



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMPUTACIÓN

iCare: Sistema ubicuo de monitoreo y cuidado personal

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE
CÓMPUTO CON OPCIÓN EN SISTEMAS DIGITALES

P R E S E N T A:

Ing. Vianney Tambonero Xixitla

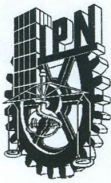
Directores de tesis:

Dr. José Giovanni Guzmán Lugo
Dr. Luis Pastor Sánchez Fernández

Mexico, D.F.

Julio 2013





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 12:30 horas del día 31 del mes de mayo de 2013 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del:

Centro de Investigación en Computación

para examinar la tesis titulada:

"iCare: Sistema ubicuo de monitoreo y cuidado personal"

Presentada por el alumno:

TAMBONERO

Apellido paterno

XIXITLA

Apellido materno

VIANNEY

Nombre(s)

Con registro:

A	1	1	0	8	7	4
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE CÓMPUTO CON OPCIÓN EN SISTEMAS DIGITALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de Tesis

Dr. Luis Pastor Sánchez Fernández

Dr. José Giovanni Guzmán Lugo

Dr. Sergio Suárez Guerra

Dr. Marco Antonio Moreno Ibarra

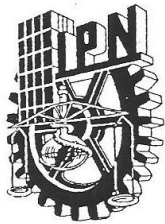
Dr. Rolando Menchaca Méndez

M. en C. Sandra Dinora Orantes Jiménez

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Luis Alfonso Villa Vargas

DIRECCION



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 03 del mes Junio del año 2013, la que suscribe Vianney Tambonero Xixitla alumna del Programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Cómputo con número de registro A110874, adscrito a Centro de Investigación en Computación, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. José Giovanni Guzmán Lugo y Dr. Luis Pastor Fernández Sánchez y cede los derechos del trabajo intitulado iCare: Sistema ubicuo de monitoreo y cuidado personal, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección viannne@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Vianney Tambonero Xixitla

Resumen

Una de las líneas de investigación de la computación ubicua está centrada en cómo las tecnologías, especialmente de la comunicación y la información pueden ayudar a mejorar los sistemas para el cuidado de la salud.

De manera general, estas tecnologías podrían permitir que información sobre una variedad de datos como valores de signos vitales, datos clínicos, entre otros, puedan estar disponibles en cualquier momento, desde cualquier lugar y por cualquier persona que este autorizada, lo que haría más eficiente la prestación de los servicios de salud. Inclusive la computación ubicua puede verse como la evolución de lo que hoy en día se conoce como tele-salud.

Este trabajo de tesis propone un sistema para mejorar el cuidado de la salud del usuario, a través del monitoreo intermitente de sus signos vitales, recolección de información de contexto y cálculo de su riesgo cardiovascular. El modelo de arquitectura del sistema propone, el uso de un dispositivo médico portátil que actúe como fuente de datos de un signo vital (frecuencia cardíaca) y un dispositivo inteligente móvil con sistema operativo Android como consumidor de estos datos. Además se contempla el uso de un modelo de inteligencia artificial para generar un esquema de alarmas, sobre posibles anormalidades en el signo vital monitoreado.

El sistema diseñado y caracterizado en esta tesis sienta las bases para el desarrollo de un sistema ubicuo que contempla un mayor número de dispositivos médicos portátiles, por ejemplo, el baumanómetro, el tensiómetro, el glucómetro, la báscula, entre otros. La adición de nuevos dispositivos médicos podría permitir la obtención de valores en tiempo real de otros signos vitales o bien los valores de factores de riesgo cardiovascular importantes, como la presión arterial o niveles de glucosa en la sangre. Lo anterior podría permitir interpretaciones más precisas sobre el estado de salud del usuario o bien llegar a concebir escenarios de monitoreo social o participativo.

Abstract

One of the lines of research of ubiquitous computing, is focused in how technologies, especially information and communication can help improve the health care systems.

In general, these technologies could allow that information on a variety of data such as vital signs, clinical data values, among others, may be available anytime, anywhere and by anyone that this authorized, which would make more efficient the delivery of health services. Even the ubiquitous computing may look like the evolution of what today is known as telehealth.

This thesis proposes a system to improve health care user, through intermittent monitoring vital signs, context information collection and calculation of their cardiovascular risk. The system architecture model proposes the use of a portable medical device that acts as a source of vital signs data (heart rate) and a mobile smart device with Android OS as a consumer of this data. Further is contemplated the use of an artificial intelligence model to generate a scheme of alarms on likely abnormalities in the vital signs monitored.

The system designed and characterized in this thesis lays the groundwork for the development of a ubiquitous system that provides for a greater number of portable medical devices, for example, the blood pressure monitor, weight scale, among others. The addition of new medical devices could allow obtaining values in real time of other vital signs, either the values cardiovascular risk factors, such as blood pressure or blood glucose levels. This could allow more precise interpretations on the state of health of the user either reaching conceive scenarios of monitoring social or participatory.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante mis estudios de maestría en el Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional.

Al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) Del Instituto Politécnico Nacional. Por haber apoyado a través de una beca como parte de los trabajos realizados en el contexto de esta tesis.

Al Instituto Politécnico Nacional por la Beca Institucional otorgada con la finalidad de concluir este trabajo.

Al Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional, por proporcionar las bases y guía para la realización de este trabajo.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California por el recibimiento para la realización de mi estancia académica.

A la Unidad de Medicina Familiar Núm. 20 de Cuernavaca, Morelos, por las facilidades otorgadas para el desarrollo de esta tesis.

A mis directores de tesis, el Dr. Jose Giovanni Guzmán Lugo y el Dr Luis Pastor Sánchez Fernández por su apoyo y guía para concluir este trabajo de tesis. Así como al Dr. Rolando Menchaca Mendez por su apoyo y enseñanzas.

A mi Dios, mi familia, amigos y compañeros de laboratorio . . .

El presente trabajo se desarrolló como parte del proyecto de investigación ICyTDF-IPN titulado “Sentient City: Algoritmos y Arquitecturas Distribuidas de Monitoreo Colaborativo Multiescala”.

Acrónimos, abreviaturas y siglas

ADT	Android Developer Tools.....XVII
BAN	Red de área corporal.....26
CONAPO	Consejo Nacional de Población.....5
CENETEC	Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud.....22
CARA	Context-Aware Real-Time Assistant (<i>Asistente en tiempo real sensible al contexto</i>).....25
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance....57
ECG	Electrocardiograma.....24
FC	Frecuencia Cardíaca.....40
FRCV	Factores de riesgo cardiovascular.....36
HCI	Human Computer Interaction (<i>Interacción Humano - Computadora</i>).....15
HDL	Lipoproteínas de Alta Densidad.....37
HDP	Health Device Profile (<i>Perfil para Dispositivos Médicos</i>)..xv
HF	Alta frecuencia.....40
HVL	Hipertrofia Ventricular Izquierda.....111
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.....4
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.....55
IMC	Índice de Masa Corporal.....35
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social.....139
LF	Baja frecuencia.....40
LLC	Control Lógico de enlace.....56

LVQ	Learning Vector Quantization (<i>Aprendizaje por Cuantificación Vectorial</i>).....	XV
MED WG	Medical Device Working Group	55
MCAP	Multi-Channel Adaptation Protocol (<i>Protocolo de Adaptación Multicanal</i>)	55
MAC	Control de Acceso al Medio	56
NN50	Número de diferencias entre intervalos R-R adyacentes, mayores de 50 ms.	41
OMG	Organización Mundial de la Salud	XIX
OSI	Open System Interconnection (<i>Interconexión de Sistemas Abiertos</i>)	54
PEPS-II	Perfil de estilo de vida promotor de la salud	36
PVC	Contracción ventricular prematura	24
PDA	Personal Digital Assistant (<i>Asistente Digital Personal</i>)....	55
PC	Computadora Personal.....	55
PNN50	Porcentaje del total de las diferencias entre los intervalos R-R adyacentes, mayores de 50 ms.....	41
RHR	Frecuencia Cardíaca en Reposo-Rest Heart Rate	42
RMSSD	Raíz cuadrada del promedio de la suma de las diferencias al cuadrado, entre intervalos R-R adyacentes.....	41
SPP	Serial Port Profile (<i>Perfil de Puerto Serie</i>)	55
SSA	Secretaría de Salud	4
SNA	Sistema Nervioso Autónomo	40
SIG	Special Interest Group	54
SDNN	Desviación estándar de todos los intervalos R-R.....	41
SDANN	Desviación estándar de los promedios de intervalos R-R ...	41
SOM	Self Organizing Map (<i>Mapa de Auto-organización</i>)	48
TIC's	Tecnologías de la información y comunicación	17
TPM	Topology Preserving Map.....	48

UML	Unified Modeling Language (<i>Lenguaje de Modelado Unificado</i>)	14
VFC	Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca	40
WLAN	Wireless Local Area Network (<i>Redes Inalámbricas de Área Local</i>)	54
WTP	Eclipse Web Tools Plataform	178

Índice general

Resumen	I
Abstract	III
Agradecimientos	V
Acrónimos, abreviaturas y siglas	VII
Índice de figuras	XVII
Índice de tablas	XX
Índice de listado de código	XXI
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	3
1.1.1. Enfermedades cardiovasculares y servicios de salud en México	3
1.1.2. Proyecciones poblacionales	5
1.1.3. Costo económico de las enfermedades cardiovasculares .	6
1.1.4. Dispositivos móviles	6
1.2. Planteamiento del problema	9
1.3. Metodología de la investigación	9
1.3.1. Solución propuesta	9
1.3.2. Metodología de desarrollo	10
1.4. Justificación	10
1.5. Hipótesis	11
1.6. Objetivos	12
1.6.1. Objetivo general	12

1.6.2. Objetivos específicos	12
1.7. Alcances	12
1.8. Limitaciones	13
1.9. Contribuciones del trabajo	13
1.10. Organización de la tesis	14
2. Estado del arte	15
2.1. Introducción	15
2.2. Computación ubicua	16
2.2.1. Definiciones	16
2.2.2. Visión general de los retos de la computación ubicua	18
2.3. Computación ubicua en cardiología	20
2.4. Trabajos relacionados	23
2.4.1. Arquitecturas propuestas	23
2.4.2. Los factores de riesgo	27
2.4.3. Interfaz humano-Computadora	28
2.5. Conclusiones del estado del arte	29
3. Marco teórico	31
3.1. Introducción	31
3.2. Enfermedades cardiovasculares	32
3.2.1. Arritmias	32
3.2.2. Factores de riesgo personales no modificables	33
3.2.3. Factores de riesgo modificables	34
3.2.4. Índice de Framingham	38
3.2.5. Frecuencia cardíaca	40
3.3. Aprendizaje máquina	44
3.3.1. Redes neuronales	44
3.3.2. Lógica	51
3.3.3. Árboles de decisión	52
3.4. Infraestructuras de comunicación	54
3.4.1. Bluetooth	54
3.4.2. IEEE 802.11	56
3.5. Sensores fisiológicos	58
3.5.1. Sensor de frecuencia cardíaca	59
3.6. Sensores de contexto	60
3.6.1. Acelerómetros	60

4. Análisis y diseño	63
4.1. Arquitectura de la aplicación	64
4.1.1. Diseño conceptual	64
4.1.2. Arquitectura iCare	65
4.2. Obtención de requerimientos	66
4.2.1. Identificación de actores	66
4.2.2. Escenarios	68
4.2.3. Especificación de requisitos	72
4.3. Análisis	76
4.3.1. Casos de uso <i>iCare</i>	76
4.3.2. Casos de uso <i>iCare</i> del lado del servidor web	82
4.3.3. Modelo de dominio	88
4.3.4. Diagrama de secuencia	90
4.3.5. Diagrama de actividades	96
4.4. Diseño	102
4.4.1. Diagrama de clases	102
4.4.2. Descomposición de subsistemas	105
4.4.3. Diseño interfaz usuario <i>iCare</i> para móviles	107
4.4.4. Diseño interfaz usuario <i>iCare</i> para la aplicación Web	108
4.5. Diseño base de datos	110
4.5.1. Modelo Entidad-Relación	110
5. Implementación	115
5.1. Hardware y software de desarrollo	115
5.1.1. Software	115
5.1.2. Hardware	116
5.2. Especificación de estándares	117
5.3. Comunicación entre dispositivos	117
5.4. Gestión de dispositivos médicos	119
5.5. Gestión de perfiles	122
5.6. Gestión de la monitorización	125
5.6.1. Análisis de datos fisiológicos	125
5.6.2. Análisis de datos de contexto	126
5.6.3. Cálculo de riesgo cardiovascular	127
5.6.4. Módulo de toma de decisiones	127
5.6.5. Almacenamiento de datos	131
5.7. Gestión de archivos de respaldo	133
5.8. Desarrollo de prototipo	134

5.8.1. Ambiente	135
5.8.2. Mapa de navegación general de iCare	137
6. Pruebas y resultados	139
6.1. Introducción	139
6.2. Hardware de pruebas	140
6.3. Módulos de la aplicación iCare	141
6.3.1. Partición equivalente	142
6.3.2. Pruebas funcionales	147
6.4. Resultados del prototipo	149
6.4.1. Búsqueda de dispositivos Bluetooth	149
6.4.2. Estableciendo las preferencias del usuario	150
6.4.3. Monitoreo	153
6.5. Otros resultados	155
6.5.1. Repositorio de enfermedades cardiovasculares	155
6.5.2. Aprendizaje máquina	157
6.5.3. Obtención de datos clínicos	158
7. Conclusiones y trabajos futuros	159
7.1. Logros y aportaciones	159
7.2. Trabajos futuros	160
Referencias bibliográficas	161
Glosario	167
Apéndices	173
A. Configuración del ambiente de trabajo	173
B. Diagramas de Casos de uso	185
C. Especificaciones del dispositivo médico	189
D. Datos clínicos	191

