UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EXPERTO MÓVIL QUE PERMITA EL RECONOCIMIENTO DE PATRONES Y ANÁLISIS DE ECOSONOGRAMAS

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN INFORMÁTICA

REALIZADO POR **Khaterine N. Castellano Molina**

PROFESOR GUIA **Ing. Susana García Martínez**

FECHA **Septiembre 2011**

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: 20 (veinte) con Mención Honorífica y Publicación

J U R A D O E X A M I N A D O R

Firma:	Firma:	Firma:
Nombre: Ing. Susana García	Nombre: Ing. Jacinto Fung	Nombre: Ing. Ricardo Casanova

REALIZADO POR **Khaterine N. Castellano Molina**

PROFESOR GUIA **Ing. Susana García Martínez**

FECHA **Septiembre 2011**

Dedicatoria

A mi Mamá, por ser la mujer que más admiro. Gracias por tu perseverancia y tu amor, por demostrarme que no existen límites para lograr cualquier meta que se proponga uno en esta vida y por todo el apoyo incondicional.

A mi Papá, por sus enseñanzas y por su ejemplo de lucha. Gracias por mantenerme centrada y por no permitirme renunciar cuando los problemas no parecían tener solución.

A mis hermanas, por su cariño y constante apoyo, espero siempre que estén tan orgullosas de mí como yo lo estoy de ustedes.

"A pesar de la tendencia a suponer que algo no se puede hacer, encontramos un número sorprendente de posibilidades cuando nos ponemos a pensar cómo hacerlo"

Soichiro Honda

Agradecimientos

A Dios, por la fortaleza y por presentarme la oportunidad de cumplir mis metas. A mis padres, hermanas y familiares , por su cariño, esfuerzo, y su ayuda con todos los obstáculos que se me presentaron. A mi novio Jonathan Trujillo, por ser ese apoyo constante. Gracias por amarme, por preocuparte y por creer en mí. A mi amiga Ana Paradas, gracias por el aprendizaje, por el cariño y por estar ahí cuando los demás no estuvieron, ¡Al fin nos graduaremos juntas! Gracias a mis amigos y compañeros con los cuales compartí grandes momentos en mi carrera: Freddy, Gerardo, Israel, El Maraco, Enrique, Jesmir, Juan y Yohany.

A todos aquellos profesores que se esforzaron por formarnos como los mejores ingenieros y seres humanos, gracias por creer en el potencial de cada uno de nosotros: Lúcia Cardoso, Carlos Barroeta, Honack Villanueva, Susana García y Ricardo Casanova.

Gracias al doctor Leonardo Moreno Lara por su incondicional ayuda y, por contribuir y creer en este proyecto. Y a todas aquellas personas que estuvieron involucradas.

Finalmente un gran agradecimiento a mi tutora la profesora Susana García Martínez, por todo su apoyo, por sus valiosas enseñanzas de vida, por su preocupación, por ayudar a concebir en esta idea y por creer sobre todas las cosas en que yo podía lograrlo.

Tabla de Contenido

Dedicatoria ii

Agradecimientos iii

Tabla de Contenido iv

Índice de Figuras ix

Índice de Tablas x

Sinopsis xii

Capítulo 1: Planteamiento del Problema 1

Planteamiento del Problema 1

Objetivos 4

Objetivo General 4

Objetivos Específicos 4

Alcance 5

Limitaciones 5

Justificación 6

Capítulo 2: Marco Teórico 8

2.1 Términos Gineco-Obstétricos 8

2.1.1 Edad gestacional 8

2.1.2 Exploración ecográfica del primer trimestre 8

2.1.3 Exploración ecográfica del segundo trimestre 9

2.1.4 Exploración ecográfica del tercer trimestre 9

2.2 Términos Sistema Experto 9

2.2.1 Sistema experto 9

2.2.2 Estructura de los sistemas expertos 10

2.2.3 Manejo de incertidumbre 12

2.3 Dispositivos Móviles 12

Capítulo 3: Marco Metodológico 13

3.1 Scrum 13

3.1.1 Procesos de Scrum 14

3.1.2 Justificación de la metodología utilizada en el Trabajo Especial de Grado 16

Capítulo 4: Desarrollo 18

4.1 Introducción 18

4.2 Iteraciones 19

4.2.1 Iteración 1 19

4.2.2 Iteración 2 24

4.2.3 Iteración 3 25

4.2.4 Iteración 4 38

4.2.5 Iteración 5 42

4.2.6 Iteración 6 45

4.2.7 Iteración 7 45

4.2.8 Iteración 8 46

4.2.9 Iteración 9 48

4.2.10 Retrospectiva de la planificación y ejecución del proyecto 52

Capítulo 5: Resultados 56

5.1 Objetivos vs Resultados 56

5.1.1 Definir las reglas de inferencia propias del sistema experto..... 56

5.1.2 Definir de los patrones de reconocimiento de características físicas del desarrollo embrionario del bebe. 57

5.1.3 Evaluar y seleccionar las técnicas de comunicación entre el ecosonograma y el software, así como también la herramienta de desarrollo. 57

5.1.4 Desarrollar e implementar las métricas correspondientes para el envío de información a través de los dispositivos móviles. 58

5.1.5 Evaluar y seleccionar el dispositivo móvil. 58

5.1.6 Evaluar las métricas relacionadas al crecimiento embrionario del bebe por trimestre. 59

5.1.7 Desarrollar un sistema experto móvil que permita el análisis de los patrones y genere una simulación del crecimiento del bebe. 59

Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones 62

6.1 Conclusiones 62

6.2 Recomendaciones 64

Referencias Bibliográficas 66

Apéndice A: Definiciones Complementarias 73

Apéndice B: Especificaciones del Equipo de Ultrasonido Obstétrico 85

Apéndice C: Capturas de pantalla de la herramienta Agile Zen 87

Apéndice D: Estudios comparativos sobre los Sistemas Operativos Android vs iOS 89

Apéndice E: Informes de ecografía obstétrica de la Unidad de Ecosonografía del Instituto Venezolano de los Seguros Sociales, Clínica Maternidad Santa Ana 90

Apéndice F: Tablas de Biometría Fetal 93

Apéndice G: Estudio comparativo entre CLIPS y JESS 101

Apéndice H: Artefactos complementarios del desarrollo del Proyecto Hera 102

Apéndice I: Capturas de Pantalla del Proyecto Hera.....111

Apéndice J: Capturas de pantalla del módulo de aprendizaje.....121

Apéndice K: Ejemplo de archivo de reglas por trimestre.....125

Apéndice L: Carta de Aceptación del Proyecto Hera.....143

Índice de Figuras

Figura 1 : Arquitectura de un Sistema Experto 10

Figura 2: Modelo de *Scrum* 14

Figura 3: Roadmap para el desarrollo del Trabajo Especial de Grado. 19

Figura 4: Árbol de Decisión de las mediciones del Saco Gestacional 29

Figura 5: Árbol de Decisión de las mediciones de la Vesícula Vitelina 29

Figura 6: Árbol de Decisión de las mediciones del Embrión 30

Figura 7: Árbol de decisión de las mediciones de la presentación, situación y posición del feto 33

Figura 8: Árbol de decisión de las mediciones realizadas en el segundo y tercer trimestre. 34

Figura 9: Momento en el que aparecen las estructuras importantes para el desarrollo en la ecografía transvaginal del primer trimestre 43

Figura 10 Gráfico *Burn Down* de Ejecución de Historias de Usuario en el proyecto. 54

Índice de Tablas

Tabla 1: Resistencia a diferentes ataques. 22

Tabla 2: Implementación de características de seguridad. 22

Tabla 3: Tabla Comparativa entre los valores obtenidos por el sistema, valores teóricos y valores emitidos por el experto, en el Primer Trimestre. 47

Tabla 4: Tabla Comparativa entre los valores obtenidos por el sistema, valores teóricos y valores emitidos por el experto, en el Segundo Trimestre. 47

Tabla 5: Tabla Comparativa entre los valores obtenidos por el sistema, valores teóricos y valores emitidos por el experto, en el Tercer Trimestre. 48

Tabla 6: Mediciones de la paciente 4 en el primer trimestre 49

Tabla 7: Tabla comparativa de valores emitidos por el sistema, mediciones extraídas del estudio ecográfico y mediciones teóricas, en el primer trimestre. 50

Tabla 8 : Mediciones de la paciente 5 en el segundo trimestre. 50

Tabla 9 : Tabla comparativa de valores emitidos por el sistema, mediciones extraídas del estudio ecográfico y mediciones teóricas, en el segundo trimestre. 51

Tabla 10: Mediciones de la paciente 6 en el tercer trimestre. 51

Tabla 11: Tabla comparativa de valores emitidos por el sistema, mediciones extraídas del estudio ecográfico y mediciones teóricas, en el tercer trimestre. 52

Tabla 12: Historias de Usuario desarrolladas por iteraciones. 53

Sinopsis

Estudios recientes han demostrado un incremento en el uso de aplicaciones móviles enfocadas a la medicina, ya que estas dan apoyo a los involucrados para un mayor conocimiento sobre las enfermedades y sus debidos tratamientos. Sin embargo, actualmente no existen iniciativas que apoyen la incursión de esta tecnología en el ámbito de la Ginecología y Obstetricia.

Este Trabajo Especial de Grado se enfocó en desarrollar un sistema experto móvil, para la plataforma *Android*, que permita la extracción y evaluación de los ecosonogramas obtenidos a través de una conexión USB entre el dispositivo móvil y el equipo de ecografía obstétrica, con el fin de emitir diagnósticos y pronósticos del crecimiento embrionario a lo largo de los trimestres del embarazo y la distribución de la información a cualquier dispositivo que posea la misma plataforma.

Las metodologías que mejor se adaptaron al desarrollo del producto fueron las ágiles, específicamente *Scrum*, ya que estas se enfocan en el desarrollo iterativo e incremental de las funcionalidades que otorgan valor al negocio, e incorporan activamente al experto como un elemento activo del proyecto. Como resultado se lograron emitir diagnósticos y pronósticos certeros, que contribuyeron al aprendizaje de las pacientes expectantes sobre el crecimiento embrionario del feto.

Capítulo 1: Planteamiento del Problema

Planteamiento del Problema

La Organización Mundial de la Salud, en un informe presentado en 1978 en Ginebra, definió a la medicina tradicional como:

> *"La suma de todos los conocimientos teóricos y prácticos, explicables o no, utilizados para diagnóstico, prevención y supresión de trastornos físicos, mentales o sociales, basados exclusivamente en la experiencia y la observación y transmitidos verbalmente, o por escrito, de una generación a otra" (Díaz F & Jaramillo G, 2002)*

Entonces, la medicina es una de las ciencias que apoyan la profundización de los conocimientos sobre el cuerpo humano y su evolución. Una de las etapas del ciclo de vida del ser humano que produce mayor interés es su gestación, es por esto que se generan las áreas de experticia denominadas Ginecología y Obstetricia, las cuales se encargan del estudio del embarazo, parto y cuidados de la mujer.

Los médicos especialistas en Ginecología y Obstetricia se han enfocado en numerosas incógnitas, como: ¿Hay embarazo?, ¿Existen complicaciones en el crecimiento del bebe?, ¿Es una gestación única o gemelar? En su afán de responder dichas interrogantes y mejorar sus técnicas de exploración, los médicos se inclinaron por el uso de nuevas

tecnologías, entre las cuales se encuentra el ultrasonido obstétrico, inicialmente utilizado para estudiar el cerebro humano.

El primer ultrasonido obstétrico se inició en 1955 cuando el Doctor Ian Donald llevó a cabo los primeros estudios ecográficos en mujeres embarazadas, logrando visualizar el cráneo fetal. Esto resultó en la posibilidad de utilizar la ecografía para la determinación de embarazos, alteraciones de la cabeza fetal y embarazos múltiples. (Kurjak & Carrera, 2008)

Es también por la década de los sesenta que surge el interés de científicos enfocados a la Inteligencia artificial por los sistemas expertos, siendo el primero de estos DENDRAL, el cual fue creado en la Universidad de Stanford por Edward Feigenbaum para examinar un análisis espectroscópico de una molécula desconocida y predecir la estructura molecular. A partir de este sistema experto surgen otros como: MYCIN, MOLGEN, MACSYMA, PROSPECTOR, XCON y Streamer. (Gregori, 2005)

MYCIN es uno de los primeros sistemas expertos interactivos en el área de la medicina, ya que apoya a los físicos en la selección de una terapia antimicrobiana apropiada para los pacientes de los hospitales con bacteremia, meningitis e infecciones de cistitis. El sistema diagnostica la causa de la infección usando el conocimiento relativo a esta, basándose en historiales de pacientes, síntomas y los resultados de las pruebas de laboratorio. Partiendo de estos datos, se recomienda un tratamiento de medicinas (tipo y dosificación) acorde a los procedimientos seguidos por la experiencia de los físicos en las terapias. (Mendoza E. , 2008).

Otro aporte importante en la medicina son los dispositivos móviles, que han permitido a los médicos tener a la mano información vital sobre enfermedades, tratamientos y posología, con el fin de emitir diagnósticos certeros.

