Space Center. 19 – 22.
- [7] *CLIPS Version 5.1 User's Guide*, NASA Lyndon B. Johnson Space Center, Software. Technology Branch, Houston, TX, 1991.
- [8] Proyecto aprobado por COLCIENCIAS. "Diseño y construcción de un prototipo para monitoreo presencial y remoto de signos vitals de pacientes en estado crítico". Contrato No. 332-2004, Código No. 6566-14-172117. Fundación Cardiovascular de Colombia.
- [9] Vladimir N. Vapnik, *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer, 1998.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN HEART ASSOCIATION (online). Transposición de Grandes Arterias. 2006. <http://www.americanheart.org/presenter.jhtml?identifier=1372#>

DARLINGTON, Keith. Basic Experts Systems (online). Reino Unido, Junio 1996. <http://www.bcsnsg.org.uk/itin08/darling.htm>

DURÁN, S. Puntos por función, una métrica estándar para establecer el tamaño del software (online). 2000
<http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/Articulos/tecnologia/puntosxfuncion.pdf>

LARMAN, C. UML y Patrones Segunda edición : Una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y al proceso unificado. 2^{da} Edición. Madrid : Prentice Hall; 2003.

NILSSON, N. Inteligencia Artificial. Una nueva síntesis. Madrid : McGraw-Hill; 2001.

PIATTINNI, M. Calvo-Manzano, J. Cervera, J. Fernandez, L. Análisis y diseño detallado de Aplicaciones Informáticas de Gestión. Madrid : Alfaomega;2000.

ROLSTON, D. Principios de inteligencia artificial y Sistemas Expertos. Sunnyvale : McGraw-Hill.

Velarde, Julián. Sistemas Expertos (online). Universidad de Oviedo , España. http://www.ucm.es/info/eurotheo/diccionario/S/sistemas_expertos.htm