Índice de figuras

1.1. Principales causas de mortalidad en edad posproductiva (65 años y más) en México 2008[SINAIS, 2011]	4
1.2. Esperanzas de vida al nacimiento por sexo.	5
1.3. Gráfica diferentes versiones Android.	8
1.4. Diagrama de bloques de la metodología usada	10
2.1. Arquitectura uCare	24
2.2. Red de bayesiana del módulo de fusión de datos fisiológicos y de contexto	25
2.3. Arquitectura del sistema CARA	26
2.4. Diagrama de flujo para la prevención de enfermedades cardíacas	27
2.5. Diagrama de flujo del algoritmo para la detección de picos . .	29
3.1. Dependencia de los eventos de falla cardíaca y muerte súbita cardíaca sobre la frecuencia cardíaca en reposo dividida en cuartiles o quintiles, solo se incluyen hombres de 35 años en adelante en el estudio de corazón de Framingham.	43
3.2. Arquitectura de la red Learning Vector Quantization (<i>Aprendizaje por Cuantificación Vectorial</i>) (LVQ) de Kohonen	49
3.3. Estructura de un árbol de decisión	53
3.4. Modelo de protocolo Health Device Profile (<i>Perfil para Dispositivos Médicos</i>) (HDP)	56
3.5. Ejemplo de sesión de enlace	59
3.6. Formato básico del mensaje.	60
3.7. Los tres ejes de rotación etiquetados con X (Balance), Y (Inclinación), Z (Orientación)	61
4.1. Diagrama conceptual del sistema <i>iCare</i>	64
4.2. Arquitectura del sistema iCare	65

4.3.	Diagrama de caso de uso: <i>iniciarAplicacion iCare</i> en el dispositivo móvil	77
4.4.	Diagrama de caso de uso: <i>iniciarMonitoreo</i> en el dispositivo móvil.	79
4.5.	Diagrama de caso de uso: <i>iniciarRespaldo</i>	81
4.6.	Casos de uso de la aplicación del lado del servidor Web	87
4.7.	Diagrama de modelo de dominio de <i>iCare</i>	88
4.8.	Diagrama de secuencia del caso de uso <i>iniciarAplicacion</i> . . .	90
4.9.	Diagrama de secuencia del caso de uso <i>iniciarMonitoreo</i>	91
4.10.	Diagrama de secuencia del caso de uso <i>iniciarRespaldo</i>	92
4.11.	Diagrama de secuencia del caso de uso <i>configurarAplicacion</i> .	93
4.12.	Diagrama de secuencia del caso de uso <i>configurarPerfil</i>	94
4.13.	Diagrama de secuencia del caso de uso <i>consultarHistorial</i> . . .	95
4.14.	Diagrama de actividades <i>iniciarAplicacion</i>	96
4.15.	Diagrama de actividades <i>iniciarMonitoreo</i>	97
4.16.	Diagrama de actividades <i>iniciarRespaldo</i>	99
4.17.	Diagrama de actividades aplicación <i>iCare</i> del lado del servidor Web	100
4.18.	Diagrama(superior) de clases de la aplicación <i>iCare</i> para el dispositivo móvil.	103
4.19.	Diagrama(inferior) de clases de la aplicación <i>iCare</i> para el dispositivo móvil.	104
4.20.	Diagrama de paquetes de la aplicación <i>iCare</i>	105
4.21.	Diagrama de paquetes de la aplicación <i>iCare</i>	107
4.22.	Diagrama de organización de sitio para la aplicación Web. . .	108
4.23.	Pantalla inicial de aplicación Web.	109
4.24.	Diagrama del modelo de la base de datos para <i>iCare</i> del lado del servidor Web.	114
5.1.	Dispositivo de monitoreo de frecuencia cardíaca	116
5.2.	Diagrama de comunicación con el dispositivo de monitoreo de frecuencia cardíaca	117
5.3.	Vista correspondiente a la búsqueda y selección de dispositivos médicos descubiertos	120
5.4.	Diagrama de gestión de perfiles	122
5.5.	Diagrama gestión de la monitorización.	125
5.6.	Nodos del árbol de decisión y sus atributos.	128
5.7.	Árbol de decisión parcial	130

5.8. Esquema de gestión de Archivos.	133
5.9. Organización de elementos aplicación iCare	135
5.10. Vista correspondiente al menu principal de iCare	137
5.11. Diagrama general de la aplicación iCare	138
6.1. Solicitud de la aplicación iCare para habilitar el Bluetooth del dispositivo móvil	149
6.2. Establecimiento de preferencias del perfil de usuario	150
6.3. Edición de datos clínicos del usuario	151
6.4. Establecimiento de parámetros de la aplicación	152
6.5. Cálculo del riesgo cardiovascular	153
6.6. Monitorización de la frecuencia cardíaca	154
A.1. Configuración variable de entorno CATALINA_HOME	174
A.2. Configuración variable de entorno CLASSPATH	175
A.3. Configuración variable de entorno JAVA_HOME	175
A.4. Contenido de la carpeta raíz Android Developer Tools (ADT)	176
A.5. Agregar una librería externa a un proyecto en Android	178
A.6. Agregar un repositorio para la instalación de software	179
A.7. Software disponible para ser instalado	179
A.8. Arrancar servidor Apache Tomcat	180
A.9. Configuración del servidor Apache Tomcat en Eclipse	181
A.10. Importar el script SQL para la generación de la base de datos MySQL	183
D.1. Expediente clínico usuario con hipertensión	192
D.2. Expediente clínico de un usuario con diabetes	193
D.3. Expediente clínico de un usuario con diabetes (continuación)	194
D.4. Documento de consentimiento informado para la extracción de datos clínicos y toma de muestras.	196

Índice de tablas

1.1. Cuotas de mercado de sistemas operativos para dispositivos móviles[Gartner, 2010]	7
1.2. Distribución de las versiones de Android en dispositivos móviles a Junio del 2013 [Android, 2013]	8
2.1. Problemas que emergen de la computación ubicua	22
3.1. Prevalencia de factores de riesgo cardiovascular en individuos mayores a 20 años en México	34
3.2. Grado de obesidad según la Organización Mundial de la Salud (OMG) [Warrell et al., 2005]	35
3.3. Clasificación de riesgo cardiovascular Framingham	39
4.1. Descripción de eventos.	67
4.2. Escenario: <i>iniciarAplicacion</i>	68
4.3. Escenario: <i>iniciarRecepcionDatos</i>	69
4.4. Escenario: <i>analisisDatos</i> .	70
4.5. Escenario: <i>EnvioArchivosDatos</i> .	71
4.6. Especificación de requerimientos para la aplicación del dispositivo móvil	73
4.7. Especificación de requerimientos para la aplicación del lado del servidor	75
4.8. Caso de uso: <i>iniciarAplicacion</i> para el dispositivo móvil.	77
4.9. Diagrama del caso de uso: <i>iniciarMonitoreo</i> en el dispositivo móvil.	79
4.10. Caso de uso: <i>iniciarRespaldo</i> .	81
4.11. Caso de uso: <i>configurarAplicacion</i> Web iCare	83
4.12. Caso de uso: Configurar Perfil aplicación Web	85
4.13. Caso de uso: Consultar historial aplicación Web.	87

4.14. Descripción de la tabla DatosGenerales	110
4.15. Descripción de la tabla Usuario	111
4.16. Descripción de la tabla <i>ProfesionalSalud</i>	112
4.17. Descripción de la tabla <i>TutorUsuario</i>	112
4.18. Descripción de la tabla dispositivo	113
5.1. Especificación de estándares de codificación.	117
5.2. Frecuencia cardíaca en estado de reposo	126
5.3. Cálculo de la actividad física.	127
5.4. Tipo de riesgo cardiovascular según porcentaje de riesgo calculado	127
5.5. Tabla con datos de aprendizaje para el árbol de decisiones. . .	129
5.6. Tabla con datos de aprendizaje para el árbol de decisiones. . .	129
6.1. Especificaciones de dispositivo móvil empleado en las pruebas de la aplicación iCare	140
6.2. Módulos de la aplicación iCare	141
6.3. Clases de equivalencia para el cálculo de riesgo cardiovascular	143
6.4. Casos de prueba para el cálculo de riesgo cardiovascular . . .	144
6.5. Clases de equivalencia para el cálculo de toma de decisiones. .	145
6.6. Casos de prueba para el árbol de toma de decisión	146
6.7. Prueba funcional sobre los casos de uso	148
6.8. Selección de atributos.	155
6.9. Clasificación k-medias.	157
6.10. Clasificación con red de Kohonen.	157
B.1. Caso de uso extendido: <i>sincronizarPerfil</i>	185
B.2. Caso de uso: <i>configurarPerfil</i>	186
B.3. Caso de uso: <i>configurarAplicacion</i>	187
B.4. Caso de uso: <i>analizarDatos</i> para dispositivo móvil	188
D.1. Datos clínicos	195

Índice de listado de código

5.1. Búsqueda de dispositivos médicos	119
5.2. Conexión persistente con el dispositivo de mpnitoreo de frecuencia cardíaca	121
5.3. Código XML para la creación de preferencias	122
5.4. Método cálculo frecuencia cardíaca máxima	126
5.5. Clase que crea y maneja la tabla file	131
5.6. Fichero XML de la vista de menu principal iCare.	136
A.1. Verifica la instalación de MySQL	183

Capítulo 1

Introducción

Hoy en día, es difícil imaginar la vida del ser humano sin la intervención de las computadoras, que le faciliten realizar sus tareas cotidianas, más aún realizando actividades de control en la industria, interviniendo en papeles importantes como el de la comunicación en todas las escalas, o bien, en el área de ciencias de la salud como herramienta impredecible en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades como el cáncer.

Es por lo anterior, que el papel de una computadora en cualquier aspecto relacionado con los seres humanos, hace evidente que se establezca una relación de interdependencia cada vez más marcada. La computación ubicua está caracterizada principalmente por la integración de computadoras en objetos de la vida cotidiana y el ambiente, de tal forma que lleguen a ser invisibles, minúsculos y omnipresentes [Friedmann et al., 2001].

Una de las líneas de investigación del cómputo ubicuo está centrada en como las tecnologías, especialmente de la computación y la información, pueden ayudar a mejorar los sistemas para el cuidado de la salud en todo el mundo.

De manera general estas tecnologías pueden permitir que la información, es decir, la variedad de datos como pueden ser valores de signos fisiológicos, datos clínicos, entre otros, pueda estar disponible en cualquier momento, desde cualquier lugar y por cualquier persona que éste autorizada, lo que hace más eficiente la prestación de los servicios de salud. Por ejemplo, se puede reducir el número de tareas necesarias que debe realizar el profesional de la salud, además de alentar y motivar a los pacientes a tomar el control sobre sus necesidades de salud y estilo de vida[Varshney, 2009].

Adicionalmente, otro aspecto relevante es que con el paso del tiempo los costos en el cuidado de la salud se han incrementado significativamente, lo que ha despertado el interés tanto de la comunidad científica como la industrial para diseñar y desarrollar dispositivos portátiles de monitoreo de señales fisiológicas que actúen como vigilantes de la salud.

Es así como los recientes avances tecnológicos sobre el desarrollo de micro sensores, telas inteligentes, microelectrónica y comunicaciones inalámbricas impulsan la transformación del futuro del cuidado de la salud[Pantelopoulos, 2010].

En relación a lo anterior, la visión de los expertos del área de la salud sobre el uso de dispositivos portátiles para el monitoreo continuo o intermitente de señales fisiológicas, consideran que serán un punto crítico para el avance en la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades crónico degenerativas haciendo énfasis especial en las enfermedades del corazón[Philip, 2003].

1.1. Antecedentes

1.1.1. Enfermedades cardiovasculares y servicios de salud en México

La Secretaría de Salud afirma que las enfermedades no transmisibles y las lesiones predominan como causas de daño a la salud en México, estas enfermedades son más complejas y de tratamiento más costoso que, las infecciones comunes, la desnutrición y los problemas reproductivos, los cuales representaban en el siglo pasado, el perfil epidemiológico del país.

Para poder enfrentar los retos que representa este nuevo perfil, la Secretaría de Salud afirma que es necesario disponer de mayores recursos financieros para la salud, que permitan modernizar y ampliar la infraestructura sanitaria y capacitar recursos humanos para contar con mejores médicos con especialidades de alto nivel, y así atender las demandas relacionadas con los padecimiento crónico degenerativos y lesiones que afectan sobre todo a la población adulta.

Sin embargo, la inversión que México destina a los servicios públicos de salud es aproximadamente el 6.5 % de su Producto Interno Bruto (PIB) lo cual es una cifra inferior a las inversiones que hacen varios países de Latinoamérica que poseen economías similares o incluso inferiores a la de México. Lo anterior puede verse reflejado en el déficit de recursos materiales y humanos en el Sector Salud. Mientras que la Organización Mundial de la Salud recomienda que por cada 1000 habitantes se cuente con 2.9 médicos, en México se cuenta con 1.85 médicos por cada 1000 habitantes.

Aunado a los problemas de déficit en servicios de salud, se debe agregar que existen problemas de desigualdad en la distribución de estos servicios a lo largo y ancho del territorio, siendo los estados del sureste, las regiones rurales, las comunidades indígenas así como las zonas marginadas, las que se ven más afectadas con una mayor carencia de servicios médicos adecuados[SSA, 2007].

También es cierto que las enfermedades cardiovasculares se encuentran dentro de las primeras causas de muerte en México y en el resto del mundo. Tan solo en México más de 17 millones de mexicanos tiene un grado de hipertensión arterial y más del 60 % de ellos ignora que tiene dicho padecimiento[SSA, 2012].