Un estudio realizado anualmente por la firma *Manhattan Research*, llamado *Taking the Pulse U.S.*, cuyo propósito es conocer sobre el comportamiento, actitudes, demografía e intereses futuros de los médicos en lo que respecta a la sanidad y la tecnología, demostró que actualmente los médicos utilizan los dispositivos móviles para acceder a contenidos clínicos, por lo que pronostican que en el 2012 un 81% de los médicos utilicen estos dispositivos para aprendizaje y atención al paciente (FierceMarkets, 2010). Según Monique Levy, directora general de Investigación:

> *"Los dispositivos móviles son cada vez más útiles a los médicos, en parte por el auge de las aplicaciones orientadas a la medicina"*

A pesar de que existen numerosos sistemas expertos y aplicaciones móviles que ayudan al diagnóstico de diferentes patologías, no existe todavía un sistema que permita que se procese la información de la ecografía obstétrica, con el fin de emitir un diagnóstico sobre el crecimiento y evolución del embrión a lo largo de la gestación. Este sistema podría contribuir al aprendizaje de las madres gestantes sobre las mediciones realizadas al momento del examen ecográfico, así como también, el suministro de dicha información a través de dispositivos móviles, a todos aquellos familiares que no puedan estar presentes al momento de la consulta médica.

Es por ello que se plantea el desarrollo e implementación de un sistema experto para dispositivos móviles que permita el reconocimiento de características físicas, que tenga como producto una simulación del desarrollo embrionario, y envío de dicha información a través de la aplicación.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollo e implementación de un sistema experto móvil que permita el reconocimiento de patrones, análisis de características físicas y simulación del desarrollo embrionario de un bebe.

Objetivos Específicos

- Definir las reglas de inferencia propias del sistema experto.
- Definir de los patrones de reconocimiento de características físicas del desarrollo embrionario del bebe.
- Evaluar y seleccionar las técnicas de comunicación entre el ecosonograma y el software, así como también la herramienta de desarrollo.
- Desarrollar e implementar las métricas correspondientes para el envío de información a través de los dispositivos móviles.
- Evaluar y seleccionar el dispositivo móvil.
- Evaluar las métricas relacionadas al crecimiento embrionario del bebe por trimestre.

- Desarrollar un sistema experto móvil que permita el análisis de los patrones y genere una simulación del crecimiento del bebe.

Alcance

El alcance estará definido por los siguientes objetivos entregables:

- El sistema experto será capaz de obtener la información directamente del equipo utilizado para la ecografía médica, y determinará aquellas métricas evaluadas anteriormente.
- El sistema será capaz de proveer una simulación del crecimiento embrionario del bebe, para lo cual se tomaran las métricas antes mencionadas. Dicha simulación será reflejada en tablas de crecimiento, basadas en el tiempo transcurrido a través del embarazo.
- Se realizará una aplicación móvil, que permita el envío de la simulación a otros dispositivos móviles que compartan la misma plataforma.

Limitaciones

- El sistema estará dirigido a las madres gestantes que estén entre la séptima semana y la trigésima octava semana.
- La aplicación móvil solo podrá ser utilizada en la plataforma seleccionada.
- La marca del equipo utilizado para la ecografía medica será General Electric modelo LOGIQ P5/A5 versión 4.
- El sistema experto sólo contemplará el desarrollo embrionario de aquellos bebés que no presenten anomalías genéticas.

- La aplicación móvil será un cliente que utilizará los servicios de un servidor, el cual manejará la interpretación de los datos del ecosonograma y el sistema experto.

Justificación

Según un estudio realizado en el 2011, por la compañía *Manhattan Research*, llamado *Taking The Pulse Global Series*, existe un incremento del uso de dispositivos móviles en algunos países latinoamericanos como Brasil y México. Estos dispositivos ofrecen numerosas ventajas, como el fácil acceso a información sobre enfermedades y posibles tratamientos, así como también mayor conexión entre el paciente y el médico. (Manhattan Research, 2011)

Aunque en estos estudios se ha observado un incremento en el desarrollo tecnológico enfocado a la medicina en Latinoamérica, en Venezuela no existen registros sobre la importancia del uso de dispositivos móviles. Esto se debe a que son pocas las iniciativas que se enfocan a incorporar elementos tecnológicos que permitan ofrecer un mejor servicio de salud, especialmente en áreas como la Ginecología y Obstetricia, donde estas brindarían beneficios a los especialistas y también a los futuros padres, para que éstos posean un mayor dominio de la información sobre el desarrollo y gestación del embrión.

En respuesta a la problemática planteada se propone el desarrollo de un sistema experto móvil que permita el reconocimiento de patrones y análisis de ecosonogramas. Este sistema proporcionará un beneficio a los padres expectantes, ya que se encargará de realizar una simulación del desarrollo embrionario, basado en las métricas establecidas por la Unidad de

Ecosonografía del Instituto Venezolano de los Seguros Sociales (Clínica Maternidad Santa Ana) para medir trimestralmente el crecimiento del bebe, así como compartir la simulación y los cálculos correspondientes con otro dispositivo móvil que cuente con la misma plataforma.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1 Términos Gineco-Obstétricos

2.1.1 Edad gestacional

Es el tiempo transcurrido desde el primer día de la última menstruación. Se expresa en días o semanas completas. En orden de evitar confusiones, la Federación Internacional de Ginecología y Obstetricia (FIGO) insiste que el primer día de la ultima menstruación debe contarse como el día 0. (Prieto, 2009)

2.1.2 Exploración ecográfica del primer trimestre

Se realiza entre la octava y la doceava semana. Sus objetivos son: el diagnóstico de gestación, número de embriones y su vitalidad y la estimación de la edad gestacional a través del diámetro medio del saco gestacional y la longitud cráneo-caudal. (Callen P. W., 2009)

2.1.2.1 Estimación de la edad gestacional del primer trimestre

Para realizar una estimación aproximada existen dos métodos: el primer método consiste en calcular el diámetro del saco gestacional medio y el segundo consiste en determinar la longitud cráneo-caudal. (Callen P. W., 2009) (Ver Apéndice A.1.1)

2.1.3 Exploración ecográfica del segundo trimestre

Esta se realiza entre la decima octava y la vigésima semana. Sus objetivos son el estudio de la viabilidad fetal, número de fetos, movimientos fetales y cardiacos, biometría fetal, anatomía fetal, posición fetal, localización y estado de la placenta, cordón umbilical y valoración del líquido amniótico. (Kurjak & Chevernak, 2008). (Ver Apéndice A.1.2)

2.1.4 Exploración ecográfica del tercer trimestre

Se realiza entre la semana 34 a 36. Además de seguir la misma sistemática que en la ecografía del segundo trimestre, se debe valorar la existencia de crecimiento intrauterino retardado con la medición del cociente circunferencia cefálica/circunferencia abdominal. También es útil para valorar el perfil biofísico fetal (frecuencia cardiaca, valoración del líquido amniótico y movimientos respiratorios fetales). (Kurjak & Chevernak, 2008).

2.2 Términos Sistema Experto

2.2.1 Sistema experto

Un sistema experto es un programa de computadora inteligente que utiliza el conocimiento y procedimientos de inferencia para resolver problemas que son tan difíciles que requieren de poca experticia humana para su solución. El conocimiento de un sistema heurístico consiste de hechos y heurísticas. (García Higuera & Castillo García, 2007).

2.2.2 Estructura de los sistemas expertos

Los sistemas expertos están formados principalmente por la base de conocimientos y el motor de inferencia, aunque a veces suelen tener más módulos que les permitan mejorar su desempeño. A continuación se puede observar la arquitectura de los sistemas expertos:

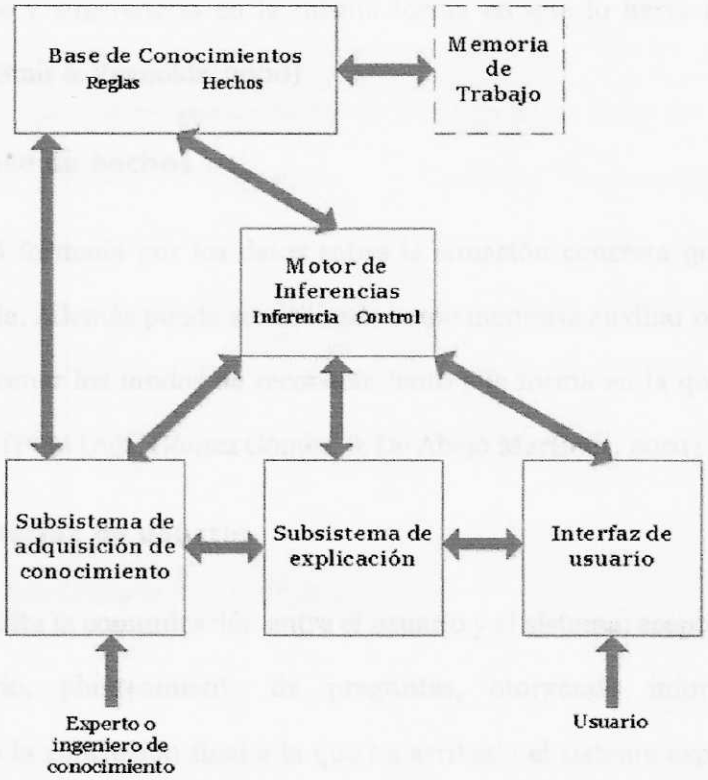

Figura 1 : Arquitectura de un Sistema Experto

Adaptado de *Expert Systems: Artificial Intelligence in Business*. (Harmon & King, 1985)

2.2.2.1 Base de Conocimiento

Almacena toda la información, datos, reglas, casos y relaciones importantes que utiliza el sistema experto. La base de conocimientos es similar a la suma total de los conocimientos y experiencias de los expertos

humanos que se obtienen a través de años de trabajo en un área o disciplina específica. (Stair & Reynolds, 2000)

2.2.2.2 Motor de Inferencias

El propósito general de un motor de inferencias es buscar información y relaciones en la base de conocimientos, y proporcionar respuestas, pronósticos y sugerencias en la misma forma en que lo haría un experto humano. (Stair & Reynolds, 2000)

2.2.2.3 Base de hechos

Está formada por los datos sobre la situación concreta que va a ser considerada. Además puede ser utilizada como memoria auxiliar o de trabajo para almacenar los modos de reconocimiento y la forma en la que han sido utilizados. (Pino Diez, Gómez Gómez, & De Abajo Martínez, 2001)

2.2.2.4 Interfaz de usuario

Facilita la comunicación entre el usuario y el sistema, aceptando datos del usuario, planteamiento de preguntas, otorgando información y mostrando la conclusión final a la que ha arribado el sistema experto. Toda esta información, ya sea de entrada o salida, pasa por la base de hechos. (Salazar Serrudo, 2003)

2.2.2.5 Módulo de justificación

Justifica el proceso de razonamiento que ha seguido el sistema experto para llegar a sus conclusiones. (Salazar Serrudo, 2003)

2.2.2.6 Módulo de adquisición del conocimiento

Es el programa que permite a los expertos modificar la base de conocimientos. Es muy útil ya que el conocimiento se encuentra en constante cambio, por lo cual es necesario actualizar. (Salazar Serrudo, 2003)

2.2.3 Manejo de incertidumbre

La mayoría de los problemas que requieren un razonamiento, por parte de un experto humano, poseen algún grado de incertidumbre debido a que pueden presentarte numerosos escenarios en donde la información puede ser imprecisa, no se encuentra disponible o no se tiene conocimiento de la misma. Es por ello que si los sistemas expertos se encargan de simular el proceso de pensamiento y obtención de respuesta de los seres humanos, es lógico que la incertidumbre también se vea reflejada en dicho proceso. (Ver Apéndice A.2.4)

2.3 Dispositivos Móviles

Aparatos de pequeño tamaño, con algunas capacidades de procesamiento, móviles o no, con conexión permanente o intermitente a una red, con memoria limitada, diseñados específicamente para una función, pero que pueden llevar a cabo otras funciones más generales. (Alvarez, 2008)

Capítulo 3: Marco Metodológico

De acuerdo a las condiciones de este Trabajo Especial de Grado, se ha decidido utilizar una metodología que permita: la incorporación del experto en Ginecología y Obstetricia como participante activo; el desarrollo veloz de funcionalidades para su pronta retroalimentación; el manejo y respuesta a actividades de alta incertidumbre; y obtener un producto que cubra una brecha en la rama del cliente.

Las metodologías que más se adaptan a este enfoque son las ágiles, que tienen como características: el desarrollo iterativo e incremental; adaptación ante los cambios para un producto más acercado a la realidad; ataque proactivo a los riesgos, debido a las prontas entregas; colaboración con el cliente; entre otras. (Miller, 2001)

Las metodologías ágiles se encuentran enfocadas al trabajo en equipo pero, para efectos de este trabajo, se busca al implementarlas obtener las mejores características y funcionalidades que permitan una organización y ejecución adecuada del proyecto. Específicamente, la metodología seleccionada es una adaptación de *Scrum*.

3.1 Scrum

Según Albaladejo,X (2008) miembro de *Scrum Alliance* y vicepresidente de *Agile-Spain*, se puede definir la metodología *Scrum* como

"un proceso en el que se aplica de manera regular un conjunto de mejores prácticas para trabajar colaborativamente, en equipo, y obtener el mejor resultado posible de un proyecto." En esta metodología "se realizan entregas parciales y regulares del producto final, priorizadas por el beneficio que aportan al receptor del proyecto. Por ello, *Scrum* está especialmente indicado para proyectos en entornos complejos, donde se necesitan obtener resultados pronto, donde los requisitos son cambiantes o poco definidos, donde la innovación, la competitividad, la flexibilidad y la productividad son fundamentales."

3.1.1 Procesos de Scrum

Con *Scrum* un proyecto se ejecuta en bloques temporales cortos y fijos (iteraciones de dos a cuatro semanas, según las condiciones del proyecto). Cada iteración tiene que proporcionar un resultado completo, un incremento de producto final que sea susceptible de ser entregado con el mínimo esfuerzo al cliente cuando lo solicite.

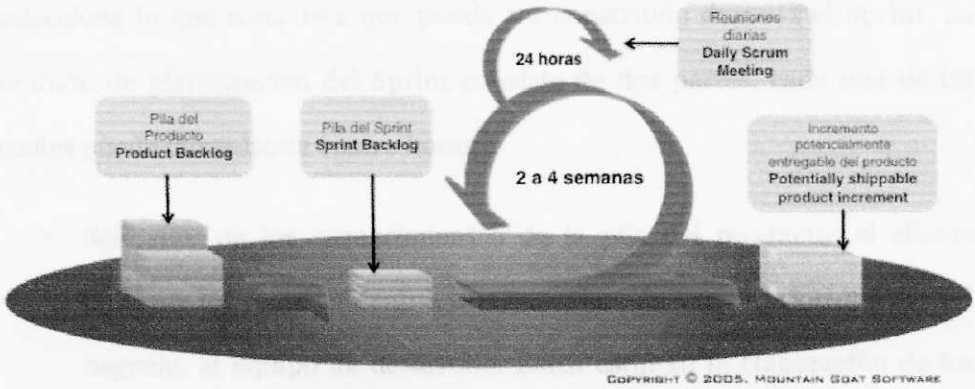

Figura 2: Modelo de *Scrum*

Adaptado de *Scrum Figures*. (Mountain Goat Software, 2005)

3.1.1.1 Pila de requerimientos del producto

El proceso parte de la pila de requisitos priorizada del producto, que actúa como plan del proyecto. En esta lista el cliente prioriza los objetivos balanceando el valor que le aportan respecto a su costo y quedan repartidos en iteraciones y entregas. De manera regular el cliente puede maximizar la utilidad de lo que se desarrolla y el retorno de la inversión mediante la re-planificación de objetivos que se realiza al inicio de cada iteración. (Albaladejo, 2008)

3.1.1.2 Planificación del Sprint

El propósito de un *Sprint* es convertir algunos elementos de la pila de requerimientos del producto en un incremento de funcionalidad potencialmente productiva. Los involucrados en el proyecto se reúnen antes de cada Sprint para determinar en qué funcionalidad del producto se seguirá trabajando.

El cliente presenta la pila de requerimientos del producto y el equipo selecciona lo que considera que pueda ser construido durante el Sprint. La reunión de planificación del Sprint consiste de dos partes, cada una de las cuales puede durar hasta cuatro horas.

- Selección de los requerimientos de la pila del producto: el cliente presenta los requerimientos, que considere de mayor prioridad para el negocio, al equipo de desarrollo. Estos estiman la elaboración de los requerimientos según la dificultad que consideren y, juntos colaboran para acordar cuántos de estos requerimientos pueden convertirse en un incremento del producto.

- Planificación de trabajo del *Sprint*: el equipo define la arquitectura y el diseño de la funcionalidad que fue seleccionada, y luego define el trabajo, o las tareas que conformarán la pila de requerimientos del producto, para construir dicha funcionalidad durante el próximo Sprint. (Dos Ideas, 2011)

3.1.1.3 Pila del Sprint

La pila del *Sprint* es una lista de tareas que define el trabajo a realizar, por los miembros del equipo del proyecto, durante un *sprint*. La lista surge durante la planificación del *Sprint*. Las tareas de la pila del sprint son las que el equipo definió como necesarias para convertir a elementos de la pila de requerimientos, en funcionalidades del sistema.

Cada tarea identifica quién es responsable de hacer el trabajo y un estimado de la cantidad de trabajo faltante para la tarea durante cualquier día del Sprint. Es útil porque descompone el proyecto en tareas de tamaño adecuado para determinar el avance diario; e identificar riesgos y problemas sin necesidad de procesos complejos de gestión. Es también una herramienta de soporte para la comunicación directa del equipo. (Dos Ideas, 2011)

3.1.2 Justificación de la metodología utilizada en el Trabajo Especial de Grado

Según Diez Pino, Gómez Gómez, & De Abajo Martínez (2001) los procesos de diseño e implementación de la base de conocimientos, el modulo de adquisición de conocimiento, el motor de inferencias y la interfaz gráfica del sistema experto se llevan a cabo de manera incremental a través de los

diferentes niveles, para verificar y comprobar la coherencia de los resultados obtenidos con respecto a las especificaciones solicitadas al principio del proyecto. La realización de estos procesos se ven relacionados estrechamente con los principios de las metodologías ágiles, ya que estas se enfocan en el desarrollo iterativo e incremental de funcionalidades de valor al negocio.

Otra de las características principales del trabajo es la incorporación del cliente como un elemento activo en el proyecto, el cual provee el conocimiento necesario para la simulación del pensamiento, razonamiento, incertidumbre y posterior resolución de una problemática planteada.

Scrum da apoyo a este Trabajo Especial de Grado ya que permite la organización del proyecto en iteraciones cortas, así como también la selección de las historias de usuario con mayor prioridad para el experto y la ejecución de éstas, obteniendo como resultado un software funcional que apoye al experto en el planteamiento, resolución y emisión de diagnósticos de los casos médicos que se presentan en la Maternidad.

Capítulo 4: Desarrollo

4.1 Introducción

Para el desarrollo de éste Trabajo Especial de Grado se planificaron las etapas y línea de tiempo de organización y ejecución del proyecto *Hera*, nombrado por la diosa de las mujeres y el matrimonio, dentro de los lineamientos de las metodologías ágiles. Las etapas se dividieron acorde a los objetivos que se desean cumplir:

- Etapa de Diagnóstico: en esta etapa se realizaron las actividades correspondientes a la extracción de la información, procesamiento y emisión del diagnóstico del embarazo de las pacientes, en cada uno de los trimestres.
- Etapa de Pronóstico: en esta etapa se realizaron las actividades de predicción del embarazo de las pacientes en cada una de las semanas del desarrollo embrionario.
- Etapa de Pruebas: en esta etapa se evaluó las funcionalidades del sistema utilizando casos médicos obtenidos para determinar los resultados correspondientes a cada uno.

Para el desarrollo del proyecto, se realizaron iteraciones de 2 semanas durante todas las etapas. La etapa de diagnóstico estuvo compuesta por cuatro iteraciones: la etapa de pronóstico por tres iteraciones: y la etapa de

pruebas por dos iteraciones, haciendo un total de nueve iteraciones para la ejecución del proyecto. La cantidad de etapas fueron determinadas por el numero de iteraciones que se realizaron desde el 16 de Mayo hasta el 16 de Septiembre.

Cada una de estas iteraciones contempló la evaluación y desarrollo de las historias de usuario, empezando por las de mayor importancia para el experto, así como también la ejecución de las pruebas unitarias y funcionales, y evaluación de los resultados obtenidos con respecto a las especificaciones solicitadas al inicio del trabajo.

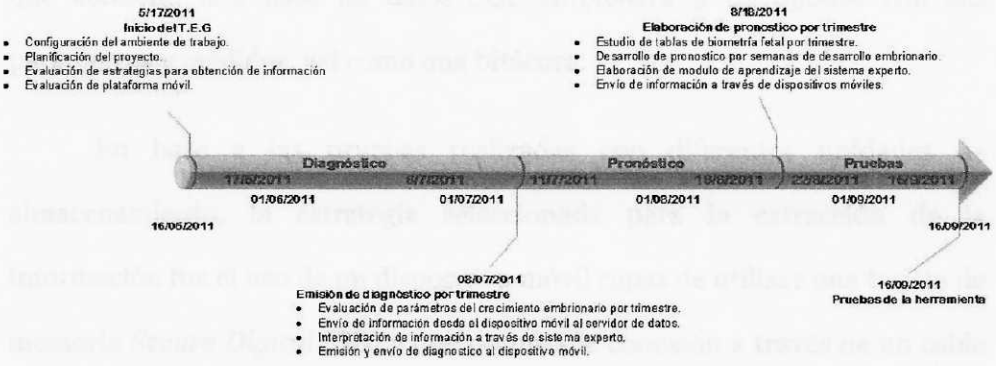

Figura 3: Roadmap para el desarrollo del Trabajo Especial de Grado.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Iteraciones

4.2.1 Iteración 1

4.2.1.1 Evaluación de estrategias para obtención de información

El equipo de ecografía seleccionado para la elaboración del proyecto *Hera* fue un *LOGIQ P5* de *General Electric*, diseñado para ser utilizado por médicos calificados en evaluaciones por ultrasonido. (Ver Apéndice B)

Se realizó la procura de la documentación del equipo, para lo cual se contactó a la empresa Gevenmed, encargada de la distribución del equipo a nivel nacional, la cual suministró el documento "*LOGIQ P5/A5* Guía rápida", que contiene las especificaciones técnicas del equipo.

Para almacenar la información se requiere que para cada examen realizado, utilizando el módulo de transferencia de imágenes y datos, se seleccione el estudio del paciente solicitado y exporte los datos a un dispositivo de almacenamiento. La estructura del archivo exportado es una hoja de trabajo con las mediciones realizadas en el examen, en una carpeta que contiene una base de datos *SQL Anywhere 9* de *Sybase* con sus parámetros y medidas, así como una bitácora.

En base a las pruebas realizadas con diferentes unidades de almacenamiento, la estrategia seleccionada para la extracción de la información fue el uso de un dispositivo móvil capaz de utilizar una tarjeta de memoria *Secure Digital (SD)* y que permita la conexión a través de un cable *USB*, el cual es reconocido por el equipo de ecografía médica como un dispositivo de almacenamiento.

4.2.1.2 Evaluación de la plataforma móvil

Para determinar la plataforma móvil a utilizar en el proyecto *Hera*, se evaluaron diferentes investigaciones, entre ellas evaluaciones de fluctuación del mercado y seguridad realizadas por empresas especializadas en el ámbito de dispositivos móviles. En éstas investigaciones se pudo observar las distintas métricas utilizadas, que sirvieron de apoyo para ejercer un criterio sobre el sistema operativo en el que se desarrolló el cliente móvil del

producto final. Estas métricas son: seguridad, cuota de mercado y tipo de sistema.

Las plataformas móviles que fueron consideradas en la evaluación fueron aquellas que rigen el mercado mundial. Para determinar estas plataformas se hizo referencia a un estudio realizado por la empresa *Nielsen Company*, encargada de investigaciones de mercadeo y publicidad mundial, donde se pudo observar que las plataformas son: *Android*, perteneciente a la empresa *Google* e *iOS*, perteneciente a *Apple*. (Ver Apéndice D)

Seguridad

En junio de 2011, la empresa de seguridad informática *Symantec* realizó un estudio llamado *"A window into mobile device security: Examining the security approaches employed in Apple's iOS and Google Android"* (Nachenberg, 2011) donde se evaluaron los modelos de seguridad aplicados por ambas empresas en sus dispositivos móviles, y el impacto que tienen sobre su crecimiento en el mercado. Los resultados de la investigación se presentan en las siguientes tablas comparativas:

Tipos de ataques	***Apple iOS***	***Google Android***
Ataques provenientes de la web	Protección completa	Protección completa
Malware	Protección completa	Poca protección
Ataques de ingeniería social	Muy poca protección o sin protección	Muy poca protección o sin protección
Abuso de recursos/Ataques de servicio	Buena protección	Protección moderada

Pérdida de datos (Maliciosa o No intencional)	Protección moderada	Poca protección
Ataques a la integridad de los datos	Protección moderada	Poca protección

Tabla 1: Resistencia a diferentes ataques.

Fuente: Symantec (Nachenberg, 2011)

Pilares de seguridad	***Apple iOS***	***Google Android***
Control de acceso	Buena protección	Protección moderada
Procedencia de aplicaciones	Protección completa	Poca protección
Encriptación	Buena protección	Poca protección
Aislamiento	Protección moderada	Protección completa
Control de acceso basado en permisos	Protección moderada	Protección moderada

Tabla 2: Implementación de características de seguridad.

Fuente: Symantec (Nachenberg, 2011)

En estos estudios se pudo observar que la plataforma de *iOS* posee un modelo de seguridad que ofrece mayor protección frente a ataques externos en comparación con el modelo de seguridad de *Android*, resultado de las políticas de seguridad incorporadas en la plataforma.

Otra de las razones por lo cual *Apple* tiene mayor ventaja es por el estricto control con respecto a la certificación de las aplicaciones desarrolladas, ya que ésta se encarga de revisar la identidad del autor del software, evitando así atacantes; a diferencia de *Android*, que permite que se desplieguen las aplicaciones de manera anónima y sin control. (Nachenberg, 2011)

Cuota del mercado

El primero de agosto de 2011, la empresa de análisis de mercado y consulta de estrategias llamada *Canalys*, publicó su informe final sobre las estimaciones de mercado correspondientes a los dispositivos móviles.

En este estudio se pudo apreciar que de los 56 países encuestados, en 35 de ellos los usuarios tienen preferencia por el sistema operativo *Android*, lo que resulta en un 48% de cuota del mercado sobre un 19% perteneciente a *iOS*.