El aumento de la esperanza de vida y la elevada frecuencia de los factores de riesgo, determinan de manera parcial el incremento de la prevalencia de enfermedades relacionadas al corazón y sus complicaciones, siendo uno de

los problemas más frecuentemente observados en la población Mexicana y de la cual se atiende diariamente a un elevado número de ciudadanos. La diabetes mellitus es una enfermedad crónica degenerativa que aunque no está clasificada dentro de las enfermedades cardiovasculares influye en ellas de manera indirecta.

Después de los 65 años de edad las tasas de mortalidad se incrementan considerablemente. La Figura 1.1 muestra las principales causas de muerte en México según fuentes proporcionadas por la Secretaría de Salud (SSA), elaborado a partir de datos de defunciones en el periodo 1979-2008 Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)/SS y de las proyecciones de la población de México para los años 2005 -2050 y una proyección retrospectiva 1990-2004.

Principales causas de mortalidad en edad posproductiva (65 años y más), 2008.					
Nacional					
Orden	Clave CIE 10a. Rev.	Descripción	Defunciones	Tasa ^{1/}	%
	A00-Y98	Total	292 027	4,880.2	100.0
1	E10-E14	Diabetes mellitus	37 509	626.8	12.8
2	I20-I25	Enfermedades isquémicas del corazón	37 380	624.7	12.8
3	I60-I69	Enfermedad cerebrovascular	20 327	339.7	7.0
4	J40-J44, J67	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	16 514	276.0	5.7
5	I10-I15	Enfermedades hipertensivas	9 521	159.1	3.3
6	K70, K72.1, K73, K74, K76	Cirrosis y otras enfermedades crónicas del hígado	8 966	149.8	3.1
7	J10-J18, J20-J22	Infecciones respiratorias agudas bajas	8 161	136.4	2.8
8	N00-N19	Nefritis y nefrosis	6 323	105.7	2.2
9	E40-E46	Desnutrición calórico protéica	6 136	102.5	2.1
10	C33-C34	Tumor maligno de tráquea, bronquios y pulmón	4 653	77.8	1.6

^{1/} Tasa por 100,000 habitantes
Fuente: Secretaría de Salud/Dirección General de Información en Salud.
Elaborado a partir de la base de datos de defunciones 1979-2008 INEGVSS
y de las Proyecciones de la Población de México 2005 - 2050, y proyección retrospectiva 1990-2004. CONAPO 2006.

Figura 1.1: Principales causas de mortalidad en edad posproductiva (65 años y más) en México 2008[SINAIS, 2011].

Como se puede observar, las enfermedades isquémicas del corazón, ocupan el segundo lugar de causa de muerte en hombres y mujeres. Los principales factores de riesgo relacionados con ésta enfermedad son el consumo excesivo de grasa de origen animal, el sobrepeso, el tabaquismo, la hipertensión arterial, el sedentarismo, el estrés y la diabetes.[SSA, 2007].

1.1.2. Proyecciones poblacionales

El descenso de la mortalidad en los últimos 50 años, el aumento en la esperanza de vida en la población y la disminución en los índices de natalidad dan paso al fenómeno conocido como envejecimiento poblacional. Aunque si bien es cierto, que las tasas de mortalidad en todos los grupos de edades han disminuido en los últimos 50 años, en las cifras publicadas por dependencias del gobierno, en lo que se respecta a daños a la salud (muerte, enfermedad y discapacidad) el grupo más vulnerable sigue siendo el de personas adultas.

Si se centra la atención en la evolución de la esperanza de vida dentro de 40 años, se puede advertir un aumento en la longevidad de la población, lo que marca la manera en como deben planearse las dinámicas de salud para satisfacer las necesidades en servicios de salud. En cifras concretas proporcionadas por Consejo Nacional de Población (CONAPO) la esperanza de vida en mujeres pasará de 77 años (en el 2005) a 83.9 para el 2050, mientras que para los hombres pasará de 72.2 años (en el 2005) a 79.9 años para el 2050 (véase Figura 1.2)[Bush, 2006].

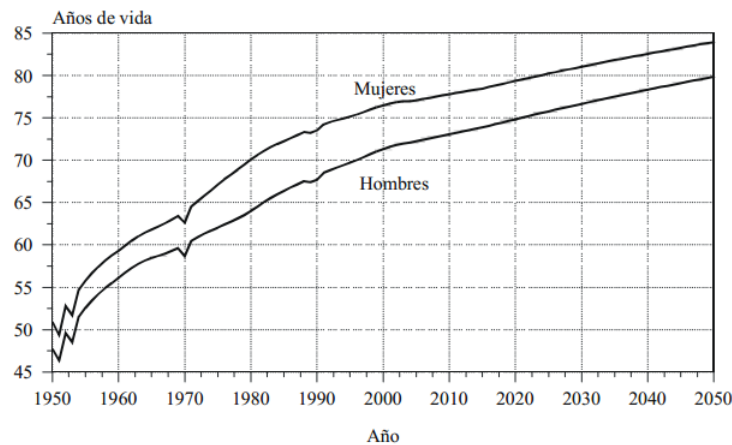


Figura 1.2: Esperanzas de vida al nacimiento por sexo, 1950-2050[Bush, 2006]

1.1.3. Costo económico de las enfermedades cardiovasculares

La OMG estima que las enfermedades cardiovasculares que afectan a las personas de mediana edad, frecuentemente reducen los ingresos de los pacientes. Las enfermedades cardiovasculares representan una carga económica en los países de medianos y bajos ingresos, en donde los habitantes tienen un menor acceso a servicios de asistencia sanitaria eficientes y equitativos, que respondan a sus necesidades, especialmente a las relacionadas con la detección temprana.

Se ha comprobado que las enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades no transmisibles contribuyen a la persistencia y prevalencia de la pobreza. Por ejemplo, en una familia donde existe un miembro con alguna enfermedad cardiovascular se ve obligada a destinar por lo menos el 30 % de sus ingresos para subsidiar los gastos médicos. A nivel macroeconómico las enfermedades cardiovasculares imponen una carga costosa a los países con ingreso promedio bajo y mediano. Se calcula que las cardiopatías, los accidentes cerebro vasculares y la diabetes reducen 6.77 % de su Producto Interno Bruto[OMG, 2013].

1.1.4. Dispositivos móviles

Los dispositivos móviles son cada vez más importante en la vida diaria, además son también de de profundo interés económico y político porque son el centro de una inmensa transformación en la comunicación.

La telefonía móvil ha cambiado y marcado el comportamiento de la sociedad, por ejemplo, el cambio en la manera de realizar actividades culturales como mantener el contacto con familiares y amigos, mensajes de texto, navegación en Internet, comercio y localización de personas[Gogging, 2006].

Android

La visión de la telefonía móvil ha cambiado desde que se fueron introducidos los teléfonos inteligentes con sistema operativo Android. Android es un sistema operativo construido sobre un kernel de Linux modificado, la pila de software contiene aplicaciones java ejecutándose sobre

una máquina virtual y los componentes del sistema son escritos en Java, C, C++ y XML [Butler, 2011].

Android posee una serie de características tales como[Girones, 2011];

- Plataforma abierta.
- Potabilidad asegurada.
- Arquitectura basada en componentes de Internet.
- Servicios incorporados.
- Alto nivel de seguridad.
- Optimización para baja potencia y poca memoria.
- Alta calidad de gráficos y sonido.

Existen múltiples sistemas operativos para dispositivos móviles, por ejemplo, iOS para teléfonos de Apple, BlackBerry OS para dispositivos BlackBerry, entre otros. Sin embargo, Android en comparación con otras plataformas de telefonía móvil advierte un crecimiento constante en el dominio del mercado de los sistemas operativos para dispositivos móviles.

La Tabla 1.1 muestra la cuota de mercado de los diferentes sistemas operativos para telefonía móvil.

Sistema operativo	2009	2010	2011	2014
Symbian	46.9 %	40.1 %	34.2 %	30.2 %
Android	3.9 %	17.7 %	22.2 %	29.6 %
iOS	14.4 %	15.4 %	17.1 %	14.9 %
Windows Phone	8.7 %	4.7 %	5.2 %	3.9 %
Otros sistemas	6.1 %	4.7 %	6.3 %	9.6 %

Tabla 1.1: Cuotas de mercado de sistemas operativos para dispositivos móviles[Gartner, 2010]

Existen diferentes versiones para el desarrollo de aplicaciones, regularmente se ponen a disposición nuevas clases o métodos en cada versión liberada. Sin embargo, cada versión liberada es compatible con la versión anterior.

La Tabla 1.2 proporciona datos correspondientes al número de dispositivos con las diferentes versiones de Android.

Versión	Nombre	API	Distribución
1.6	Donut	4	0.1 %
2.1	Eclair	7	1.5 %
2.2	Froyo	8	3.2 %
2.3-2.3.2	Gingerbread	9	0.1 %
2.3.3-2.3.7	Gingerbread	10	36.4
3.2	Honeycomb	13	0.1 %
4.0.3-4.0.4	Ice Cream Sandwich	15	25.6 %
4.1.x	Jelly Bean	16	29.0 %
4.2.x	Jelly Bean	17	4.0 %

Tabla 1.2: Distribución de las versiones de Android en dispositivos móviles a Junio del 2013 [Android, 2013]

La Figura 1.3 muestra en forma de gráfica, la distribución de las diferentes versiones de Android en los dispositivos móviles.

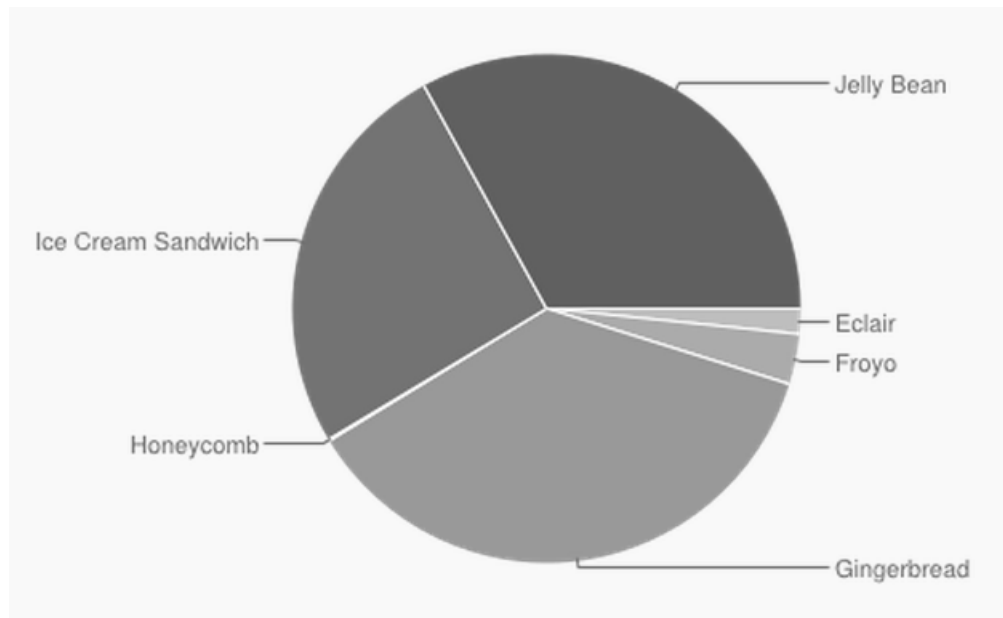


Figura 1.3: Gráfica diferentes versiones Android.

1.2. Planteamiento del problema

El planteamiento del problema puede ser dividido en los siguientes:

1. El monitoreo tradicional de los eventos fisiológicos, como electrocardiogramas, presión arterial, entre otros realizado solamente en breves periodos de tiempo y bajo escenarios supervisados conduce a tres limitaciones importantes: falla en el muestreo de eventos raros, falla en detectar la respuesta fisiológica a un tratamiento y finalmente, existe posibilidad de no detectarse la evolución de la enfermedad.
2. La inexistencia de un mecanismo que proporcione alarmas de manera automática como resultado del procesamiento y análisis de datos de contexto y fisiológicos en un entorno de cuidado personal sobre dispositivos móviles.
3. La dificultad para obtener bases de datos que cuenten con atributos que son catalogados como factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares, así como de muestras de frecuencia cardíaca de la población Mexicana.

1.3. Metodología de la investigación

1.3.1. Solución propuesta

Desarrollar un sistema de información para el monitoreo de variables fisiológicas, tomando en consideración la actividad que está realizando y datos clínicos, empleando tecnologías de comunicación como Bluetooth y Wi-Fi para la transmisión de datos.

Como parte de la solución se propone una arquitectura escalable para permitir que en un futuro se puedan integrar dispositivos portátiles con Bluetooth que permitan monitorear otras variables fisiológicas. Para lograrlo, el sistema se divide en tres capas principales:

- a) Sensores. Un acelerómetro que sirve para inferir el tipo de actividad que está realizando el paciente y sensores de frecuencia cardíaca.
- b) Dispositivo móvil inteligente. Es el encargado de la recolección de los datos de los sensores, de su análisis y del almacenamiento temporal de los mismos.

- c) Servidor web. Propone las bases de una aplicación que administre datos contenidos en una base de datos, gestione las posibles consultas del un usuario y gestione la comunicación con el dispositivo móvil inteligente para el intercambio de información.

1.3.2. Metodología de desarrollo

El sistema iCare básicamente sigue la metodología que se muestra en la Figura 1.4, en donde la selección de la población y muestra se detalla en el capítulo 4, el muestreo de la variable fisiológica y los datos de contexto se realiza por periodos de 20 a 30 minutos y la adquisición de los datos clínicos del usuario se realiza bajo un esquema de consentimiento informado.

El resultado de la correlación y análisis de la información permite que se disparen alarmas, en caso de ser necesario. Por último, existe un esquema de almacenamiento temporal de los datos y resultados obtenidos.