Basado en estos resultados se observó que el sistema operativo *Android* posee una ventaja sobre *iOS* ,ya que este se encuentra disponible en varios modelos de dispositivos móviles, realizados por diferentes fabricantes que se han encargado de hacer una campaña masiva de impulso de la plataforma, entre estos *Samsung* y *HTC*.(Canalys, 2011)

Tipos de sistema

Una de las características divergentes entre las dos plataformas móviles es el nivel de apertura del sistema operativo. *iOS* es completamente cerrado y sólo funciona en dispositivos móviles creados por *Apple*, mientras que *Android* es un sistema *Open Source* que está en más de 50 dispositivos móviles provenientes de diferentes fabricantes. (Auza, 2011)

Con respecto al estudio sobre la influencia de los tipos de sistema sobre el proyecto Hera, se realizaron varias pruebas con un cliente creado en *iOS* para la extracción de información del equipo ecográfico, a pesar de que se realizó la liberación del dispositivo móvil de Apple *(Jailbreak)*. Este factor

fue decisivo al momento de tomar una decisión con respecto a la elección de la plataforma móvil.

Incorporacion al proyecto Hera

Basado en los estudios planteados, la plataforma móvil seleccionada para el desarrollo del proyecto Hera fue *Android*, ya que posee la plataforma para el desarrollo y logro de los objetivos planteados en el Trabajo de Grado, así como beneficios que apoyan a la expansión del proyecto.

4.2.2 Iteración 2

4.2.2.1 Organización y configuración del ambiente de trabajo

Para el desarrollo del proyecto *Hera* se configuraron dos ambientes de trabajo, correspondientes a los componentes de la arquitectura cliente-servidor. La configuración de los entornos se estableció de la siguiente manera:

Cliente

Debido a que se desarrollo una aplicación cliente para *Android Froyo 2.2* se utilizó el Kit de Desarrollo de Software *(SDK)* propio de la plataforma con el complemento *Android Developer Tools (ADT)* de desarrollo para Eclipse.

Servidor

El ambiente de trabajo para el desarrollo del servidor estuvo configurado por diferentes componentes:

- El servidor utilizado es *GlassFish Server 3.1* el cual contiene un Servicio Web basado en *Representational state transfer (REST).*
- Para el manejo del archivo de base de datos, obtenido a través del cliente, se utilizó el conector *JConnect 5.0* para *SQL Anywhere 9.0* de *Sybase.*
- El manejador de base de datos utilizado fue *MySQL 5.1* y el *framework* para persistencia fue *MyBatis.*
- La herramienta para el desarrollo del sistema experto fue *Jess* 7.1, y las reglas codificadas en lenguaje LISP.
- El módulo de adquisición de conocimiento fue realizado bajo el marco de trabajo *Symfony* para el lenguaje de programación *PHP.*

Gestión del proyecto

Para llevar a cabo la gestión del proyecto dentro de los principios de las metodologías ágiles, se utilizó la herramienta de la compañía *Rally Software* llamada *AgileZen.* Esta permite la administración de las historias de usuario, su complejidad, prioridad y fecha límite de culminación por cada iteración del proyecto.

Cada una de las etapas del proyecto fue definida con un color. La etapa de diagnóstico es de color morado, la etapa de pronóstico es de color azul y la etapa de pruebas es de color verde. (Ver Apéndice C)

4.2.3 Iteración 3

El desarrollo de los sistemas expertos puede realizarse según varios enfoques, el más conocido es el utilizado por Donald Waterman, el cual

establece que los sistemas expertos pueden realizarse según las siguientes fases :

- Identificación: se trata de un análisis formal del campo de estudio para el cuál está enfocado el sistema experto. Esto tiene como objetivo determinar los requerimientos externos, la forma de entrada y salida de los datos, y el escenario donde será utilizado el sistema. En esta etapa es sumamente importante la elección de un ingeniero de conocimiento adecuado, es decir, que posea una autoridad legítima en el área de conocimiento.
- Conceptualización: esta etapa implica el análisis y diseño de la propuesta para la realización del sistema experto, esto tiene como fin asegurar que las relaciones e interacciones entre los diferentes elementos del sistema son entendidos y definidos.
- Formalización: implica la organización de los conceptos claves, subproblemas y flujo de información en representaciones formales. En esta etapa se diseña la lógica del problema, agrupando o modularizando el conocimiento obtenido en forma gráfica, como por ejemplo árboles de decisión.
- Implementación: el contenido de las estructuras de conocimiento, las reglas de inferencia y las estrategias de control establecidas en las etapas anteriores se organizan en un formato y se codifican en prototipos que se revisarán con el experto para la aprobación o modificación de elementos del sistema.
- Pruebas: en esta etapa se verifica el desempeño del programa, de tal manera que se pueda determinar si el sistema imita el modelo de

pensamiento del experto del dominio en cualquier situación posible. (Engel, 2011)

4.2.3.1 Identificación del dominio del sistema experto

El dominio del proyecto *Hera* se encuentra en la gestación del feto a través de los trimestres del embarazo. La información que fue manejada para la elaboración del sistema sólo abarca el uso de casos médicos donde los fetos no presenten ningún tipo de patologías que influyan de manera negativa sobre la gestación.

En esta etapa se seleccionó al experto en Ginecología y Obstetricia, el Doctor Leonardo Moreno, el cual pertenece a la Unidad de Ecosonografía del Instituto Venezolano de los Seguros Sociales donde se realizaron las pruebas del sistema experto.

4.2.3.2 Formalización y conceptualización del sistema experto

Análisis de patrones y parámetros del crecimiento embrionario

La evaluación ecográfica es una práctica rutinaria que se realiza a todas aquellas mujeres embarazadas o que se tiene sospecha de embarazo.

A pesar de que existen mediciones estándares que se deben realizar durante cada uno de los trimestres de embarazo para definir la edad gestacional, cada uno de los centros médicos donde se realizan estas evaluaciones pueden tener su propio informe, donde se realizan más estudios para determinar ciertos factores que puedan influir en el embarazo.

Es por ello que las mediciones que fueron tomadas en cuenta son aquellas presentes en los informes trimestrales de la Unidad de

Ecosonografía del Instituto Venezolano de los Seguros Sociales, Clínica Maternidad Santa Ana. (Ver Apéndice E)

Primer trimestre

Según Kurjak y Chevernak (2008) el examen del primer trimestre se realiza dentro de la consulta obstétrica de la embarazada, o porque la paciente posee dolor o hemorragia. En consecuencia, la ecografía debe responder las siguientes preguntas:

- ¿Dónde esta ubicado el embarazo? (Intrauterino o Ectópico)
- ¿El embrión/ feto está vivo?
- ¿Cuál es la probabilidad de fallecimiento consecuente de un embrión/feto vivo?

Otros objetivos que deben evaluarse con la ecografía de primer trimestre son: la estimación de la edad menstrual del embarazo, evaluación del embarazo múltiple y mediciones para descarte de cromosomopatías.

Incorporación al Proyecto Hera

En base a la información levantada en las entrevistas al experto, se desarrollaron tres árboles de decisión, definidos por las áreas de estudio en las que se divide el informe de primer trimestre de embarazo, éstas son: saco gestacional, vesícula vitelina y embrión. Estos árboles contienen las medidas cuantitativas y cualitativas necesarias para la emisión de un diagnóstico correspondiente al primer trimestre de embarazo.

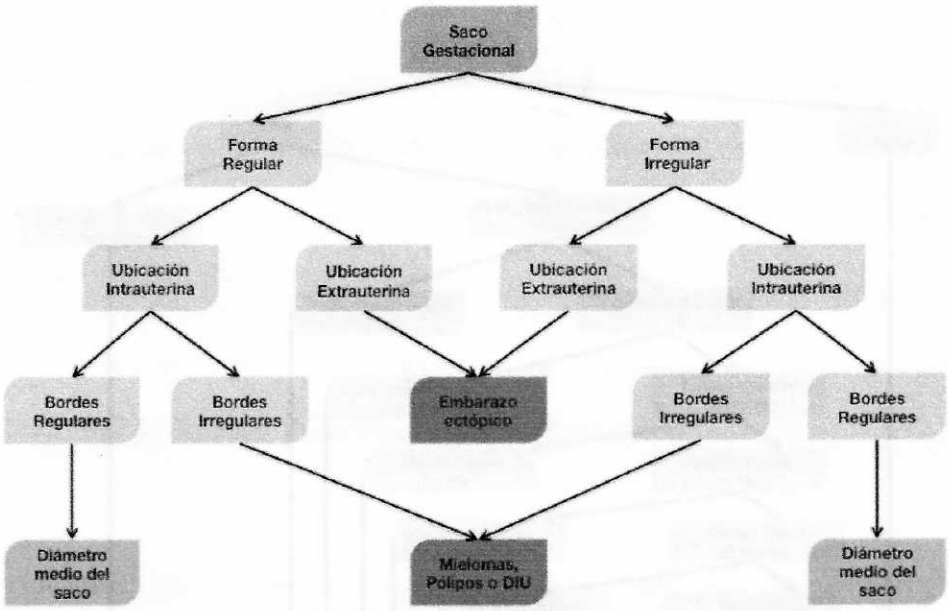

Figura 4: Árbol de Decisión de las mediciones del Saco Gestacional

Fuente: Elaboración Propia

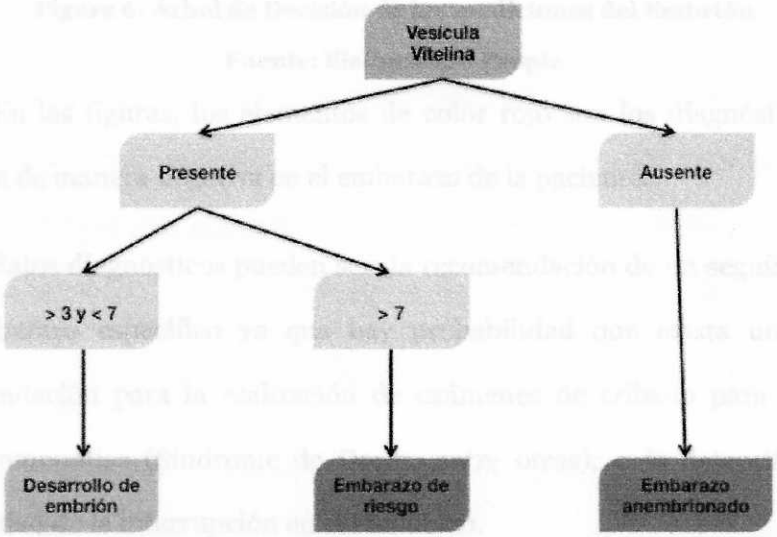

Figura 5: Árbol de Decisión de las mediciones de la Vesícula Vitelina

Fuente: Elaboración Propia

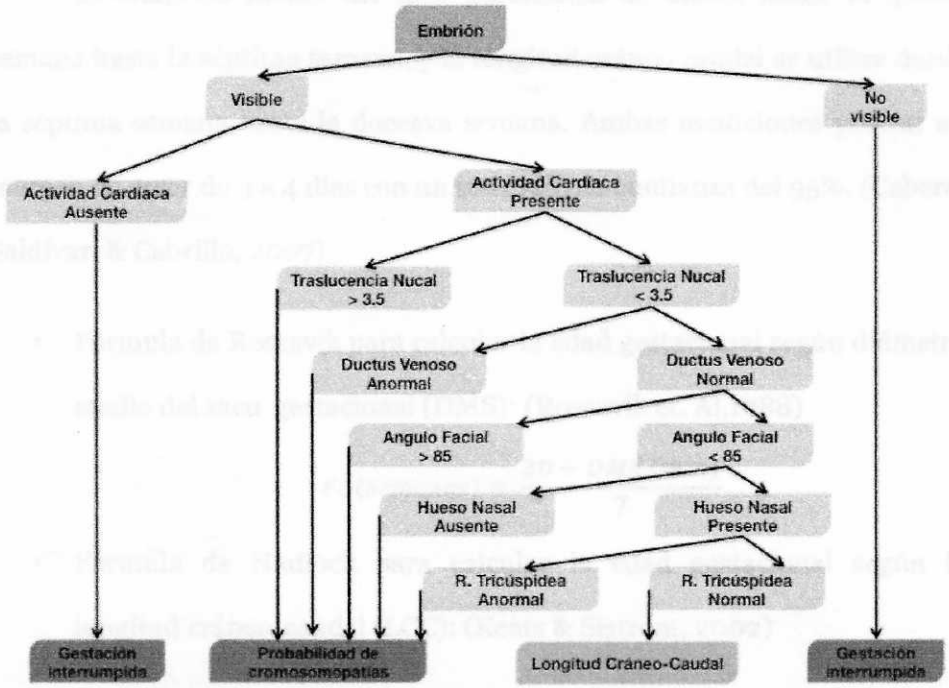

Figura 6: Árbol de Decisión de las mediciones del Embrión

Fuente: Elaboración Propia

En las figuras, los elementos de color rojo son los diagnósticos que influyen de manera negativa en el embarazo de la paciente.

Estos diagnósticos pueden ser: la recomendación de un seguimiento a un embarazo específico ya que hay probabilidad que exista un riesgo; recomendación para la realización de exámenes de cribado para detectar cromosomopatías (Síndrome de Down, entre otros); o la detección de la posibilidad de la interrupción en el embarazo.

Los elementos de color verde simbolizan las dos mediciones que son necesarias para el cálculo de la edad gestacional. Esta se puede determinar de dos maneras: con el diámetro medio del saco gestacional o la longitud cráneo-caudal del embrión.