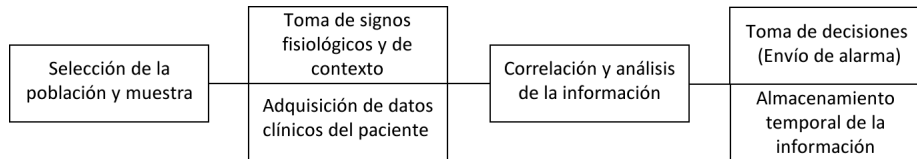


Figura 1.4: Diagrama de bloques de la metodología usada

1.4. Justificación

La miniaturización y abaratamiento de dispositivos portátiles no invasivos que permiten la transmisión inalámbrica de señales fisiológicas, los dispositivos portátiles con capacidad de cómputo de pequeñas dimensiones, así como los desarrollos actuales de redes inalámbricas, hacen posible la concepción de sistemas ubicuos para el cuidado de la salud. Por lo anterior, lo que se conoce como tele-medicina verá su evolución al ir un paso más allá de las aplicaciones de escritorio.

Estos sistemas ubicuos podrían proveer de soluciones a problemas como son: el acceso a los servicios de salud a grandes segmentos de la población, la distribución equitativa de los mismos y el aumento continuo en el costo del cuidado de la salud.

Desarrollar un sistema de cómputo ubicuo con la capacidad de realizar un monitoreo remoto intermitente de señales fisiológicas enfocadas al área de cardiología es de suma importancia por el impacto que podría tener a nivel de prevención y a nivel terapéutico.

La información recopilada sobre una variable fisiológica, los datos clínicos del usuario aunada a información de contexto relacionada a la actividad física que este realizando, permite generar y transmitir alarmas en forma de mensajes cortos de texto que representan estados de gravedad del usuario, las cuales son recibidas por los familiares y personal médico, lo cual es relevante porque permite la intervención oportuna y adecuada tanto de la familia como del profesional de la salud en caso de emergencia.

Es importante mencionar que los servicios de análisis y monitoreo de variables fisiológicas así como el envío de alarmas son completamente transparentes para el usuario, permitiendo que realice sus actividades cotidianas con total libertad. Adicionalmente, con la información obtenida se pueden realizar las siguientes actividades:

- Evaluación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca.
- El diseño e implementación de un programa de cardiología preventiva personalizada, ya que se tienen presentes y cuantificados los factores de riesgo asociados a enfermedades cardíacas.
- Diseño de programas adecuados de ejercicio físico.

Adicionalmente, este sistema busca ofrecer un mecanismo para recolección de muestras y datos clínicos asociados a factores de riesgo principalmente cardiovasculares, a partir de los cuales pueda obtenerse un base de datos.

1.5. Hipótesis

- La correlación de la información extraída del dispositivo de monitoreo portátil de frecuencia cardíaca y sensores de contexto como el acelerómetro permite inferir en una primera etapa de análisis si el usuario presenta algún tipo de arritmia con un alto grado de éxito.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Diseñar e implementar una arquitectura de cómputo ubicuo sobre dispositivos móviles para la detección de anomalías cardíacas mediante el monitoreo intermitente de información de contexto y de signos vitales como la frecuencia cardíaca.

1.6.2. Objetivos específicos

1. Desarrollar un módulo que permita la adquisición inalámbrica de los datos monitoreados por el sensor de frecuencia cardíaca.
2. Diseñar e implementar un algoritmo que clasifique los datos obtenidos tomando en cuenta los parámetros del signo vital monitoreado por el sensor.
3. Diseñar un algoritmo que permita detectar y predecir anomalías, así como determinar cuándo una señal de alarma debe ser disparada.
4. Diseñar un sistema web que sienta las bases para el desarrollo en trabajos futuros de una aplicación completa que administre el almacenamiento y consulta de los resultados obtenidos del intercambio de información con el dispositivo móvil inteligente.
5. Desarrollar un prototipo con el propósito de probar la aplicación que monitorea el signo vital, junto con la información del contexto del usuario.

1.7. Alcances

El alcance de iCare es a nivel prototipo, sin embargo, se persigue mostrar el potencial del uso de cómputo ubicuo aplicado a la prevención y diagnóstico de enfermedades cardiovasculares, además de proporcionar al usuario servicios de monitoreo, análisis y envío de alarmas de manera transparente, permitiendo al usuario enfocarse en sus actividades diarias.

1.8. Limitaciones

Para que el sistema muestre toda su funcionalidad se debe contar con una infraestructura que garantice el acceso a Internet.

Aunque el sistema puede representar una herramienta que aporte datos para un correcto diagnóstico por parte de un profesional de la salud, éste debe ser tomado estrictamente en ese sentido pues no pretende reemplazar al especialista.

El sistema no proporcionará la ubicación geográfica del paciente en el momento en el que sufra algún percance, solo se limita a enviar mensajes cortos de texto como un tipo de alerta.

Se puede presentar cierta resistencia por parte de los usuarios hacia nuevas tecnologías que pueden ser relativa o totalmente nuevas para él.

1.9. Contribuciones del trabajo

- La arquitectura que se propone, permite agregar otros dispositivos médicos y de contexto que cuenten con tecnología Bluetooth.
- El desarrollo de un prototipo que pueda ser utilizado en ambientes reales.
- Los tacogramas obtenidos de la toma de muestras de frecuencia cardíaca y los datos clínicos, conforman una repositorio de datos disponibles.
- La información que proporciona al usuario podría incentivarlo a tomar el control sobre hábitos y conductas nocivas para su salud.

1.10. Organización de la tesis

La tesis se encuentra dividida en siete capítulos. A continuación se describe de manera breve el contenido de cada capítulo.

Capítulo 1 Se da una panorámica de los antecedentes de la situación actual en el contexto del perfil epidemiológico en México asociado a enfermedades del corazón, incremento de costos en el cuidado de la salud y la manera en como se proporcionan los servicios de salud en México. De lo anterior se deriva; el planteamiento del problema, el objetivo general y los objetivos específicos. También se aborda de manera simplificada la propuesta de solución la cual es detallada en el capítulo 4 y por último se enuncian los beneficios esperados así como los alcances y límites del trabajo de tesis.

Capítulo 2 Se analizan los trabajos recientes relacionados con el cómputo ubicuo en el cuidado de la salud y de manera más específica los relacionados al monitoreo, diagnóstico y tratamiento de enfermedades cardíacas.

Capítulo 3 Se analizan los fundamentos teóricos de las tecnologías, metodologías y algoritmos implementados para el desarrollo de la tesis. Tecnologías como el Bluetooth, Wi-Fi entre otras son examinadas, así como diferentes algoritmos para el reconocimiento de patrones y los conceptos relacionados a enfermedades del corazón, frecuencia cardíaca, factores de riesgo entre otras.

Capítulo 4 Se describen los requerimientos, el análisis y diseño del sistema. Además se detallan los diagramas Unified Modeling Language (*Lenguaje de Modelado Unificado*) (UML) correspondientes a cada fase. Por último se expone el diseño de la base de datos.

Capítulo 5 Se aborda paso a paso el desarrollado de cada uno de los módulos que componen la arquitectura del sistema.

Capítulo 6 Se presentan las pruebas a las que fue sometido el sistema y se presentan los resultados obtenidos.

Capítulo 7 Se presentan las conclusiones generales, las aportaciones y los posibles trabajos futuros que se deriven de esta tesis.

Capítulo 2

Estado del arte

2.1. Introducción

Uno de los artículos más emblemáticos de la computación ubicua fue escrito por Mark Weiser en 1991, del cual citando una parte al pie de la letra dice lo siguiente:

“las tecnologías más profundas son aquellas que desaparecen, se entretienen en la diaria hasta que llegan a ser imperceptibles[Weiser, 1991].”

A más de veinte años de que este artículo fue publicado, los avances en la tecnologías de la comunicación e información y en la microelectrónica, son una promesa para poder lograr los objetivos planteados por el autor, es decir, la tecnología debe ser solo un medio para un fin y formar parte de un segundo plano, lo cual permite al usuario concentrarse completamente en la tarea que está realizando.

En la actual perspectiva de la Human Computer Interaction (*Interacción Humano - Computadora*) (HCI), las tareas que los usuarios asignan a las computadoras se hacen de forma explícita. La computación ubicua propone una nueva perspectiva en la que los usuarios están rodeados por numerosos dispositivos informáticos, los cuales se utilizan de forma implícita en la realización de actividades cotidianas.

Por lo anterior, se espera que haya una aceptación del uso de las tecnologías de la comunicación e información como un recurso potencial, y así mejorar los sistemas de salud a nivel mundial.

La preparación de los servicios de salud para los retos epidemiológicos futuros y los problemas que no han sido resueltos, están enfocados en brindar

un acceso y distribución equitativa de los servicios de salud, reducir el aumento en los costos de salud el cual tiene como principal causa el aumento en la esperanza de vida de las personas. Estos problemas encuentran en la filosofía del cómputo ubicuo, alternativas de solución.

Varios autores consideran el uso de la computación ubicua en el cuidado de la salud como la evolución de la tele-medicina, pues va un paso más allá de las tradicionales aplicaciones de escritorio.

En este sentido, en México los programas de telesalud se encuentran en etapas iniciales y son considerados como parte de una estrategia que puede asegurar un aumento tanto en la cobertura como en la calidad médica para la población, independientemente de su ubicación geográfica[SSA, 2012].

A continuación se describe la manera en cómo está organizado el capítulo. En la primera parte de éste capítulo se abordan los conceptos generales y retos de la computación ubicua, posteriormente se habla de la computación ubicua aplicada al cuidado de la salud y particularmente cuando es usada en cardiología para el monitoreo remoto, puntualizando las ventajas, requisitos y requerimientos para el desarrollo de las aplicaciones y sensores. Por último, se da una semblanza de los trabajos relacionados y se presentan una serie de conclusiones de los artículos analizados.

2.2. Computación ubicua

2.2.1. Definiciones

El término “*computación ubicua*” fue acuñado por Mark Weiser, un investigador de Palo Alto Research Center de XEROX [Weiser, 1991]. Weiser define a la computación ubicua como un mecanismo por el cual se facilita el uso de las computadoras haciendo que en nuestro entorno existan múltiples sistemas de computación pero siendo éstos imperceptibles para el usuario[Barro and Diz, 2002]. En consecuencia, se dota de un entorno inteligente, el cual atiende los requerimientos del usuario permitiéndole concentrarse en la tarea que desea realizar, minimizando e incluso desapareciendo la interacción directa con los sistemas informáticos.

En la literatura, existen otras definiciones, a continuación se listan algunas de ellas:

“La omnipresencia de computadoras muy pequeñas interconectadas sin cables, incrustadas en cualquier objeto cotidiano, usando pequeños

sensores estos procesadores incrustados son capaces de detectar el entorno que les rodea y dotar a un objeto de capacidad para procesar y comunicar información ”[Friedmann et al., 2001].

*“El término **ubicuo**, que significa aparecer o existir en todas partes, combinado con la computación forma un nuevo término **computación ubicua**, un término que es usado para describir a las Tecnologías de la información y comunicación (TIC’s), sistemas que permitan a la información y a las tareas estar disponibles en todas partes y admitir el uso humano intuitivo, pareciendo invisible para el usuario”[Poslad, 2009].*

De acuerdo con la visión de Mark Weiser los sistemas de cómputo ubicuo deben cubrir los siguientes requerimientos:

1. Las computadoras deben estar conectados en red y ser accesibles de forma transparente.
2. La interacción humano computadora necesita ser lo más oculta posible.
3. Las computadoras necesitan estar conscientes de su contexto con el fin de mejorar su funcionamiento dentro del ambiente.

De manera adicional se proponen dos requerimientos:

4. Las computadoras pueden operar de manera autónoma, sin la intervención humana.
5. Las computadoras pueden manejar una multiplicidad de acciones e interacciones, gobernados por la toma decisiones inteligentes así como la organización inteligente de las interacciones, lo anterior podría implicar alguna forma de inteligencia artificial con el fin de manejar:
 - a) Interacciones incompletas y no deterministas.
 - b) Cooperación y competición entre miembros de organizaciones.
 - c) Enriquecer la interacción por medio de la información compartida de contexto, semántica y objetivos.

2.2.2. Visión general de los retos de la computación ubicua

En relación con la naturaleza de los requerimientos que se proponen para los sistemas ubicuos y dado el estado actual de las redes de comunicaciones, la falta de políticas para establecer los límites de la privacidad, la heterogeneidad entre dispositivos entre otras, hace que emerjan otros retos que deben ser superados.

En este sentido, varios investigadores han sugerido retos derivados de los problemas de diseño en el desarrollo de dispositivos con recursos limitados, dispositivos móviles, ambientes inteligentes, interfaces naturales, sensibilidad al contexto, acceso y captura automatizada, como uno de los retos principales, el unificar múltiples interacciones, incluyendo las sociales. Éstos retos son categorizados y se presentan en los siguientes apartados, así como algunos de los desafíos que los caracterizan[Poslad, 2009].

Distribuido

- a) La confiabilidad puede decrecer tanto como el sistema llegue a ser actualizable e interoperable.
- b) La apertura incrementa incompatibilidades, la descarga libre de recursos de uso, reducen la responsabilidad.
- c) Es menos clara la definición de los límites del sistema.
- d) Grandes oportunidades de acceso remoto o divulgación no autorizado, con lo que disminuye la privacidad y seguridad.
- e) Los costos en la computación y comunicación distribuida supera las ganancias.

Interacción humano-computadora

- a) Los usuarios pueden ser sobrecargados por las posibilidades de interacción tanto como el paisaje se extienda.
- b) La tecnología que desaparece podría dar lugar a la incertidumbre sobre si el sistema está trabajando.