El diámetro medio del saco gestacional se utiliza desde la quinta semana hasta la séptima semana, y la longitud cráneo caudal se utiliza desde la séptima semana hasta la doceava semana. Ambas mediciones poseen un margen de error de 3 a 4 días con un intervalo de confianza del 95%. (Cabero, Saldívar, & Cabrillo, 2007)

- Fórmula de Rossavik para calcular la edad gestacional según diámetro medio del saco gestacional (DMS): (Rossavik et. Al,1988)

$$EG(Semanas) = \frac{\mathbf{30 + DMS\ (mm)}}{\mathbf{7}}$$

- Fórmula de Hadlock para calcular la edad gestacional según la longitud cráneo-caudal (LCC): (Keats & Sistrom, 2002)

$$\ln(EG) = 1{,}684969 + 0{,}315646(LCC) - 0{,}049306(LCC)^2 + 0{,}004057\,(LCC)^3 - 0{,}000120456(LCC)^4$$

Ambas fórmulas dan como resultado las tablas de biometría fetal utilizadas por los expertos para determinar si la edad gestacional del embarazo está acorde con el tiempo transcurrido desde la fecha de la última regla, así como también la fecha probable de parto. (Ver Apéndice F)

- Fórmula de Naegele para calcular la fecha probable de parto ; (Keats & Sistrom, 2002)

$$\boldsymbol{Fecha\ probable\ de\ parto = Fecha\ última\ regla + 7\ días - 3\ meses}$$

Segundo Trimestre

Según Comino Delgado y López García (2004), la ecografía del segundo trimestre se realiza entre la 18ª y la 20ª semana de embarazo. La inspección ecográfica de este trimestre es fundamental para el diagnóstico de los defectos malformativos, marcadores ecográficos de cromosomopatías y

retraso del crecimiento intrauterino. La guía de exploración del segundo trimestre se basa en las siguientes métricas:

- Vida fetal.
- Número de fetos.
- Ubicación de la Placenta.
- Tipo de Cordón Umbilical.
- Sexo.
- Abdomen: riñones, estómago y vejiga.
- Biometría fetal:
    - Cabeza: se debe determinar el diámetro biparietal y el perímetro cefálico.
    - Abdomen: se deben realizar mediciones para determinar la circunferencia abdominal.
    - Fémur: se debe determinar la longitud del fémur.
    - Húmero: se debe determinar la longitud del húmero.
    - Tibia: se debe determinar la longitud de la tibia.

Tercer Trimestre

La ecografía del tercer trimestre se realiza entre la 32ª y la 36ª semana de embarazo. La inspección ecográfica de este trimestre es fundamental para el diagnóstico de patología placentaria, retraso del crecimiento intrauterino, alteraciones del líquido amniótico, malformaciones y presentación fetal. Los criterios de evaluación son práctimante los mismos criterios evaluados en el segundo trimestre. (Comino Delgado & López García, 2004)

Incorporación al Proyecto Hera

Debido a que los estudios que se realizan en el segundo y tercer trimestre utilizan el mismo informe ecográfico, y por recomendación del experto, sólo se desarrolló un árbol de decisión para ambos trimestres. De igual forma que los árboles realizados anteriormente, este también posee medidas cuantitativas y cualitativas que permitan ejercer un diagnóstico correspondiente a cualquiera de los dos trimestres.

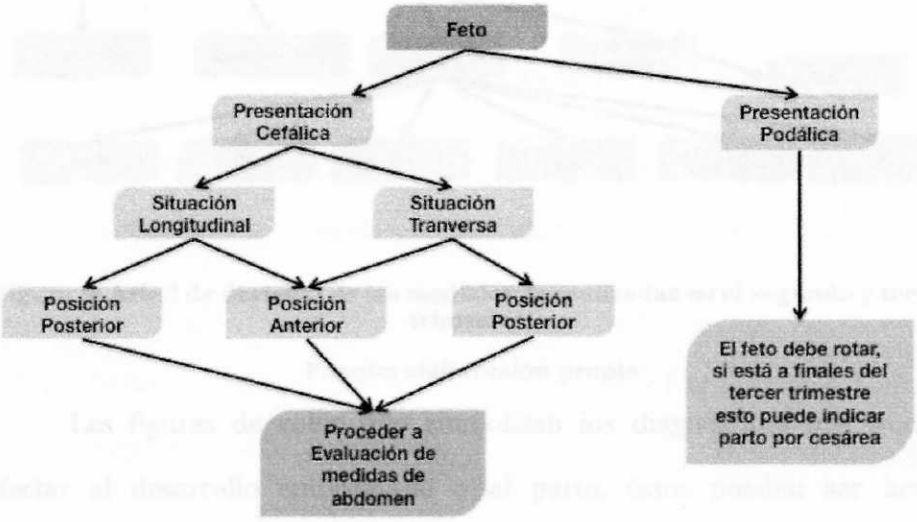

Figura 7: Árbol de decisión de las mediciones de la presentación, situación y posición del feto

Fuente: Elaboración propia

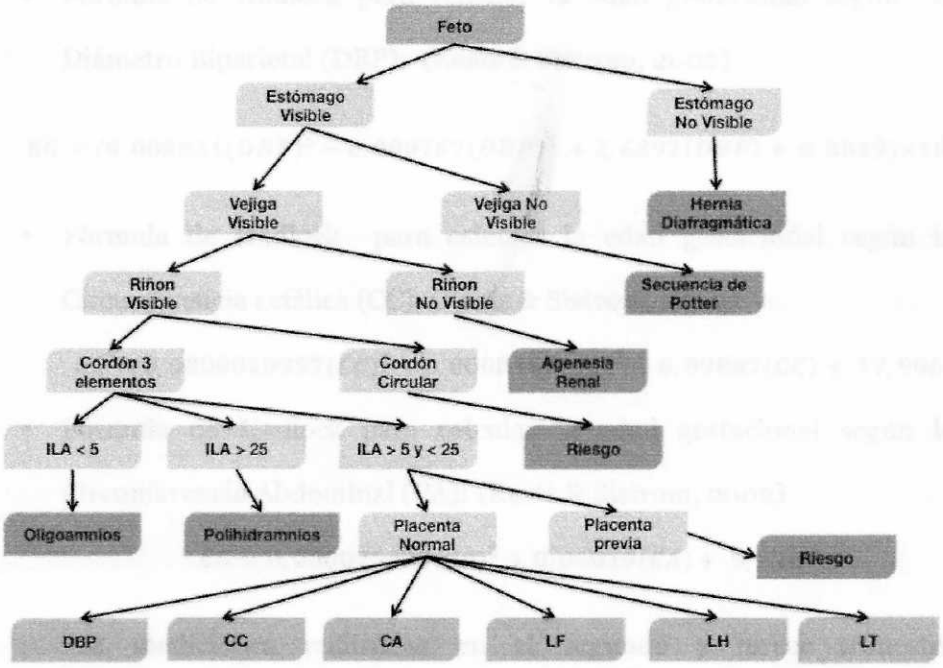

Figura 8: Árbol de decisión de las mediciones realizadas en el segundo y tercer trimestre.

Fuente: elaboración propia

Las figuras de color rojo simbolizan los diagnósticos que pueden afectar al desarrollo embrionario o al parto, éstos pueden ser hernia diafragmática (Falta de estómago), Secuencia de Potter (Falta de vejiga), Agenesia Renal (Falta de riñones), Riesgo por Cordón Circular, Oligoamnios (Niveles de Líquido Amniótico muy bajos), Polihidramnios (Niveles de Líquido Amniótico muy altos) y Riesgo por Placenta Previa.

Las mediciones de color verde simbolizan las mediciones de biometría fetal necesarias para el calculo de edad gestacional y peso fetal, éstas son: Diámetro Biparietal, Circunferencia Cefálica, Circunferencia Abdominal, Longitud del Fémur, Longitud del Húmero y Longitud de la Tibia.

- Fórmula de Hadlock para calcular la edad gestacional según el Diámetro Biparietal (DBP): (Keats & Sistrom, 2002)

$$EG = (0,008821(DBP)^3 - 0,000787(DBP)^2 + 2,6392(DBP) + 6,8819)\times 10$$

- Fórmula de Hadlock para calcular la edad gestacional según la Circunferencia cefálica (CC): (Keats & Sistrom, 2002)

$$EG = 0,0000010957(CC)^3 + 0,0008463(CC)^2 + 0,09887(CC) + 17,906$$

- Fórmula de Hadlock para calcular la edad gestacional según la Circunferencia Abdominal (CA): (Keats & Sistrom, 2002)

$$EG = 0,000075425(CA)^2 + 0,06019(CA) + 9,2207$$

Las mediciones realizadas en el segundo y tercer trimestre correspondientes a la biometría fetal tienen como objetivo determinar la edad gestacional y el peso fetal. (Ver Apéndice F).

4.2.3.3 Selección de la herramienta de construcción del sistema experto

Para determinar la herramienta a utilizar en el sistema experto se evaluó una investigación sobre los dos *shells* más utilizados: *CLIPS* y *JESS*, llamada "Aplicaciones Industriales de la Inteligencia artificial". (Van Laerhoven, 2003)

CLIPS

Es una herramienta diseñada para proporcionar un entorno completo para la construcción de sistemas expertos productivos basados en reglas u orientados a objetos. Entre sus características esta: portabilidad, soporte de tres paradigmas de programación (orientado a objetos, basado en reglas y de

procedimiento) y validación de las reglas por análisis semántico de los patrones.

JESS

Es una herramienta para elaboración de sistemas expertos escrita completamente en lenguaje Java. A pesar de que fue basado originalmente en CLIPS, ha logrado convertirse en una herramienta dinámica, ligera, con acceso a la Interfaz de programación de aplicaciones *(API)* de Java y con un tiempo de respuesta menor a otras herramientas, ya que posee uno de los motores de inferencias más rápidos. (Ver Apéndice G)

Incorporación al Proyecto Hera

Aunque CLIPS y JESS ofrecen numerosas ventajas, la herramienta elegida fue JESS ya que su compatibilidad con el lenguaje Java facilita la ejecución de un sistema experto web. Esto permite que dicho sistema se acople a la arquitectura del Proyecto Hera mediante su incorporación en el servidor de datos, específicamente con el servicio web REST, para la interpretación de las mediciones, emisión y envío de los diagnósticos.

Una vez seleccionada la herramienta, se procedió a transformar los árboles de decisión en archivos de reglas que puedan ser interpretados por JESS, para ello se hizo uso del lenguaje LISP y se procedió a transformar cada uno de los caminos del árbol en reglas condicionales IF- THEN. Al finalizar la codificación de cada una de las reglas y las fórmulas de cálculo de edad gestacional antes mencionadas, se realizaron las consultas que permiten al servidor de datos conectarse al motor de inferencia y extraer la información de los diagnósticos. (Ver Apéndice K)

4.2.3.4 Cálculo e incorporación de los factores de certeza

Para la incorporación de la incertidumbre se decidió utilizar los Factores de Certeza de MYCIN debido a que en el área médica es difícil contar con la gran cantidad de datos que un modelo probabilístico como el Teorema de Bayes requiere .

Así como los médicos parecen razonar capturando evidencias que confirmen o nieguen sus hipótesis consiguiéndolas de manera independiente, el proceso usado por la técnica bayesiana no es utilizado, ya que este solo permite el uso probabilidades condicionadas. (Salazar Serrudo, 2003)

Rango de confianza que manejan los factores de certeza.

- CF > 0 indica Confianza
- CF = 0 indica Ignorancia
- CF < 0 Confianza en lo contrario del hecho

Heurísticas para la deducción de los factores de certeza

- Si existe una regla Si A→B, teniendo A un factor de certeza $F_A > 0$ entonces $F_B = F_A * F_{regla.}$ (Fernández , 2004)
- Si la premisa A está compuesta por varias evidencias, unidas por un "y" u "o" entonces el calculo de la incertidumbre se realiza de la siguiente manera: (Fernández , 2004)

$$F(A_1 \wedge A_2) = \text{Mín.}(F_{a1}, F_{a2})$$

$$F(A_1 \vee A_2) = \text{Máx.}(F_{a1}, F_{a2})$$

$$F(\sim A) = -F(A)$$

- Si hay dos reglas que apoyan la misma hipótesis, y una da como resultado F_1 y la otra F_2, se aplican las siguientes fórmulas: (Fernández , 2004)

$$F_b = F_1 + F_2 - (F_1 * F_2) \qquad \text{Si } F_1, F_2 > 0$$

$$Fb = \frac{F1+F2}{\min(|F1||F2|)} \qquad \text{Si } F_1, F_2 < 0$$

Incorporación al Proyecto Hera

Para la incorporación de la incertidumbre al proyecto se utilizó una librería realizada por David Corsar llamada *Uncertainty Jess*. Fue necesaria esta incorporación ya que, en sus funcionalidades por defecto, JESS no permite manejar la incertidumbre de las premisas y reglas contenidas en la base de conocimiento.

4.2.4 Iteración 4

4.2.4.1 Desarrollo e Implementación del modulo de diagnósticos

Módulo de gestión de usuarios

Para garantizar la seguridad del sistema se implementaron tres tipos de roles: doctor, paciente y familiar, cada uno con diferentes permisos para la visualización y distribución de los expedientes.

- Doctor: posee permisos para observar todos los expedientes de sus pacientes, sus estudios, mediciones y diagnósticos; también puede compartir dicha información con los usuarios que posean un dispositivo con la misma plataforma.

- Paciente: sólo posee permisos para observar la información asociada a su expediente, y para compartir la información con sus familiares.
- Familiar: posee permisos de visualización del expediente del paciente al que está asociado, pero no puede compartir la información.

Incorporación al Proyecto Hera

Para ingresar a la aplicación, el usuario se debe autenticar con su correo electrónico y contraseña. De no encontrarse registrado en el sistema, lo puede hacer suministrando los siguientes datos: cédula, nombre, apellido, correo electrónico, contraseña y rol que desempeña (doctor, paciente, familiar).