- c) Las intenciones ambiguas del usuario pueden dar lugar a una interpretación incorrecta por parte del sistema.
- d) El sistema quita el control al usuario.
- e) Pérdida de privacidad y control, pues existe un aumento en la capacidad de seguimiento.

Sensibilidad al contexto

- a) Irregularidad y desigualdad al detectar contexto y eventos del ambiente.
- b) Adaptación del contexto no deseada, mal inferida, incompleta o ambigua, por el sistema.
- c) El contexto y los objetivos del usuario a menudo no pueden definirse e inferirse claramente.
- d) La adaptación del contexto lleva a una toma de decisiones y compromisos rápidos y no considerados.

Autonomía

- a) La administración entonces se vuelve más distribuida y compleja.
- b) La adaptación no deseada o incomprensible re-configura o auto-configura al sistema.
- c) Pérdida de control del usuario, la gran autonomía del sistema puede decirle no al usuario.

Inteligencia

- a) El sistema puede inferir estados, conocimientos o contexto incorrectamente.
- b) El sistema puede aprender a operar fuera de sus límites seguros o conflictuar la interacción con el usuario.
- c) Los sistemas exceden los límites del comportamiento normal humano, causando daños físicos y emocionales.

2.3. Computación ubicua en cardiología

El monitoreo ubicuo cardíaco es una variante de los distintos enfoques que puede tomar el cómputo ubicuo orientado al cuidado de la salud y está caracterizada por la unión de sensores médicos portátiles y tecnologías de la comunicación e información para el monitoreo cardíaco continuo o intermitente de un paciente. Las implicaciones y el potencial del monitoreo portátil en cardiología son de suma importancia pues podrían[Kumar et al., 2008]:

- (i) Detectar signos tempranos en el deterioro de la salud.
- (ii) Notificar a los proveedores de la salud de situaciones críticas.
- (iii) Encontrar correlaciones entre el estilo de vida y la salud.
- (iv) Dar una nueva dimensión al acondicionamiento deportivo al proporcionar información detallada sobre las señales fisiológicas bajo varias condiciones de ejercicio.
- (v) Proveer al médico profesional con múltiples fuentes de datos fisiológicos en tiempo real.

Algunos expertos en la salud anticipan escenarios en donde el monitoreo intermitente o continuo de señales, será un punto crítico para el avance en la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades del corazón. Adicionalmente, mencionan las limitaciones del monitoreo tradicional realizado en hospital y el cual se realiza bajo un ambiente supervisado por breves periodos de tiempo. Entre las principales limitaciones en este tipo de monitoreo se encuentran[Philip, 2003]:

1. Muy baja probabilidad de registrar eventos como la variabilidad en la frecuencia cardíaca, frecuencia cardíaca en reposo, entre otros, los cuales pueden ser de profunda importancia para el pronóstico, el diagnóstico o tratamiento terapéutico de la enfermedad.
2. Falla al medir la respuesta fisiológica durante periodos normales de actividad normal como descanso, caminata o sueño.
3. Los periodos de monitoreo breves no pueden capturar las variaciones circadianas.

También es cierto que los sistemas de cómputo para el cuidado de la salud deben superar obstáculos de tipo social, técnicos y legales. La sugerencia es adoptar algunos requerimientos de diseño, a continuación se menciona algunos [Kumar et al., 2008]:

- a) Los dispositivos deben ser portátiles y ligeros.
- b) La batería de los dispositivos debe durar al menos varias horas.
- c) Debe tener una interfaz amigable.
- d) Recopilación y visualización de bio-señales críticas.
- e) Una baja tasa de fallas y una alta precisión en el lanzamiento de alarmas sobre todo si su propósito es el diagnóstico.
- f) Transmisión en tiempo real confiable de la transmisión inalámbrica de los datos en cualquier momento, desde cualquier lugar y de cualquier forma.

En el campo de la cardiología la computación ubicua tiene presente que el usuario está rodeado por un gran número de pequeñas aplicaciones específicas y dispositivos de información conectados en red. Sin embargo, también es cierto que emergen ciertos problemas los cuales está divididos en tres principales áreas. A continuación se desglosan en la Tabla 2.1

Área	Problema
Embebido	a) Los sensores y las estaciones base tienen que ser portátiles para asegurar la movilidad y la atención.
	b) Hay que prestar atención al movimiento del cuerpo humano, peso, tamaño y otras restricciones.
	c) Reducir relativamente el consumo de energía con el incremento del rendimiento de procesadores, memorias y otros componentes.

Área	Problema
Redes	a) Proporcionar acceso ubicuo a los servicios centrales de información. b) Bajo consumo de energía. c) Garantizar un nivel alto de seguridad. d) Amplias características de interoperabilidad. e) Integrar funcionalidades tales como el descubrimiento de servicios, auto-configuración, encriptación y autenticación. f) Protección de la privacidad y seguridad en la comunicación considerando la conexión a internet móvil.
Sensible al contexto	a) Identificación personal, sistemas personalizados de monitoreo de la salud tales como recordatorios o soporte en la medicación, dependiendo de los valores obtenidos en la medición de los signos vitales y los patrones de la enfermedad a nivel individual. Por lo tanto, los datos deben viajar remotamente en una manera segura hacia la enfermera o el médico. b) El tiempo es un dato de contexto muy simple pero muy importante usado para la temporización (Sincronización de la estampa de tiempo en diferentes elementos de la red) entre sensores distribuidos.

Tabla 2.1: Problemas que emergen de la computación ubicua

En México se han puesto en marcha distintas estrategias para la prevención de enfermedades crónicas en adultos mayores por parte de la Secretaría de Salud y también el gobierno mexicano ha tenido a bien la creación y el fortalecimiento de diferentes instituciones dedicadas a la investigación en materia de salud, tal es el caso del Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (CENETEC), institución que desde 2004 es la responsable de programas como los de tele-medicina y e-salud[CENETEC, 2012].

2.4. Trabajos relacionados

2.4.1. Arquitecturas propuestas

Se han propuesto diferentes arquitecturas para los sistemas ubicuos, éstas arquitecturas buscan minimizar los problemas derivados de la naturaleza propia de los sistemas ubicuos, por ejemplo, la heterogeneidad, la movilidad, la comunicación, entre otros aspectos. Las arquitecturas tradicionales ya conocidas y probadas generalmente no pueden implementarse individualmente para un sistema ubicuo, más bien se combinan para acoplarse, o en su lugar se han desarrollado nuevas propuestas.

Soporte para aplicaciones sensibles al contexto para el cuidado de ancianos

El desarrollo de Frameworks ha jugado un rol importante como componente de arquitecturas para los sistemas ubicuos. Un ejemplo de ello es la propuesta de Botazzi[Botazzi et al., 2011]. Los sistemas ubicuos necesitan recolectar, procesar y distribuir información relacionada al contexto y poder determinar estrategias de asistencia apropiadas.

En un sistema ubicuo se tienden a considerar diferentes piezas que componen la información de contexto, por ejemplo, la localización física de una persona de la tercera edad, los gestos, y la frecuencia cardíaca, haciendo necesario el equipamiento del ambiente donde el paciente vive y hacer que él mismo lleve consigo algún dispositivo, por ejemplo, dispositivos biomédicos inalámbricos, tarjetas de identificación (tarjetas RFID) entre otros.

APE ofrece soporte para la administración del contexto a la medida, para escenarios en el cuidado de adultos mayores. Adicionalmente, ofrece un conjunto de herramientas y mecanismos para la recolección e incorporación de información de contexto de fuentes heterogéneas y distribuidas, por ejemplo, los sensores y repositorios de registros médicos. Asimismo permite la distribución de la información en entidades de interés, como son los centros de vigilancia, a los familiares y amigos del paciente.

Red de sensores corporales para el cuidado de la salud ubicua

uCare[Shaofeng et al., 2011] es un sistema propuesto por el Centro de Investigación de Redes de Sensores y Aplicación de Beijing, China y consiste en una plataforma para el cuidado ubicuo de la salud. La arquitectura

propuesta está dividida en dos componentes: el dispositivo uCare y un servidor. La Figura 2.1 muestra la arquitectura de uCare.

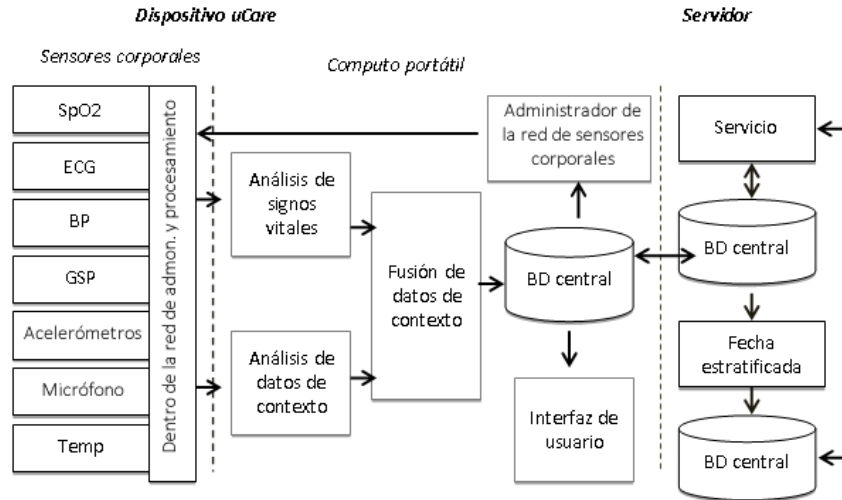


Figura 2.1: Arquitectura uCare

El componente uCare consta de sensores y una computadora portátil. Los sensores son tratados como nodos que realizan la recolección de los datos, el procesamiento preliminar y la transmisión de los datos a la computadora, lo cual se realiza de manera inalámbrica. Los sensores son divididos en dos tipos, en sensores de contexto como acelerómetros, micrófonos y termómetros. Y sensores de variables fisiológicas como ECG, Presión arterial, pulsioxímetro. Sin embargo, actualmente el sistema uCare solo trabaja con sensores de Electrocardiograma (ECG), acelerómetros y temperatura.

Se realiza procesamiento portátil utilizando un teléfono inteligente, los datos se reciben vía bluetooth y éste a su vez se comunica con el servidor utilizando un medio Wi-Fi. La computadora portátil realiza tareas simultáneas como son el procesamiento de la señal de ECG y la evaluación de las actividades del usuario mediante el uso de acelerómetros.

En la computadora portátil se considera una base de datos local, en la cual se almacenan los datos de los sensores, el resultado de su procesamiento, el perfil del usuario, los parámetros de los sensores así como la configuración del dispositivo (umbrales de alerta, ritmo y la Contracción ventricular prematura (PVC)). En el sistema se contempla la generación de alarmas si el sistema detecta la ocurrencia de cualquiera de las anomalías mencionadas o si se

alcanza el umbral establecido para la emisión de una alarma.

El módulo encargado de la administración de la red de sensores corporales es la versión simple de un middleware, el cual monitorea el estado de los sensores (frecuencia de muestreo, parámetros de los protocolos de comunicación y niveles de batería).

Por otra parte, el módulo encargado de la fusión de datos fisiológicos y de contexto utiliza una red bayesiana como la que se muestra la Figura 2.2.

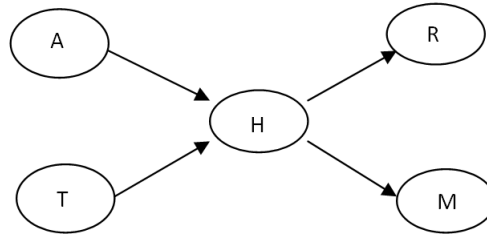


Figura 2.2: Red bayesiana del módulo de fusión de datos fisiológicos y de contexto.

De la figura anterior, la variable A representa los estados de actividad de la persona (acostado, parado, caminando, corriendo lento, corriendo rápido), la variable T representa la temperatura y puede tomar alguno de los siguientes valores: muy caliente, cálido, frío y muy frío. La variable H representa el estado del corazón y se define como una variable de estado oculto, mientras que del ECG se derivan la frecuencia cardíaca y la forma de onda, representadas por las variables R y M respectivamente.

La variable de actividad y temperatura representan dos factores causales que afectan el estado del corazón. La probabilidad a posteriori puede ser calculada con la ecuación 2.1.

$$p(H|R, M, A, T) = \frac{p(R, M|H, A, T)p(H)}{p(R, M|A, T)} \quad (2.1)$$

Monitoreo remoto en tiempo real basado en la web para el cuidado de la salud a través de la computación ubicua

El uso inteligente del monitoreo remoto de signos vitales de un paciente, complementado con información de contexto, es la propuesta de Context-Aware Real-Time Asistant (*Asistente en tiempo real sensible al contexto*) (CARA)[Yuan, 2011], una arquitectura que permite mejorar el cuidado de la salud.

Los signos vitales son monitoreados usando una red inalámbrica Red de área corporal (BAN), basada en sensores que pueden monitorear: ECG, presión arterial, oxígeno en la sangre y la posición en el espacio del paciente. La única herramienta requerida para usar la aplicación que implementa la arquitectura propuesta, es un dispositivo que cuente con un buscador web y Flash instalado.

Dentro de los aspectos más importantes de la aplicación se encuentran: La inter-visualización del cuidador y el paciente, consulta médica interactiva en tiempo real, revisión de anotaciones de la consulta por el profesional médico. Esto último proporciona a CARA las bases para el análisis automático que realiza.

En la arquitectura propuesta se considera al usuario como el núcleo del sistema. Como puede observarse en la Figura 2.3 la arquitectura se compone de tres capas, la primera de ellas está compuesta por la red de sensores corporales, la segunda capa se compone de la computadora que hace la función de compuerta de enlace y la tercera capa la componen diferentes servicios.