Si el usuario ingresado es doctor, se encontrara con un listado de pacientes ordenados según el trimestre de su último estudio realizado. De igual forma, el doctor puede registrar nuevos pacientes con sus datos personales.

Los datos son intercambiados con el servidor haciendo uso de *JavaScript Object Notation* (JSON) mediante la librería de Google llamada GSON.

Modulo de gestión de ecosonogramas

Los archivos generados por el equipo ecográfico al finalizar una evaluación son tres, cada uno para la generación de la base de datos: generación de los parámetros; inserción de la información; y una bitácora que se encarga de guardar las operaciones. El tamaño total de esa carpeta

supera los 15 MB, por lo cual para lograr que el envío de la información sea manera rápida y completa, se comprimieron estos archivos.

A pesar de que la comunicación entre el cliente y el servidor se hace a través de un servicio web *REST*, se decidió utilizar un *socket* para la transferencia del archivo. Esto se basa en que los *sockets* permiten una velocidad de transferencia mayor ya que no agregan información innecesaria al principio del paquete a enviar.

Incorporación al Proyecto Hera

El envío de información fue desarrollado para ocurrir a través del cliente de dos maneras:

- Mediciones cualitativas: al ser ingresadas al sistema a través de un formulario en el dispositivo móvil, éstas mediciones se envían mediante peticiones *POST* al servidor.
- Mediciones cuantitativa: para enviar éstas mediciones se desarrolló un visor de archivos que permite al usuario escoger la carpeta que desea enviar. Una vez obtenida la ruta de ubicación de los mismos, se procede a comprimir los cuatro archivos en una carpeta, y a enviarlos a través de un *socket* de comunicación con el servidor.

Al finalizar la transferencia del archivo en el servidor, se procede a descomprimir el archivo obtenido, y guardar el contenido en una carpeta con el nombre de la paciente y la fecha en la que se realizó el estudio.

Interpretación de mediciones y emisión de diagnósticos

Para poder interpretar la información se desarrolló la funcionalidad que genera un script mediante el cual se ingresan los comandos de *Sybase* el terminal de *Linux*. Esto permite inicializar el servidor de la base de datos del paciente, obtenida en el archivo, para extraer la información de las mediciones realizadas y posteriormente agregarla a la base de datos del sistema.

Una vez ingresada la información, se toman las mediciones del paciente solicitado y el trimestre en el cual se encuentra, y se carga el archivo de reglas que concuerda con el trimestre.

Por cada medición se crea y se afirma un hecho en el sistema experto; si el conjunto de hechos afirmados concuerdan con una regla esta se dispara en el motor de inferencia, y se guarda en memoria el diagnóstico obtenido y el factor de certeza del mismo. Este diagnostico posee la siguiente estructura: nombre, edad gestacional, resultado, fecha probable de parto y factor de certeza.

Para extraer el diagnóstico de la memoria de trabajo del motor de inferencia se realizan dos consultas: una para obtener el diagnóstico y otra para obtener el factor de certeza de la regla disparada. Al obtener dicha información se utiliza la edad gestacional y se calcula la fecha de la última regla y la fecha probable de parto, al finalizar estos procedimientos se inserta en la base de datos el diagnóstico final.

4.2.5 Iteración 5

4.2.5.1 Desarrollo de la línea de tiempo del embarazo

Para la visualización de la línea del tiempo del embarazo se desarrollo una vista con tres pestañas correspondientes a las diferentes opciones que se pueden desplegar en esta: todos los ecosonogramas, ecosonogramas ingresados por el paciente y pronósticos por semana de embarazo. (Ver Apéndice I)

- En la vista de los ecosonogramas ingresados por el paciente, se puede observar un listado de fechas de los estudios realizados por trimestre.
- En la vista de pronóstico por semana de embarazo se puede visualizar un listado de los pronósticos del crecimiento embrionario por las semanas que componen los trimestres.
- La vista de todos los ecosonogramas esta compuesta por la unión entre los ecosonogramas ingresados por el paciente y los pronósticos emitidos por el sistema.

4.2.5.2 Estudio de biometría fetal por trimestre para calculo de pronóstico

Las exploraciones ecográficas constituyen el mejor indicador del crecimiento y desarrollo fetal. A continuación las estructuras que determinan los índices de crecimiento por trimestre:

Primer trimestre

El crecimiento embrionario del feto en el primer trimestre se puede determinar por cuatro estructuras importantes: saco gestacional , saco

vitelino, longitud cráneo-caudal y frecuencia cardíaca. (Kurjak & Chevernak, 2008)

- Saco gestacional: esta estructura aumenta 1,13 mm/día si la gestación es normal, en caso de presentarse un saco anormal el ritmo de crecimiento es de 0,70 mm/día. (Callen P. W., 2009)
- Saco vitelino: crece a razón de 0.1 mm por cada milímetro de crecimiento del saco gestacional cuando este tiene un diámetro menor de 15 mm, y a razón de 0.03 mm por cada mm de saco gestacional después. El limite más alto del saco vitelino normal de 5 a 10 semanas es de 5.6 mm . (Rumack-Wilson, 1999)
- Longitud cráneo-caudal: crece a una tasa de 1 mm/día desde la semana 6 en adelante. (Brookside Associates, 2008)
- Frecuencia cardíaca: aumenta de forma progresiva desde 120 a 160 latidos por minuto después de las 6 o 7 semanas, y entre 150 a 190 latidos por minuto desde a 8va semana en adelante. (Kurjak & Chevernak, Ecografía en Obstetricia y Ginecología, 2008)

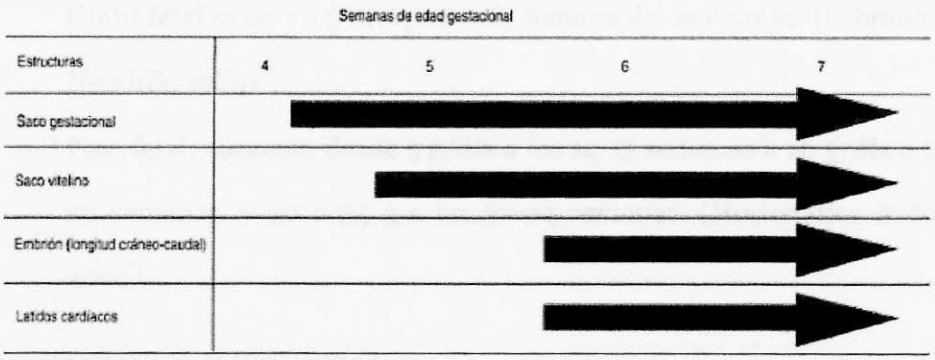

Figura 9: Momento en el que aparecen las estructuras importantes para el desarrollo en la ecografía transvaginal del primer trimestre

Fuente: (Kurjak & Chevernak, 2008)

Segundo y tercer trimestre

Las estructuras que determinan el crecimiento embrionario del segundo y tercer trimestre son las mediciones de diámetro biparietal, circunferencia abdominal, circunferencia cefálica, longitud del fémur y peso fetal, éstas mediciones deben estar dentro de los valores de los percentiles de embarazo.

- Diámetro biparietal: se puede observar un crecimiento de 3,5 mm por semana desde la semana 22 hasta la semana 26; posterior a esas semanas el crecimiento del diámetro es menor a 3 mm. (Herrera, Pavia, & Yturriaga , 1995)
- Circunferencia cefálica: su tasa de crecimiento es de 0.89 a 1 cmm por semana. (Cooke, Vandenplas, & Wahn, 2006)
- Circunferencia abdominal: el crecimiento de esta estructura ocurre de manera lineal con una aumento de 11 a 12 mm por semana a través de la gestación. (Nyberg, McGahan , Pretorius, & Pilu, 2003)
- Longitud del fémur: la tasa de crecimiento promedio de la longitud del fémur fetal es de 1 a 3 mm por cada semana del embarazo. (Schmidt & Hendrik, 1985)
- Peso fetal: aumenta desde 5 g/día a las 14-15 semanas a 10 g/día a las 20 semanas, y 30 a 35 g a las 32-34 semanas. (Hochstätter Arduz, 2004)

Incorporación al Proyecto Hera

Para la emisión del pronóstico se desarrolló un modulo que permite el cálculo de las mediciones en base a los valores de la semana actual, la semana

en la cual se desea el pronóstico y, según el rango de tiempo entre estos dos valores, se aplican los valores de crecimiento anteriormente listados.

4.2.6 Iteración 6

4.2.6.1 Distribución de información entre dispositivos

Para compartir los expedientes de los pacientes, se deberá ingresar el correo electrónico del usuario con el que se desea compartir dicha información. Para que la operación sea exitosa el correo debe estar registrado en el sistema, aunque se puede registrar nuevos usuarios según rol que se posea.

4.2.7 Iteración 7

4.2.7.1 Modulo de aprendizaje

Una de las características importantes sobre los sistemas expertos es su capacidad de simulación de aprendizaje del conocimiento. El objetivo fundamental al realizar el módulo de aprendizaje fue el desarrollo de una herramienta que permitiera mayor facilidad al ingeniero de conocimiento, que debe tener dominio del lenguaje *LISP*, al momento de ingresar el conocimiento.

Con el fin de lograr el objetivo se desarrolló un módulo de aprendizaje de conocimiento web con el marco de trabajo *Symfony* para el lenguaje *PHP*. Este sistema permite al usuario realizar la gestión, por trimestre, de los componentes importantes de la base de conocimiento del proyecto, los cuales

son: plantillas, atributos, reglas ,funciones, módulos, hechos, expresiones y trimestres.

Al finalizar la inserción del conocimiento se genera, para cada trimestre, un archivo de reglas en el directorio correspondiente al servidor de datos. (Ver Apéndice J)

4.2.7.2 Módulo de explicación

Para aquellos usuarios que deseen mayor información sobre cómo se llegó a los resultados emitidos en el diagnóstico se desarrollo un módulo de explicación, el cual se encarga de listar los hechos que el usuario ha ingresado y la regla que se utilizó para llegar al resultado según el caso.

4.2.8 Iteración 8

4.2.8.1 Pruebas de diagnóstico

Para la realización de las pruebas de diagnóstico se tomaron tres pacientes con embarazos en cada uno de los trimestres. Se realizaron sus evaluaciones ecográficas correspondientes y al finalizar el examen se cargaron los archivos de mediciones en el sistema y se emitió un diagnóstico.

A continuación los resultados obtenidos:

Paciente primer trimestre:

Historia médica paciente 1:

- Edad: 18 años
- Fecha del estudio realizado: 13 de Septiembre de 2011
- Fecha última regla: Desconocida

- Fecha probable de parto: 26 de Abril de 2012

Nombre Medición	Mediciones Paciente	Edad Gestacional según sistema	Edad Gestacional teórica	Edad Gestacional según experto
Diámetro medio del saco	23,00	7,54	7,60	7,60
Longitud Cráneo-Caudal	13,00	7,57	7,70	7,40

Tabla 3: Tabla Comparativa entre los valores obtenidos por el sistema, valores teóricos y valores emitidos por el experto, en el Primer Trimestre.

Fuente: Elaboración Propia

Paciente segundo trimestre:

Historia médica paciente 2:

- Edad: 24 años
- Fecha del estudio realizado: 09 de Agosto de 2011
- Fecha última regla: 19 de Febrero de 2011
- Fecha probable de parto: 29 de Noviembre de 2011

Nombre Medición	Mediciones Paciente	Edad Gestacional según sistema	Edad Gestacional teórica	Edad Gestacional según experto
Diámetro biparietal	55	24	24	22
Circunferencia abdominal	199	24	23	24
Circunferencia cefálica	222	24	24	25
Longitud del fémur	42	24	24	23

Tabla 4: Tabla Comparativa entre los valores obtenidos por el sistema, valores teóricos y valores emitidos por el experto, en el Segundo Trimestre.

Fuente: Elaboración Propia

Paciente tercer trimestre:

Historia médica paciente 3:

- Edad: 22 años
- Fecha del estudio realizado: 20 de Julio de 2011
- Fecha última regla: 20 de Noviembre de 2010
- Fecha probable de parto: 27 de Agosto de 2011

Nombre Medición	Mediciones Paciente	Edad Gestacional según sistema	Edad Gestacional teórica	Edad Gestacional según experto
Diámetro biparietal	84,00	33,20	33,00	34,20
Circunferencia abdominal	307,00	33,20	36,00	35,60
Circunferencia cefálica	278,00	33,20	32,00	31,70
Longitud del fémur	60,00	33,20	32,00	31,11

Tabla 5: Tabla Comparativa entre los valores obtenidos por el sistema, valores teóricos y valores emitidos por el experto, en el Tercer Trimestre.

Fuente: Elaboración Propia

4.2.9 Iteración 9

4.2.9.1 Pruebas de pronóstico

Para la realización de las pruebas de pronóstico se tomaron los historiales de seguimiento de tres pacientes, debido a factores externos que pueden afectar la continuidad de visitas del paciente al mismo centro

médico. Se cargaron los archivos mediante la aplicación desarrollada en este trabajo y se verificó que el resultado estuviera alineado con la información del historial.