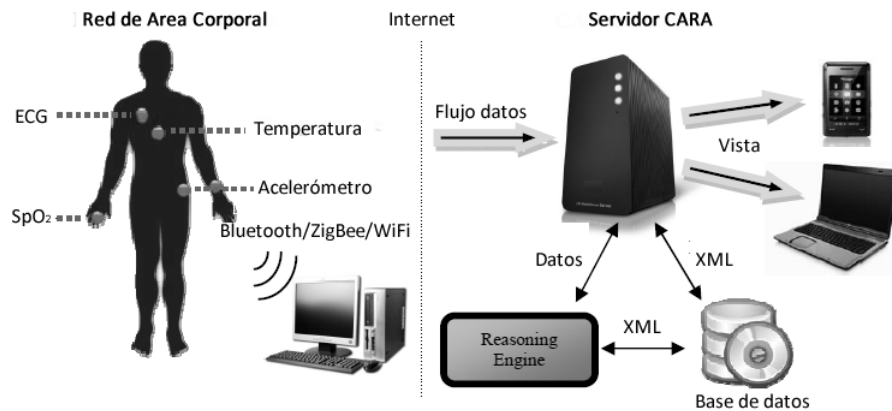


Figura 2.3: Arquitectura del sistema CARA

2.4.2. Los factores de riesgo

Trabajos como el realizado por el Colegio de Ingeniería de K. S. R. [Sarumathi and Nithya, 2012], exponen una metodología para la valorización de factores de riesgo utilizando el método de selección de características frecuente. Los métodos de minería de datos han sido usados frecuentemente en las áreas de negocios y otras ciencias de manera exitosa, sin embargo, estos métodos pueden ser usados también en sistemas de salud con lo cual puede descubrirse información valiosa y aparentemente oculta. El diagrama de flujo que representa las etapas que sigue es el que se muestra en la Figura 2.4.

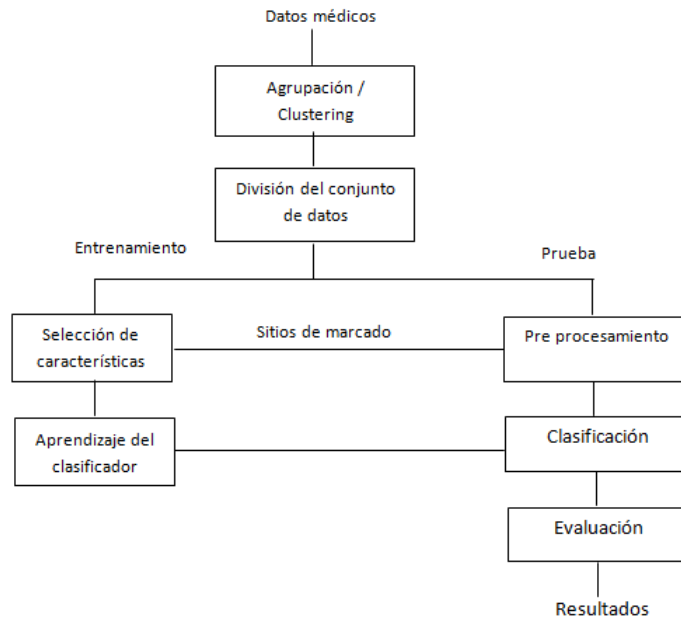


Figura 2.4: Diagrama de flujo para la prevención de enfermedades cardíacas

Los atributos de entrada para el algoritmo están formados por datos clínicos del usuario como: edad, sexo, presión arterial, niveles de glucosa. Con estos datos se puede predecir la probabilidad de enfermedades cardíacas en el usuario.

Para la etapa previa a la agrupación, se realiza una normalización en los valores para evitar que los atributos con valores muy grandes dominen sobre los atributos con valores bajos. El conjunto de datos se divide en dos

subconjuntos, uno para el entrenamiento y otro para pruebas. En la selección de los datos de entrenamiento existe un paso denominado selección de características cuya finalidad es la de disminuir el número de características necesarias para realizar una correcta y suficiente clasificación, dando como resultado la disminución en el número de atributos necesarios, es decir, de catorce atributos a utilizar solo fueron realmente seleccionados ocho.

2.4.3. Interfaz humano-Computadora

Monitoreo cardiovascular utilizando audífonos y un dispositivo móvil

Este trabajo se centra en proponer una solución a la poca aceptación que han tenido otros sistemas para el monitoreo y cuidado de la salud [Ming-Zher et al., 2012]. Las irritaciones en la piel, dispositivos voluminosos, piezas adicionales de hardware, poca portabilidad de los dispositivos en escenarios fuera de casa, son algunos de los inconvenientes que presentan otros dispositivos utilizados para el monitoreo de variables fisiológicas como los que se ocupan para obtener electrocardiogramas ambulatorios.

Por su parte, en este trabajo, los autores proponen el uso de dispositivos como dispositivos inteligentes refiriéndose de manera particular a los reproductores de música y teléfonos fabricados por Apple, mismos dispositivos a los que se les atribuye una enorme popularidad y aceptación hasta el punto de llegar a ser toda una declaración de moda entre los usuarios, además de que ofrecen una gran capacidad de cómputo. El componente clave utilizado para implementar un sistema de medición del volumen sanguíneo son los audífonos de dichos dispositivos.

Básicamente, en la concha de los audífonos se incrustan foto-sensores, los cuales consisten en LED´s infrarrojos integrados con fototransistores en un pequeño paquete de resina. La técnica utilizada para saber el volumen sanguíneo es la fotoplethysmografía.

La señal muestreada pasa por filtros pasa banda, para la detección de los picos de la señal muestreada se diseñó un algoritmo el cual se ilustra en la Figura 2.5. Los segmentos de datos poseen 90 ms. de muestras y emplean una variable de umbral de amplitud así como un umbral de tiempo, esto último con la finalidad de evitar falsas detecciones de pico.

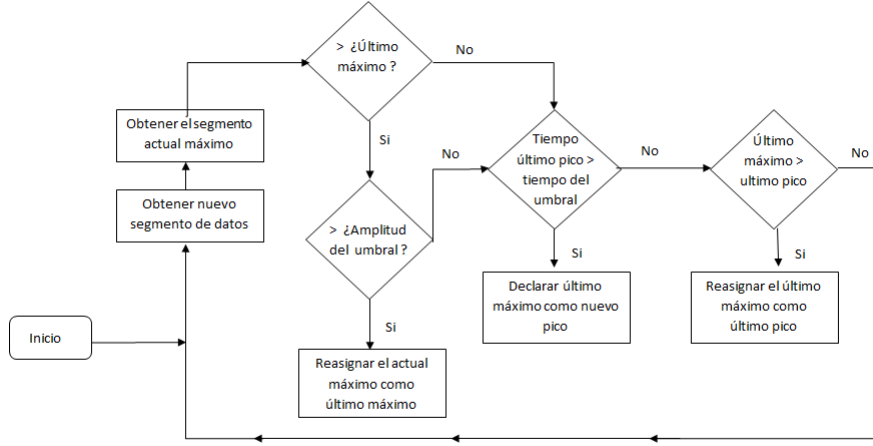


Figura 2.5: Diagrama de flujo del algoritmo para la detección de picos

2.5. Conclusiones del estado del arte

Existen varios trabajos los cuales se han enfocado en cubrir diferentes aspectos de la computación ubicua en el contexto de monitoreo y predicción de enfermedades cardíacas. Sin embargo, estos trabajos no toman en cuenta la combinación de los datos clínicos asociados a los factores de riesgo cardiovascular con la información de contexto y los valores de las variables fisiológicas monitoreadas, es decir, se trabajan desde enfoques separados.

Finalmente, el enfoque adoptado para este trabajo, es el de fusionar y correlacionar información de contexto, valores de signos fisiológicos y datos clínicos, para obtener resultados que sean un indicativo cuantificable basado en evidencias de información sobre el paciente con riesgo de enfermedad cardiovascular y un posible predictor.

Capítulo 3

Marco teórico

3.1. Introducción

Los escenarios en los que se puede visualizar el cómputo ubicuo abarcan innumerables campos de la ciencia y de la vida cotidiana, ya sea para actualizar sistemas convencionales, o bien, para la creación de nuevos escenarios en donde su implementación sea oportuna. En el campo de las ciencias de la salud, el uso de la tecnología en aparatos para el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades es cada vez más sofisticada, sin embargo, uno de los grandes retos en el ámbito de la salud es el poder fomentar la prevención de las enfermedades antes de que estas sean diagnosticadas en etapas más avanzadas.

Es en este punto en donde se abre una línea de investigación en la que el cómputo ubicuo encaja de forma perfecta, tal y como lo menciona Philip[Philip, 2003] al estimar que la tecnología portátil puede ser considerada como la siguiente generación en el cuidado de la salud. En su artículo, Philip puntualiza de forma precisa las ventajas de este tipo de tecnología en el monitoreo continuo o intermitente de señales fisiológicas frente al monitoreo tradicional.

Por otra parte, la computación ubicua hace uso de inteligencia artificial, información de contexto, sensores, tecnologías de la información y comunicación. En este capítulo, se exponen de manera general los conceptos relacionados a las enfermedades cardiovasculares, al aprendizaje máquina, las infraestructuras de comunicación y a los tipos de sensores usados en este trabajo.

3.2. Enfermedades cardiovasculares

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) las enfermedades cardiovasculares representan la primera causa de muerte alrededor del mundo, las muertes por enfermedades cardiovasculares afectan ambos sexos y se calcula que más del 80 % de estas muertes se presentan en los países con ingresos medios y bajos[OMG, 2013].

3.2.1. Arritmias

Las arritmias cardíacas constituyen una de las manifestaciones más frecuentes de las enfermedades del corazón, así como también de la respuesta de un corazón estructuralmente sano a condiciones extracardíacas [Feo, 2004]. Se sabe que cada latido del corazón comienza con un impulso eléctrico, iniciado en el nódulo sinusal. Este impulso viaja por todo el sistema eléctrico y activa las aurículas y ventrículos, de esta manera se completa un ciclo de latido. En consecuencia, todo tipo de daño a cualquier parte del sistema eléctrico del corazón puede dar como resultado una frecuencia cardíaca anormalmente lenta, conocida como bradicardia, o bien, una frecuencia cardíaca anormalmente rápida, mejor conocida como taquicardia.

Taquicardia

La taquicardia o frecuencia cardíaca acelerada, puede ser el resultado de una actividad eléctrica anormal debida a “cortos circuitos” eléctricos o a un grupo de células que actúan de manera anormal. Los síntomas de la taquicardia incluyen palpitaciones, mareos, falta de aliento y síncope. Las formas serias de taquicardia pueden causar muerte súbita. Dependiendo de las circunstancias clínicas, la taquicardia puede tratarse con medicamentos, terapia eléctrica o cirugía cardíaca.

Bradicardia

La bradicardia o frecuencia cardíaca lenta puede ser causada por una actividad anormalmente lenta del nódulo sinusal, o por algún bloqueo en la conducción en algún punto del sistema eléctrico, conocido como bloqueo cardíaco.

3.2.2. Factores de riesgo personales no modificables

Se puede considerar al factor de riesgo como un elemento o una característica medible que tiene una relación causal con un aumento en la frecuencia de una enfermedad y constituye un valor predictivo independiente y significativo del riesgo de contraer una enfermedad [O'Donnell and Elosua, 2008].

Genero

Los hombres son más propensos que las mujeres a desarrollar alguna enfermedad cardiovascular antes de los 40 años. Sin embargo, después de la menopausia, el riesgo de que las mujeres presenten un ataque, se incrementa. Existe una teoría que especula que la hormona masculina, mejor conocida como testosterona, incrementa el riesgo. Mientras que la hormona femenina mejor conocida como el estrógeno, protege a las mujeres en contra de ciertas enfermedades, como la aterosclerosis.

Edad

El riesgo de padecer una enfermedad cardiovascular se incrementa con la edad. La mayoría de la gente que muere por un ataque cardíaco es mayor a 65 años[Thomas and Kotecki, 2007].

Herencia o antecedentes familiares

Aparece una tendencia hereditaria de enfermedades cardíacas y aterosclerosis si se tienen familiares cercanos, los cuales hayan padecido un ataque cardíaco o un derrame cerebral antes de los 50 años de edad.

Raza

Otro factor es la raza, los Afroamericanos son dos veces más propensos a tener una presión alta, lo que aumenta la probabilidad de una enfermedad cardiovascular comparados con la raza blanca. Por otro lado, los aborígenes de raza negra o asiática son menos propensos a la ateromatosis, la actividad física y la delgadez de éstas razas podría llevar a una valoración confusa[Ruiz, 2012].

3.2.3. Factores de riesgo modificables

La detección y tratamiento de factores de riesgo modificables permite mejorar los distintos marcadores de riesgo cardiovascular, lo que conlleva a la reducción de tratamiento farmacológico, reducción en el desarrollo de nuevas enfermedades y la disminución en la progresión de las enfermedades. La Tabla 3.1 muestra los factores de riesgo cardiovascular modificables según la SSA.

Hipertensión arterial	30.5 %	Hipercolesterolemia	9.0 %
Diabetes	10.9 %	Sedentarismo	55.0 %
Obesidad	46.3 %	Alcoholismo	66.0 %
Tabaquismo	25 %	Consumo excesivo de sal	75 %

Tabla 3.1: Prevalencia de factores de riesgo cardiovascular en individuos mayores a 20 años en México

Hipertensión arterial

La hipertensión arterial es un problema de salud pública que genera altos costos financieros y sociales por su alta prevalencia, su larga duración, su gran dependencia a la farmacoterapia múltiple y sus complicaciones con frecuencia de carácter letal[Martínez, 2000]. Además se le considera como un síndrome derivado de una multiplicidad de causas y está caracterizado por la elevación persistente de la presión arterial con valores iguales o mayores a 140/190 mm Hg.

El aumento constante de la presión conlleva a riesgos en la salud, sobre todo del corazón, ya que puede llegar a fatigarse hasta llegar, por ejemplo, a una insuficiencia cardíaca letal. Aún cuando las causas de esta anomalía no son totalmente claras, se sabe bien que la hipertensión es un signo de que el sistema circulatorio está viviendo una sobrecarga funcional.

Para personas de 40 a 70 años de edad, el incremento de 20 mm Hg en la presión arterial sistólica o bien el aumento de 10 mm Hg de presión arterial diastólica duplica el riesgo de una enfermedad cardiovascular [O'Donnell and Elosua, 2008].

Diabetes

El cuerpo produce una hormona, la insulina. Esta hormona ayuda a las células a utilizar el azúcar de la sangre para producir energía. Cuando el cuerpo no genera suficiente insulina o no puede utilizarla de forma apropiada, como ocurre en la diabetes, se acumula azúcar en la sangre. La hiperglucemia acelera la aterosclerosis, que a su vez aumenta mucho el riesgo de padecer infartos de miocardio o accidentes cerebrovasculares[OMG, 2005].

La diabetes se asocia a un aumento de dos a tres veces en la probabilidad de contraer una enfermedad cardiovascular y este índice de aumento es mayor en las mujeres que en los hombres [O'Donnell and Elosua, 2008].

Obesidad

La obesidad se define como un exceso de grasa en el organismo, una persona puede pesar más de lo que es considerado normal. Investigaciones recientes señalan que tener un IMC (Índice de Masa Corporal) más alto durante la infancia se asocia con un aumento de enfermedad cardíaca en la edad adulta, esta asociación parece ser más predominante en los niños que en las niñas y aumenta con la edad en ambos sexos[O'Donnell and Elosua, 2008].

Para definir si una persona es obesa se utiliza el Índice de Masa Corporal (IMC), el cual es un buen parámetro para cuantificar el tejido adiposo total, para lo cual se utiliza la siguiente Ecuación 3.1.

$$IMC = \frac{Peso(kg)}{Altura(m)^2} \quad (3.1)$$

Se puede utilizar como referencia la Tabla 3.2 para saber el grado de obesidad de una persona, una vez que se conoce su IMC.

IMC	Grado de obesidad
<18.5	Peso bajo
18.5 - 24.9	Normal
25 - 29.9	Obesidad grado I (Sobrepeso)
30 - 39.9	Obesidad grado II
≥ 40	Obesidad grado III (Mórbida)

Tabla 3.2: Grado de obesidad según la OMG [Warrell et al., 2005]

La distribución de la grasa en el cuerpo y de manera especial

la concentrada en la parte abdominal se asocia con el desarrollo de hiperinsulinemia, resistencia a la insulina, hipertrigliceridemia e hipertensión arterial. Con frecuencia, la obesidad está asociada con el desarrollo de diabetes tipo 2.

Tabaquismo

El uso del tabaco en sus diferentes variantes, especialmente los cigarrillos, se ha convertido en uno de los principales determinantes de los cambios en el perfil epidemiológico. El tabaquismo incrementa la incidencia del infarto del miocardio y la muerte súbita, además potencializa los efectos de otros factores de riesgo cardiovascular como la hipertensión arterial y las dislipidemias.

Estilo de vida y ejercicio

El estilo de vida es un aspecto de la actividad vital de la persona y contribuye a desarrollar factores de riesgo para diferentes enfermedades. En la población adulta mexicana, la alta prevalencia de sobrepeso y obesidad coloca a este grupo etario en situaciones de riesgo relacionados a enfermedades cardiovasculares[Sampedro et al., 2011].

El estilo de vida no saludable, contribuye a desarrollar Factores de riesgo cardiovascular (FRCV). Se ha demostrado como el ejercicio físico y el consumo de frutas y vegetales son conductas protectoras que reducen el riesgo de infarto agudo al miocardio.

Un estudio realizado por Mellado [Sampedro et al., 2011] en el Hospital General de la Secretaría de Salud de la ciudad de Puebla, a personas que fungían como acompañantes (personas aparentemente sanas) de pacientes, permitió concluir que la población de estudio presenta alta incidencia de obesidad y un estilo de vida promotor de mala salud, especialmente en actividad física, los cuales constituyen factores de riesgo que incrementan la probabilidad de desarrollar enfermedades crónicas. Los factores personales biológicos como la edad, el sexo e IMC afectaron el estilo de vida promotor de la salud. Para la evaluación del estilo de vida se utilizó el cuestionario Perfil de estilo de vida promotor de la salud (PEPS-II).

Por otra parte, se postula que el ejercicio ayuda a reducir la presión arterial entre 5 y 21 mm Hg, por lo tanto es capaz de revertir los estados de hipertensión arterial leve y moderados sin utilizar ninguna clase de medicamento. Debe tenerse en cuenta que el ejercicio produce un aumento

de la presión arterial al momento en que se practica, se deduce entonces, que no todos los ejercicios son benéficos para la presión arterial.

Los ejercicios más benéficos son: caminar, correr, nadar, bailar, montar bicicleta, es decir, aquellos de intensidad moderada pero de larga duración y que puedan ser frecuentemente practicados por lo menos tres veces a la semana[Martínez, 2000].

Alcoholismo

En dosis bajas, es protector del organismo porque disminuye los niveles de fibrinógeno y la agregación plaquetaria, al tiempo que eleva las concentraciones de Lipoproteínas de Alta Densidad (HDL). Sin embargo en exceso, produce hipertensión y un estado hipercoagulable, induce arritmias cardíacas y reduce el flujo sanguíneo cerebral.

El consumo de alcohol se asocia a una mayor tasa de mortalidad cardiovascular en bebedores excesivos[SSA, 2001].

Hiperlipidemia

Las grasas de la sangre son un grupo de sustancias diversas entre las que se encuentran los triglicéridos y el colesterol. La hiperlipidemia hace que se formen depósitos grasos en las arterias lo que favorece la aparición de aterosclerosis, la cual aumenta considerablemente los riesgos de sufrir un infarto de miocardio y accidentes cerebrales[OMG, 2005]. Por ejemplo, la combinación de hipertrigliceridemia con HDL-colesterol disminuida es un factor de riesgo particularmente potente para la enfermedad coronaria y la relación que existe entre el $\frac{\text{colesterol total}}{\text{HDL-colesterol}}$ proporciona un valor predictivo de enfermedad arterial coronaria[SSA, 2001].

Una reducción del 10 % de colesterol sérico produce una disminución del riesgo de enfermedad cardiovascular de un 50 % a la edad de 40 años, del 40 % a los 50 años, del 30 % a los 60 años y del 20 % a los 70 años. [O'Donnell and Elosua, 2008]

3.2.4. Índice de Framingham

Existen varias tablas que pueden ser utilizadas en el cálculo del riesgo cardiovascular, es decir, puede calcularse la probabilidad de padecer alguna enfermedad cardiovascular en un periodo de 5 o 10 años, estas tablas son recomendadas por diversos organismos y sociedades científicas, sin embargo, no existe algún estudio que determine cuál tabla debe ser usada [Galán, 2003].

El riesgo cardiovascular debe calcularse cuando la persona no padezca alguna enfermedad cardiovascular, cardiopatía isquémica o enfermedad cerebrovascular, pues el hecho de padecer alguna conlleva, por definición, un alto riesgo.

El establecimiento de prioridades en prevención cardiovascular y el establecimiento de tratamiento con fármacos hipolipemiantes o antihipertensivos, son las principales utilidades derivadas del cálculo del riesgo cardiovascular. Además, se define como riesgo cardiovascular alto cuando la tasa de incremento del riesgo determina la prescripción de un fármaco [Galán, 2003].

A pesar de que existen varias tablas para el cálculo de riesgo cardiovascular, la principal característica que debe poseer la tabla que sea seleccionada, debe ser, aquella que tenga una mayor influencia en la práctica clínica. En este sentido la SSA recomienda usar los marcadores de factores de riesgo como Framingham para cuantificar el riesgo y establecer estrategias de prevención [SSA, 2010]. En consecuencia, en la Tabla 3.3 se muestra la propuesta de la SSA.

Factores de riesgo	Puntos de riesgo		Puntos de riesgo	
Grupos de edad	Hombres		Mujeres	
20-34	-9		-7	
35-39	-4		-3	
40-44	0		0	
45-49	3		3	
50-54	6		6	
55-59	8		8	
60-64	10		10	
65-69	11		12	
70-74	12		14	
75-79	13		16	
Niveles HDL-C mmol/L	Hombres		Mujeres	
$\geq 1,55$	-1		-1	
1.30 - 1.54	0		0	
1.04 - 1.29	1		1	
$<1,04$	2		2	
Presión sistólica mm Hg	No tratados	Tratados	No tratados	Tratados

Factores de riesgo			Puntos de riesgo				Puntos de riesgo			
≤ 120			0		0		0		0	
120-129			0		1		1		3	
130-139			1		2		2		4	
140-159			1		2		3		5	
≥ 160			2		3		4		6	
Colesterol total mmol/L	Grupos de edad									
	20 a 39	40 a 49	50 a 59	60 a 69	70 a 79	20 a 39	40 a 49	50 a 59	60 a 69	70 a 79
<4.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.14-5.19	4	3	3	1	0	4	3	2	1	1
5.20-6.19	7	5	3	1	0	8	6	4	2	1
6.20-7.20	9	6	4	2	1	11	8	5	3	2
≥ 7,21	11	8	5	3	1	13	10	7	4	2
Tabaquismo										
No	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Si	8	5	3	1	1	9	7	4	2	1
Bajo riesgo			<0		<1		<9		<1	
			0-4		1		9-12		1	
			5-6		2		13-14		2	
			7		3		15		3	
			8		4		16		4	
			9		5		17		5	
			10		6		18		6	
			11		8		19		8	
Riesgo moderado			12		10		20		11	
			13		12		21		14	
Alto riesgo			14		16		22		17	
			15		20		23		22	
			16		25		24		27	
			≥ 17		≥ 30		≥ 25		≥ 30	

Tabla 3.3: Clasificación de riesgo cardiovascular Framingham

3.2.5. Frecuencia cardíaca

La Frecuencia Cardíaca (FC) es uno de los parámetros cardiovasculares más sencillos e informativos. Medirla implica simplemente tomar el pulso de la persona, de manera general la frecuencia cardíaca refleja la intensidad del esfuerzo que debe hacer el corazón para satisfacer las demandas del cuerpo [Wilmore and Costill, 2007]. También es considerada como uno de los parámetros no invasivos más utilizados en el análisis y en la valoración de la actividad cardíaca.

Variabilidad de la frecuencia cardíaca

La Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC) se define como la valoración de la frecuencia del latido cardíaco durante un intervalo de tiempo predefinido [Rodas et al., 2008].

La relación existente entre el funcionamiento del Sistema Nervioso Autónomo (SNA) y la mortalidad cardiovascular motiva la búsqueda de marcadores cuantitativos del balance autonómico, es decir, el balance entre este SNA y el sistema cardiovascular. En este sentido la VFC es vista como un marcador utilizable para dicho fin [Gallo et al., 1999].

Para evaluar la VFC se analiza el tacograma. Existen dos métodos utilizados para evaluarla: análisis en el dominio de la frecuencia y análisis en el dominio del tiempo. El tacograma se asemeja a una onda compleja con aspecto ruidoso. Si se realiza un análisis espectral al tacograma se pueden observar los componentes en frecuencia y amplitud de una onda compleja. Estos componentes pueden corresponder a variables fisiológicas determinadas. Por ejemplo, los componentes de Baja frecuencia (LF) se relacionan con la modulación del simpático y parasimpático y los componentes de Alta frecuencia (HF) se asocia al parasimpático de manera más específica.

Del análisis en el dominio de la frecuencia se obtienen los componentes espectrales y se encuentran los componentes de HF, relacionados con el tono parasimpático y uno de LF, relacionado con la modulación tanto simpática como parasimpática.

Por otro lado, el análisis en el dominio del tiempo, consiste básicamente en un análisis estadístico y se evalúa la variabilidad por medio de promedios y desviaciones estándar. Se recomienda que los métodos estadísticos aplicados al análisis de la VFC deben ser sobre registros de larga duración. Las

mediciones estadísticas que se pueden realizar son:

1. Derivadas de la medición directa de los intervalos R-R.
2. Frecuencias cardíacas instantáneas:
 - a) Desviación estándar de todos los intervalos R-R (SDNN) (en milisegundos).
 - b) Desviación estándar de los promedios de intervalos R-R (SDANN) (en milisegundos), de segmentos de 5 minutos de un registro total.
 - c) Índice SDNN (en milisegundos), promedios de las desviaciones estándar de los intervalos R-R de los segmentos de 5 minutos, de un registro total.
3. Derivadas de las diferencias entre los intervalos adyacentes.
 - a) Raíz cuadrada del promedio de la suma de las diferencias al cuadrado, entre intervalos R-R adyacentes. (RMSSD).
 - b) Número de diferencias entre intervalos R-R adyacentes, mayores de 50 ms. (NN50).
 - c) Porcentaje del total de las diferencias entre los intervalos R-R adyacentes, mayores de 50 ms. (PNN50).
4. Métodos geométricos. La serie de intervalos R-R son convertidos a patrones geométricos a partir de los cuales se calculan los siguientes índices:
 - a) Índice triangular de la VFC.
 - b) Índice diferencial.
 - c) Índice logarítmico.

Es importante mencionar que existen factores que afectan a la VFC entre los cuales se encuentran [Gallo et al., 1999]:

1. El estrés físico y mental puede reducir la variabilidad, en contra parte un estado de relajación tiende a aumentarla.
2. Condiciones medio ambientales como la temperatura y la altitud pueden modificar la VFC.