Primer trimestre:

Historia médica paciente 4:

- Edad: 16 años
- Fecha última regla: 10 de Julio de 2011
- Fecha probable de parto: 14 de Abril de 2012

Estudio 1 (16 de Agosto de 2011)

Edad Gestacional a la fecha, emitida por el estudio ecográfico: 5,4 semanas

Nombre medición	Medición paciente
Diámetro medio del saco	5,2
Longitud cráneo-caudal	-

Tabla 6: Mediciones de la paciente 4 en el primer trimestre

Fuente: Elaboración Propia

Estudio 2 (1 de Septiembre de 2011)

Nombre Medición	Mediciones Paciente	Mediciones paciente, según sistema	Mediciones teóricas paciente	Edad Gestacional según sistema
Diámetro medio del saco	22,80	23,08	23,00	7,57
Longitud Cráneo-Caudal	12,20	12,00	12,00	7,57

Edad Gestacional a la fecha, emitida por el estudio ecográfico: 7,5 semanas

Tabla 7: Tabla comparativa de valores emitidos por el sistema, mediciones extraídas del estudio ecográfico y mediciones teóricas, en el primer trimestre.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior podemos observar que en el transcurso de 3 semanas el diámetro medio del saco aumentó 17.88 mm, y el cráneo caudal aumentó, a partir de la sexta semana de embarazo, 12 mm. El diagnóstico de esta paciente es un embarazo acorde con la fecha de la última regla.

Segundo trimestre:

Historia médica paciente 5:

- Edad: 37 años
- Fecha última regla: 1 de Febrero de 2011
- Fecha probable de parto: 8 de Noviembre de 2012

Estudio 1 (19 de Julio de 2011)

Edad Gestacional a la fecha, emitida por el estudio ecográfico: 24 semanas

Nombre medición	Medición paciente
Diámetro biparietal	57
Circunferencia cefálica	209
Circunferencia abdominal	197
Longitud del fémur	43

Tabla 8 : Mediciones de la paciente 5 en el segundo trimestre.

Fuente: Elaboración propia

Estudio 2 (11 de Agosto de 2011)

Edad Gestacional a la fecha, emitida por el estudio ecográfico: 27,2 semanas

Nombre medición	Mediciones paciente	Mediciones paciente según sistema	Mediciones teóricas paciente	Edad gestacional según sistema
Diámetro	70,0	67,0	72,0	27

Biparietal				
Circunferencia cefálica	240,1	239	235,9	27
Circunferencia abdominal	242,3	231,5	255,7	27
Longitud del fémur	47	49	49	27

Tabla 9 : Tabla comparativa de valores emitidos por el sistema, mediciones extraídas del estudio ecográfico y mediciones teóricas, en el segundo trimestre.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior podemos observar un incremento de cada una de las medidas del embarazo en el segundo trimestre dentro de los percentiles de crecimiento. El diagnóstico de este embarazo es acorde con la fecha de la última regla.

Tercer trimestre:

Historia médica paciente 6:

- Edad: 21 años
- Fecha última regla: 21 de Diciembre de 2010
- Fecha probable de parto: 26 de Septiembre de 2011

Estudio 1 (05 de Septiembre de 2011)

Edad Gestacional a la fecha, emitida por el estudio ecográfico: 37 semanas

Nombre medición	Medición paciente
Diámetro biparietal	91
Circunferencia cefálica	327
Circunferencia abdominal	311
Longitud del fémur	71

Tabla 10: Mediciones de la paciente 6 en el tercer trimestre.

Fuente: Elaboración propia

Estudio 2 (12 de Septiembre de 2011)

Edad Gestacional a la fecha, emitida por el estudio ecográfico: 38 semanas

Nombre medición	Mediciones paciente	Mediciones paciente según sistema	Mediciones teóricas paciente	Edad gestacional según sistema
Diámetro Biparietal	94,0	94,0	93,0	37,9
Circunferencia cefálica	337,2	337,0	335,5	37,9
Circunferencia abdominal	370,0	323,0	368,2	37,9
Longitud del fémur	70,0	73,0	71,0	37,9

Tabla 11: Tabla comparativa de valores emitidos por el sistema, mediciones extraídas del estudio ecográfico y mediciones teóricas, en el tercer trimestre.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior podemos observar un incremento de cada una de las medidas del embarazo en el tercer trimestre dentro de los percentiles de crecimiento. El diagnóstico de este embarazo es acorde con la fecha de la última regla.

4.2.10 Retrospectiva de la planificación y ejecución del proyecto

Después de finalizar cada iteración, se realizó una retrospectiva sobre los aciertos y errores cometidos en ese período de tiempo, y posibles mejoras que pueden implementarse para la siguiente iteración.

Con el fin de incorporarlo al Proyecto Hera, se realizó un seguimiento de los puntos por semanas realizadas y se verificó su concordancia con los

puntos planificados. A continuación se presentan las funcionalidades por iteración y los puntos correspondientes:

Iteración	Historias de Usuario	Puntaje	Total
1	Evaluación de estrategias para obtención de información	2	3
	Evaluación de la plataforma móvil	1	
2	Organización y configuración del ambiente de trabajo	3	3
3	Identificación del dominio del sistema experto	1	5
	Análisis de patrones y parámetros del crecimiento embrionario	2	
	Selección de la herramienta de construcción del sistema experto	1	
	Cálculo e incorporación de los factores de certeza	1	
4	Módulo de gestión de usuarios	1	5
	Modulo de gestión de ecosonogramas	1	
	Interpretación de mediciones y emisión de diagnósticos	3	
5	Desarrollo de la línea de tiempo del embarazo	2	5
	Estudio de biometría fetal por trimestre para calculo de pronóstico	3	
6	Distribución de información entre dispositivos	3	3
7	Modulo de aprendizaje	3	5
	Módulo de explicación	2	
8	Pruebas de diagnóstico	3	3
9	Pruebas de pronóstico	3	3
Total		35	

Tabla 12: Historias de Usuario desarrolladas por iteraciones.

Fuente: Elaboración Propia

Para cada Historia de Usuario se determinó un puntaje del 1 al 3, según la prioridad establecida por el usuario y la dificultad establecida por el equipo de trabajo, siendo 1 la historia de usuario con mayor prioridad, 2 la historia de usuario con prioridad media y 3 la historia de usuario que no es prioritaria. A continuación, el gráfico de trabajo realizado a lo largo del proyecto:

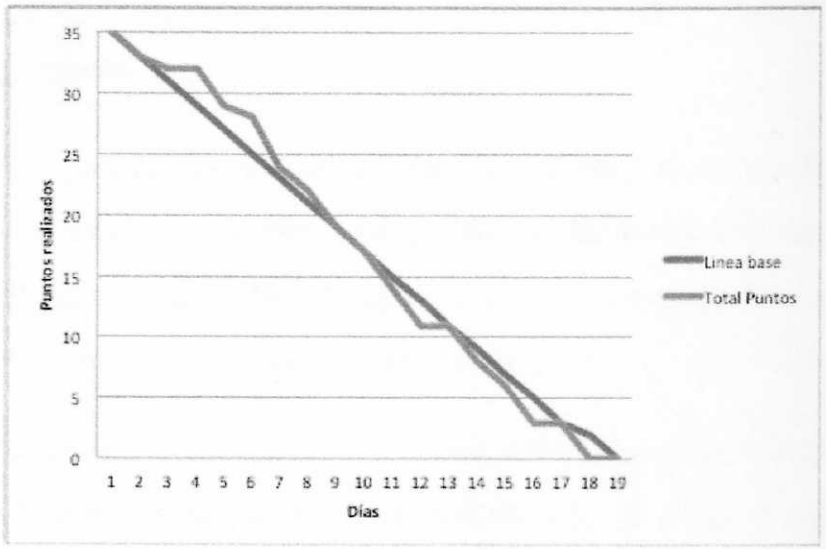

Figura 10 Gráfico *Burn Down* de Ejecución de Historias de Usuario en el proyecto.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura se observan dos curvas: la curva de color azul determina la línea base del trabajo, es decir, la cantidad de historias de usuario que deben realizarse semanalmente, así como la velocidad que se debe mantener para lograr los objetivos del proyecto en el tiempo esperado; y la curva roja representa el trabajo actual restante, el cual disminuye a medida que se cerraron las historias de usuario.

En las primeras 5 semanas se observa un incremento sobre la línea azul, lo que indica un retraso en el proyecto, como consecuencia de la falta de información sobre las especificaciones del equipo de ecografía obstétrica. Una vez recolectada la información necesaria para el desarrollo, se incrementaron las horas de trabajo hasta alcanzar la curva de trabajo esperada.

Capítulo 5: Resultados

5.1 Objetivos vs Resultados

5.1.1 Definir las reglas de inferencia propias del sistema experto.

Para determinar el cumplimiento de este objetivo, se realizó una evaluación sobre las características que poseen las reglas de inferencia, desarrolladas en este Trabajo Especial de Grado, en comparación con la estructura de un sistema experto similar (MYCIN) .

La primera evaluación que se realizó, fue que las reglas cumplieran con el Modus Ponens Incierto. (Ver Apéndice A.2.5) y con el tipo de encadenamiento. (Ver Apéndice A.2.6).

Basado en las características planteadas anteriormente se determinó que los tres archivos de reglas desarrolladas para el Proyecto Hera, por trimestre, cumplen con la incorporación del Modus Ponens para la inferencia de los resultados del diagnóstico, así como también el uso de encadenamiento hacia delante para la incorporación de hechos al sistema.

5.1.2 Definir de los patrones de reconocimiento de características físicas del desarrollo embrionario del bebe.

Con el fin de cumplir el objetivo planteado, se realizaron estudios sobre los informes ecográficos por trimestre en la Unidad de Ecosonografía del Instituto Venezolano de los Seguros Sociales (Clínica Maternidad Santa Ana), así como la utilización de las tablas de biometría fetal para determinar los rangos de valores de cada una de las mediciones.

Esto produjo como resultado la definición y representación gráfica en árboles de decisión, de los parámetros que se utilizan para el cálculo de la edad gestacional, peso fetal, posibles anomalías y fecha probable de parto. (Ver Figuras en Análisis de Patrones y Parámetros del Crecimiento Embrionario, Página 29)

5.1.3 Evaluar y seleccionar las técnicas de comunicación entre el ecosonograma y el software, así como también la herramienta de desarrollo.

El resultado obtenido del presente objetivo fue la determinación del uso de un dispositivo móvil capaz de utilizar una tarjeta de memoria *Secure Digital (SD)* y que permita la conexión a través de un cable USB, con el fin de poder ser reconocido por el equipo ecográfico como un dispositivo de almacenamiento.

5.1.4 Desarrollar e implementar las métricas correspondientes para el envío de información a través de los dispositivos móviles.

Para lograr este objetivo, se obtuvo como resultado un módulo de distribución de información que permite a los usuarios, dependiendo de su rol, compartir los expedientes de los pacientes con aquellos usuarios que posean la aplicación final del Proyecto *Hera* en un dispositivo móvil con la plataforma *Android*.

La herramienta permite a los usuarios ingresar el correo electrónico de la persona con la cual se desea compartir la información, otorgándole permisos de visualización sobre su expediente médico. Esta funcionalidad permitió a las madres expectantes compartir la información de su estudio ecográfico con aquellos familiares que no pueden estar presentes al momento de la evaluación.

5.1.5 Evaluar y seleccionar el dispositivo móvil.

El resultado obtenido para el presente objetivo fue la determinación de *Android* como plataforma móvil a utilizar en este Trabajo Especial de Grado. Esta plataforma ofrece varias ventajas como: un sistema operativo *Open Source*; manejo de los archivos del ecosonograma por parte del usuario sin necesidad de liberación del equipo; acceso económico y fácil a los dispositivos, ya que la plataforma es utilizada por varios fabricantes de dispositivos móviles; y expansión del producto del Proyecto *Hera* a través del

mercado de aplicaciones de *Android*, sin necesidad de incurrir en algún costo económico adicional.

5.1.6 Evaluar las métricas relacionadas al crecimiento embrionario del bebe por trimestre.

Con el fin de cumplir el objetivo planteado, se realizaron estudios sobre las estructuras fetales que determinan el crecimiento embrionario semanal a lo largo del embarazo.

Esto produjo como resultado la definición de los parámetros utilizados en el módulo de pronósticos, con el fin de permitir el cálculo de las mediciones en base a los valores de la semana actual y la semana en la cual se desea el pronóstico .

5.1.7 Desarrollar un sistema experto móvil que permita el análisis de los patrones y genere una simulación del crecimiento del bebe.

El desarrollo de las funcionalidades para realizar este objetivo, resultó en una aplicación móvil que permite a los usuarios la extracción directa, desde el equipo de ecografía obstétrica, de la información correspondiente al estudio realizado y, la posterior evaluación de las mediciones y emisión de diagnósticos.

5.1.7.1 Resultados de las pruebas de diagnóstico

Para determinar el éxito de la emisión de los diagnósticos se ejecutaron pruebas con tres pacientes de la Clínica Santa Ana, cada una con un embarazo en los diferentes trimestres. (Ver Iteración 8)

Resultados paciente del primer trimestre

En el cálculo de la edad gestacional según el diámetro medio del saco gestacional se observó que el resultado de la edad gestacional está acorde a los valores de la biometría fetal (Teoría) y a los valores emitidos por el gestograma del experto. Sin embargo, con la medición de edad gestacional según la longitud cráneo-caudal se pudo observar una pequeña diferencia entre los valores emitidos por el sistema, los valores teóricos y los valores del experto. Esto se debe a que la paciente puede poseer algún factor externo (alimentación, genética, entre otros) que influyen en el crecimiento del feto.

Resultados paciente del segundo trimestre

En el cálculo de la edad gestacional según las mediciones realizadas , se observó que el resultado de la edad gestacional está acorde a los valores teóricos, pero posee una pequeña diferencia entre los valores emitidos por el experto. Esto se debe a que la paciente puede poseer algún factor externo (alimentación, genética, entre otros) que influyen en el crecimiento del feto.

Resultados paciente del tercer trimestre

En el cálculo de la edad gestacional según las mediciones realizadas , se observó que los resultados no concordaban entre sí. Esto se debe a que la paciente posee una placenta previa, lo que significa que esta se encuentra

adherida a una pared del útero, cubriendo el espacio de la cérvix, y por lo cual el espacio de crecimiento del feto se ve afectado.

5.1.7.2 Resultados de las pruebas de pronóstico

Basado en los resultados obtenidos en la iteración 9, se pudo determinar que la mayoría de las mediciones pronosticadas por el sistema coincidían con las mediciones teóricas y las mediciones obtenidas de los estudios ecográficos de las pacientes.

En aquellos casos en los cuales la diferencia fue significativa, se verificaron las mediciones con el experto y se llegó a la conclusión de que pueden existir factores externos que afecten el crecimiento embrionario del feto. A raíz de esto se recomendó un control más estricto para descartar Retraso del Crecimiento Intrauterino (RCIU).

Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

Una vez obtenidos los resultados del proyecto, y luego de haber sido analizados se pueden obtener las siguientes conclusiones:

1. El Proyecto *Hera* cumple con las características de los sistemas expertos, las cuales son:
   a. Posee la capacidad de emular el conocimiento y aprendizaje del experto humano.
   b. Es capaz de justificar las decisiones y resultados obtenidos.
   c. Puede razonar a partir de datos inconclusos o inciertos.
2. El módulo de aprendizaje permite a los ingenieros de conocimiento, ingresar de manera sencilla y rápida el nuevo conocimiento que utilizará el sistema experto.
3. Se observó que los equipos de ecografía médica *Logiq P5* presentan numerosas ventajas, entre ellas:
   a. Reconocimiento de cualquier dispositivo de almacenamiento para la extracción de la información.
   b. Está diseñado para permitir a los usuarios la transferencia de la información de la paciente seleccionada, incluyendo las imágenes y videos provenientes de la evaluación realizada.

4. El uso del dispositivo móvil con plataforma *Android* fue el más adecuado ya que permitió guardar y manipular los archivos provenientes del equipo ecográfico, sin necesidad de liberar el equipo.
5. Al seleccionar *Android* como plataforma, se tomó en cuenta un aspecto sumamente importante que es la futura expansión del proyecto, por lo cual se diseño y desarrolló el cliente móvil, para que cumpliera con las pantallas de cualquier dispositivo.
6. La evaluación de las métricas permitió realizar un pronóstico teóricamente certero, dentro de los percentiles de crecimiento del embarazo .
7. A través del módulo de pronósticos, las pacientes pueden tener un mayor dominio de la información sobre el crecimiento del feto a lo largo de los diferentes trimestres.
8. Otro de los aspectos importantes que produce el módulo de pronósticos, es la capacidad de organizar aspectos importantes de su vida cotidiana en base a los pronósticos semanales Esto es debido a que, a diferencia de otros sistemas, esta información es calculada específicamente con las mediciones de la paciente.
9. El Proyecto *Hera* pudo emular el proceso de pensamiento y emisión del diagnósticos del experto en la mayoría de los casos, lo cual otorgó un gran nivel de credibilidad y aceptación entre los usuarios de la aplicación móvil; esto puede contribuir a aumentar la confianza de los usuarios en los sistemas médicos certificados y, a la creación de iniciativas tecnológicas enfocadas a la medicina para mejorar la calidad de vida del paciente.

10. Con respecto al cálculo de los pronósticos, se pudo observar en algunos casos una discrepancia entre los valores obtenidos por el equipo ecográfico y las mediciones emitidas por el sistema. Esto se debe a que estas medidas son calculadas sin tomar en cuenta los factores externos que afectan a un embarazo, como son la genética, la alimentación, la bebida, diabetes entre otras ; las cuales se han demostrado que pueden aumentar o disminuir el crecimiento embrionario.

6.2 Recomendaciones

1. Desarrollar e implementar un módulo integrado con el Proyecto *Hera*, con el fin de permitir la evaluación de embarazos de alto riesgo.
2. Incorporar al sistema los estudios de cribado prenatal de cromosomopatías y amniocentesis, para la detección precisa de problemas genéticos fetales.
3. Diseñar y desarrollar un módulo de realidad virtual que permita la visualización de las imágenes y video, extraídas del equipo obstétrico, de manera dinámica e interactiva.
4. Desarrollar clientes móviles del Proyecto *Hera*, en aquellas plataformas que permitan guardar y manipular la información extraída del equipo obstétrico.
5. Evaluar y determinar la posibilidad del uso de diferentes equipos de ecografía médica, así como también versiones recientes o antiguas de los equipos *LOGIQ*.
6. Evaluar el uso de los sistemas expertos en otras áreas de la medicina.

7. Contribuir activamente con la incorporación de tecnología en el área de medicina, con el fin de lograr un mejor calidad de vida de los pacientes.

Referencias Bibliográficas

Albaladejo, X. (2008). *ProyectosAgiles.org*. Consultado el Marzo de 2011 de ProyectosAgiles.org: http://www.proyectosagiles.org/que-es-scrum

Allen, A. O. (1994). *Computer Performance Analysis with Mathemat*. Academic Press.

Alvarez, J. M. (2008). *SlideShare*. Consultado el 20 de Abril de 2011 de SlideShare, Inc: http://www.slideshare.net/Jmaquino/dispositivos-moviles

ArcGis Resource Center. (n.d.). *Rendimiento de aplicaciones móviles*. De Esri: http://resources.arcgis.com/es/content/enterprisegis/10.0/mobile_performance

Auza, J. (03 de 03 de 2011). *Android vs iOS Developer's Perspective*. De Tech Source: http://www.junauza.com/2011/03/android-vs-ios-developers-perspective.html

Barco Gómez, C. (2004). *Elementos de Lógica*. Manizales, Colombia: Editorial Universidad de Caldas.

Brookside Associates. (2008). *1st Trimester Ultrasound Scanning*. Consultado el 24 de 09 de 2011 de Medical Education Division, Brookside Associates, Ltd.: http://www.brooksidepress.org/Products/OBGYN_101/MyDocuments4/Ultrasound/1st_trimester_ultrasound_scannin.htm

Brookside Associates. (2009). *Military Obstetrics & Gynecology*. Consultado el 20 de 09 de 2011 from Brookside Associates: www.brooksidepress.org/Products/Military_OBGYN/Forms1/UltrasoundMeasurements.doc

Cabero, L., Saldívar, D., & Cabrillo, E. (2007). *Obstetricia y Medicina Materno-Fetal*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana S.A.

Callen, P. W. (2009). *Ecografía en Obstetricia y Ginecología*. Elsevier, España: Masson.

Canalys. (2011). *Android takes almost 50% share of worldwide smart phone market* . Palo Alto: Canalys.

Comino Delgado, R., & López García, G. (2004). *Obstetricia y Ginecología*. España: Gaybán Gráfic.

Cooke, R., Vandenplas, I., & Wahn, U. (2006). *Nutrition Support for Infants and Children at Risk*. Berlín, Alemania:Karger.

Díaz F, V., & Jaramillo G, G. (2002). *Medicina tradicional, acercándonos más a la comunidad*. De Facultad de Medicina UACH: http://medicina.uach.cl/saludpublica/diplomado/contenido/trabajos/1/Valdivia%202002/Medicina_tradicional.pdf

Díaz, D. G. (2011). *Dr. Gonzalo E. Díaz M.* Consultado el 21 de Febrero de 2011 de Dr. Gonzalo E. Díaz M.: http://www.drgdiaz.com/eco/ecografia/ecografia.shtml#Principio de la ecografía

Diez Pino, R., Gómez Gómez, A., & De Abajo Martínez, N. (2001). *Sistemas expertos, redes neuronales artificiales y computación evolutiva.* Oviedo, España: Universidad de Oviedo.

Díez, F. (2003). *Introducción al Razonamiento Aproximado.* Consultado el 24 de 09 de 2011 de UNED: http://exordio.qfb.umich.mx/archivos%20PDF%20de%20trabajo%20UMSNH/POESIA/razaprox%20Libro%20muy%20%20bueno%20aproximaci%C3%B3n%20a%20la%20serteza.pdf

Dos Ideas. (2011). *Scrum.* De Dos ideas: www.dosideas.com

Engel, B. (2011). *Building Expert Systems.* Consultado el 18 de 09 de 2011 de Purdue University: https://engineering.purdue.edu/~engelb/abe565/es.htm

Fernández , G. (28 de 11 de 2004). *Representación del conocimiento en sistemas inteligentes.* De Grupo de Sistemas Inteligentes: http://www.gsi.dit.upm.es/~gfer/ssii/rcsi/rcsisu14.html

FierceMarkets. (3 de Marzo de 2010). *FierceMarkets.* Consultado el 10 de Julio de 2011 de FierceMarkets: http://www.fiercehealthcare.com/press-releases/physicians-will-

expand-range-mobile-activities-include-administrative-and-patient-c-o

García Higuera, A., & Castillo García, F. J. (2007). *CIM: El computador en la automatización de la producción*. La Mancha, España: Ediciones Universidad de Castilla-La Mancha.

Gregori, F. A. (2005). *Universidad de Alicante*. Consultado el 10 de Julio de 2011 de Department of Science of the Computation and Artificial Intelligence:

http://www.dccia.ua.es/dccia/inf/asignaturas/FIA/apuntesse.pdf

Harmon, P., & King, D. (1985). *Expert Systems: Artificial Intelligence in Business*. USA: John Wiley & Sons Inc.

Herrera, E., Pavia, C., & Yturriaga , R. (1995). *Crecimiento*. España: Ediciones Días de Santos S.A.

Hochstätter Arduz, E. (2004). *Macrosomía fetal y su relación con la ganancia del peso materno*. Bolivia: Universidad del Valle.

Keats, T., & Sistrom, C. (2002). *Atlas de medidas radiológicas*. Madrir, España: Elsevier Sciente Imprint.

Kurjak, A., & Carrera, J. M. (2008). *Ecografía en diagnóstico prenatal*. Barcelon, España: Elsevier Masson.

Kurjak, A., & Chevernak, F. (2008). *Ecografía en Obstetricia y Ginecología* (Vol. II). Nueva Delhi, India: Jaypee Brothers Medical Publisher.

Manhattan Research. (12 de Mayo de 2011). *Business Wire*. Consultado el 11 de Junio de 2011 de Business Wire: http://www.businesswire.com/news/home/20110512005526/en/Manhattan-Research%E2%80%99s-Pulse%C2%AE-Global-Series-Reveals-Significant

Mendoza, E. (29 de Noviembre de 2008). *MYCIN*. Consultado el 20 de Junio de 2011 de Sistemas expertos: http://se0308.blogspot.com/

Mendoza, G., & Aller, J. (21 de Octubre de 2010). *Scribd*. Consultado el 5 de Marzo de 2010 de Scribd Inc: http://www.scribd.com/doc/39850210/Cap-3

Miller, G. G. (2001). *The Characteristics of Agile Software Processes*. Boston: TogetherSoft .

Mountain Goat Software. (2005). *Mountain Goat Software*. Consultado el 1 de Agosto de 2011 de Mountain Goat Software: http://www.mountaingoatsoftware.com/

Nachenberg, C. (06 de 2011). *A window into mobile device security: Examining the security approaches employed in Apple's iOS and Google Android"*. Consultado el 09 de 09 de 2011 de Symantec: http://www.symantec.com/content/en/us/about/media/pdfs/symc_mobile_device_security_june2011.pdf?om_ext_cid=biz_socmed_twitter_facebook_marketwire_linkedin_2011Jun_worldwide_mobilesecuritywp

Nyberg, D., McGahan , J., Pretorius, D., & Pilu, G. (2003). *Diagnostic Imaging of Fetal Anomalies.* Philadelphia, EEUU: Lippincott Williams & Wilkins.

Pino Diez, R., Gómez Gómez, A., & De Abajo Martínez, N. (2001). *Introducción a la Inteligencia Artificial: sistemas expertos, redes neurales artificiales y computación evolutiva.* Oviedo, España: Universidad de Oviedo.

Prieto, J. L. (2009). *Ginecología y Obstetricia. Manual de consulta rápida.* Buenos Aires, Argentina: Editorial Médica Panamericana.

Rossavik, I. K., Torjusen, G. O., & Gibbons, W. E. (06 de 1988). *Conceptual age and ultrasound measurements of gestational sac and crown-rump length in in vitro fertilization pregnancies.* Retrieved 14 de 09 de 2011 from BioInfo Bank Library: http://lib.bioinfo.pl/auid:843570

Rumack-Wilson, C. (1999). *Diagnóstico por ecografía.* St. Louis: Marban Libros.

Salazar Serrudo, C. (2003). *Facultad de Ciencias y Tecnología (UMSS).* Consultado el 29 de Julio de 2011 de Facultad de Ciencias y Tecnología (UMSS): http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/269/publicacion/IntSE.pdf

Schmidt, W., & Hendrik, H. (1985). *Fetal femur length in the 2d and 3d trimester of pregnancy.* Consultado el 25 de 09 de 2011 de National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3884434

Stair, R. M., & Reynolds, G. W. (2000). *Principios de Sistemas de Información* (Vol. 4). Ciudad de México, México: Thomson Learning.

Van Laerhoven, K. (23 de 01 de 2003). *Project report for Industrial Applications of AI*. Consultado el 18 de 09 de 2011 de School of Computing and Communications, Lancaster University. : http://www.comp.lancs.ac.uk/~kristof/research/notes/clipsvsjess/index.html