3. La presencia de enfermedades cardiovasculares modifica la VFC.
4. Los cambios de posición del cuerpo generan una respuesta normal, el estrés gravitacional activa los mecanismos simpáticos y suprime los mecanismos parasimpáticos.
5. En las mujeres el componente HF es mayor que en los hombres.
6. La VFC disminuye con la edad y con el aumento de la frecuencia cardíaca.
7. El consumo de cafeína y alcohol altera la VFC.

Frecuencia cardíaca en reposo

Las evidencias epidemiológicas han demostrado que la Frecuencia Cardíaca en Reposo-Rest Heart Rate (RHR) está correlacionada con la morbilidad cardiovascular y podría ser tomada como un parámetro de la expectativa de vida. Desde 1980 es sabido que la RHR es un factor de pronóstico en pacientes con enfermedad coronaria, además la frecuencia cardíaca es uno de los mejores predictores después de un infarto de miocardio en pacientes con una falla congestiva del corazón, así como en pacientes con diabetes mellitus o hipertensión [Cook et al., 2006].

También se ha encontrado evidencia de que la RHR está fuertemente relacionada de manera general con la mortalidad en la población. Por ejemplo, en el estudio realizado en Framingham [Anderson, 1991] con un grupo de 5070 personas, las cuales no presentaban enfermedades cardiovasculares en el momento de participar en el estudio, tuvo como resultado una asociación entre el aumento de la RHR y el incremento de mortalidad cardiovascular y coronaria, como se muestra en la Figura 3.1 .

Estudios posteriores asocian a la RHR con la hipertensión arterial, sin embargo no se ha establecido la RHR como un indicador de padecer alguna enfermedad, a pesar de ello puede ser tomada como un factor de riesgo independiente. Un ejemplo del comportamiento de la frecuencia cardíaca, es el reino animal en donde los mamíferos presentan una relación inversa semi logarítmica en la expectativa de vida, por ejemplo en animales pequeños con frecuencia cardíaca alta las expectativas de vida son menores comparadas con la expectativa de vida de los mamíferos grandes.

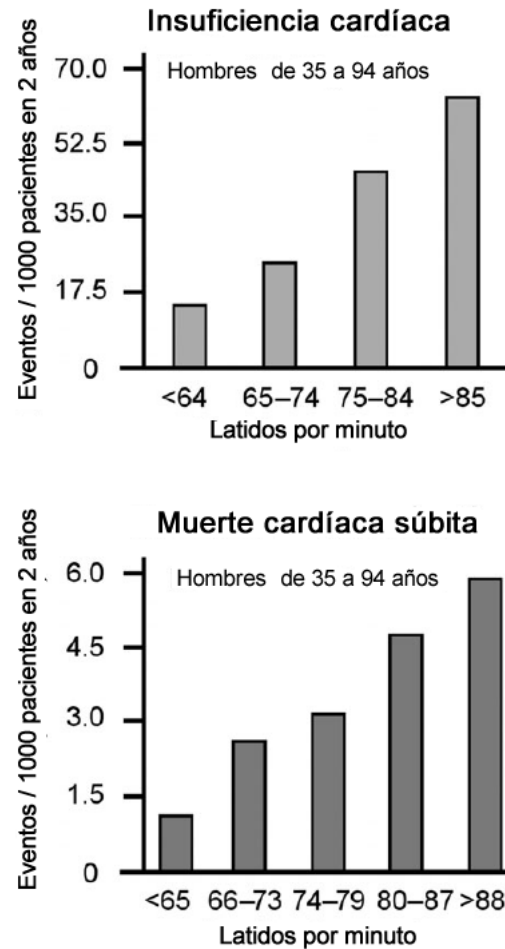


Figura 3.1: Dependencia de los eventos de falla cardíaca y muerte súbita cardíaca sobre la frecuencia cardíaca en reposo dividida en cuartiles o quintiles, solo se incluyen hombres de 35 años en adelante en el estudio de corazón de Framingham.

Existen factores genéticos que determinan la RHR entre un 21 % y 26 %, además los factores ambientales también toman parte en la determinación de la RHR, estos factores ambientales se refieren a variables como el IMC, presión arterial sistólica y diastólica, tabaquismo y el consumo de alcohol, mismos que afectan también a la VFC. La RHR alta en mujeres ha evidenciado altos niveles de glucosa e insulina, mayor circunferencia de cintura, IMC, presión arterial alta y altos niveles de triglicéridos.

3.3. Aprendizaje máquina

“Desde hace más de 2000 años los filósofos se han esforzado por comprender cómo se ve, se aprende, se recuerda, se razona, así como la manera en que estas actividades deberían realizarse”.

El surgimiento de nuevos métodos en las ciencias de la computación como respuesta a la integración de los diferentes métodos de resolución de problemas que no pueden ser descritos fácilmente, mediante un lenguaje algorítmico tradicional. Estos métodos tienen su origen en la emulación más o menos inteligente del comportamiento de los sistemas biológicos. De entre los diferentes métodos de resolución de problemas se encuentran:

- Lógica difusa
- Redes neuronales
- Razonamiento aproximado
- Algoritmos genéticos
- Teoría del caos
- Teoría del aprendizaje

Esta nueva forma de computación es capaz de manejar las impresiones e incertidumbres que aparecen cuando se trata de resolver problemas relacionados con el mundo real (reconocimiento de formas, toma de decisiones, entre otros) ofreciendo soluciones robustas de fácil implementación.

3.3.1. Redes neuronales

Las redes neuronales artificiales pueden ser descritas como una forma de metodología que intenta expresar la solución a problemas complejos y no como una secuencia de pasos. Éstas pueden ser la evolución de unos sistemas de computación inspirados en el funcionamiento del cerebro humano, y dotados por tanto de cierta “inteligencia”, los cuales no son sino la combinación de una gran cantidad de elementos simples de proceso (neuronas) interconectadas que operando en forma masivamente paralela,

consiguen resolver problemas relacionados con la predicción, codificación, clasificación, reconocimiento de patrones, control y optimización.

La transmisión de la información en el cerebro para la percepción de un sonido, un olor, el tacto o una imagen visual requiere la activación sucesiva de neurona tras neurona para terminar en la ejecución de un simple movimiento. A pesar de la enorme complejidad del sistema nervioso es posible entender muchos aspectos de la forma en que las neuronas se pueden activar para construir conjuntos para la percepción. Por ejemplo, conexiones específicas en el cerebro crean una sola imagen “el ojo de la mente”, es decir, aunque los ojos están situados en diferente posición dentro de la cara y cada uno de ellos capta aspectos ligeramente diferentes de los que está viendo, la persona al final percibe una sola imagen.

El principal propósito de todos los sistemas neuronales es el control centralizado de funciones biológicas. Con frecuencia se quiere comparar el cerebro humano con las computadoras, sin embargo, a pesar de que las computadoras trabajan mucho más rápido que el cerebro y son capaces de hacer complicados cálculos matemáticos en fracciones de segundo, se dice que se sobre simplifica el modelo de una neurona, porque, qué se puede decir de la dinámica de un sistema que esta compuesto de 10 mil millones de “microcomputadoras”, sin olvidar que cada neurona es diferente e individual, es decir, las redes neuronales son aproximaciones no lineales a la forma de como funciona el cerebro.

Las redes neuronales artificiales pueden entonces ser estudiadas desde el punto de vista matemático, además son consideradas como la respuesta a la concepción del diseño y construcción de máquinas capaces de realizar procesos con cierta inteligencia. Es así como la búsqueda de máquinas inteligentes ve sus inicios con la creación de autómatas, mismos que dejaron claro las habilidades mecánicas de sus constructores. Aun cuando se sigue esa misma línea de investigación usando herramientas más sofisticadas, existe un problema y es que éstas máquinas inteligentes se implementan sobre ordenadores basados en la filosofía de Von Neuman.

Por espectacular que parezca el poder de procesamiento que poseen estos ordenadores hoy en día no dejan de ser una máquina puramente mecánica que realiza tareas de cálculo, ordenación y control superando muy por encima de como lo realiza un ser humano, pero en cuanto a tareas relacionadas con el reconocimiento de formas, imágenes, habla, entre otras, su desempeño tiene deficiencias notables.

Redes de retropropagación

La retropropagación del error es un entrenamiento supervisado que se emplea para redes multicapa, donde se ajusta el valor de los pesos en función del error generado. Esta técnica es muy empleada ya que permite tener un método de optimización que se encuentra al definir el gradiente del error y minimizarlo con respecto a los parámetros de red neuronal [Cruz, 2010].

A continuación se presenta el algoritmo de una red de retropropagación.

1. Inicializar los pesos de la red con valores pequeños aleatorios.
2. Presentar un patrón de entrada, $X_p : x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pN}$ y especificar la salida deseada que debe generar la red: $d_1, d_2, \dots, d_M$.
3. Calcular la salida actual de la red, para ello presentamos las entradas a la red y vamos calculando la salida que presenta cada capa hasta llegar a la capa de salida; esta será, la salida de la red $y_1, y_2, \dots, y_M$. Para el cálculo de la salida actual se siguen los siguientes pasos:
 - a) Se calculan las entradas netas para las neuronas ocultas procedentes de las neuronas de entrada. Para una neurona j oculta;

$$net_{pj}^h = \sum_{i=1}^N W_{ji}^h x_{pi} + \Theta_j^h \quad (3.2)$$

Donde:

El índice h se refiere a magnitudes de la capa oculta.

El subíndice p se refiere al p -ésimo vector de entrenamiento.

El índice j a la j -ésima neurona oculta.

- b) Se calculan las salidas de las neuronas ocultas:

$$Y_{pj} = f_j^h(net_{pj}^h) \quad (3.3)$$

- c) Se realizan los mismos cálculos para obtener las salidas de las neuronas de salidas.

$$net_{pk}^o = \sum_{j=1}^L W_{kj}^o y_{pj} + \Theta_k^o \quad (3.4)$$

$$Y_{pk} = f_k^o(net_{pk}^o) \quad (3.5)$$

4. Calcular los términos de error para todas las neuronas. Si la neurona k en una neurona de la capa de salida, el valor de la delta es:

$$\delta_{pk}^o = (d_{pk} - y_{pk})f_k^o(net_{pk}^o) \quad (3.6)$$

La función f debe ser derivable. En general, disponemos de dos formas de función de salida:

La función lineal de salida expresada como:

$$f_k(net_{jk}) = net_{jk} \quad (3.7)$$

La función sigmoideal definida con la expresión:

$$f_k(net_{jk}) = \frac{1}{1 + e^{-net_{jk}}} \quad (3.8)$$

La selección de la función de salida depende de la forma en que se decida representar los datos de salida: si se desea que las neuronas de salida sean binarias, se utiliza la función sigmoideal, puesto que esta función es casi biestable y además derivable.

5. Se actualizan los pesos, haciendo uso de un algoritmo recursivo, comenzando por las neuronas de salida y trabajando hacia atrás hasta llegar a la capa de entrada, ajustando los pesos de la forma siguiente:

Para los pesos de las neuronas de la capa de salida:

$$W_{kj}^o(t+1) = W_{kj}^o(t) + \Delta W_{kj}^o(t+1) \quad (3.9)$$

$$\Delta W_{kj}^o(t+1) = \alpha \delta_{pk}^o Y_{pj} \quad (3.10)$$

Y para los pesos de las neuronas ocultas:

$$W_{ji}^h(t+1) = W_{ji}^h(t) + \Delta W_{ji}^h(t+1) \quad (3.11)$$

$$\Delta W_{ji}^h(t+1) = \alpha \delta_{pj}^h x_{pi} \quad (3.12)$$

6. El proceso se repite hasta que el término error expresado en la ecuación 3.13 es considerablemente pequeño para cada uno de los patrones, cuando esto ocurre se da por finalizado el algoritmo.

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \delta_{pk}^2 \quad (3.13)$$

Las redes de retropropagación son ampliamente utilizadas en la codificación de la información, traducción de texto en lenguaje hablado, reconocimiento de lenguaje hablado, reconocimiento óptico de caracteres, clasificación de señales electrocardiográficas, detección de taquicardias ventriculares y supraventriculares, detección de complejos QRS anómalos, reconocimiento de formas anormales en señales de ECG, compresión y descompresión de datos [Hilera and Martinez, 1995].

Redes de Kohonen

Existen evidencias que demuestran que en el cerebro hay neuronas organizadas en zonas, de tal forma que la información captada del entorno través de los órganos sensoriales se representa internamente en forma de mapas bidimensionales. Estas teorías se sustentan en que algunas áreas del cerebro pueden crear y ordenar neuronas especializadas y construir mapas especiales para atributos y características [Cruz, 2010]. Lo anterior sugiere la capacidad del cerebro para formar mapas topológicos de la información recibida [Hilera and Martinez, 1995].

Lo anterior sirvió como punto de partida para que en 1982 Tuevo Kohonen, presentará un modelo de red con la capacidad para formar mapas de características de manera similar a como ocurre en el cerebro. Esta red es del tipo OFF LINE, por lo que hay dos etapas una de aprendizaje y una de funcionamiento. Esta red utiliza un aprendizaje no supervisado de tipo competitivo, es decir, las neuronas de salida compiten para ser activadas, sin embargo solo una de ellas permanece activa como consecuencia de la información entrante a la red.

El modelo tiene dos variantes:

1. LVQ.
2. Topology Preserving Map (TPM), conocido también como Self Organizing Map (*Mapa de Auto-organización*) (SOM).

Ambas se basan en la formación de mapas topológicos para establecer características comunes entre las informaciones (vectores) de entrada a la red, aunque difieren en las dimensiones de éstos, siendo de una sola dimensión en el caso de LVQ, y bidimensional e incluso tridimensional para TPM.

La Figura 3.2 muestra la arquitectura de red LVQ de Kohonen.

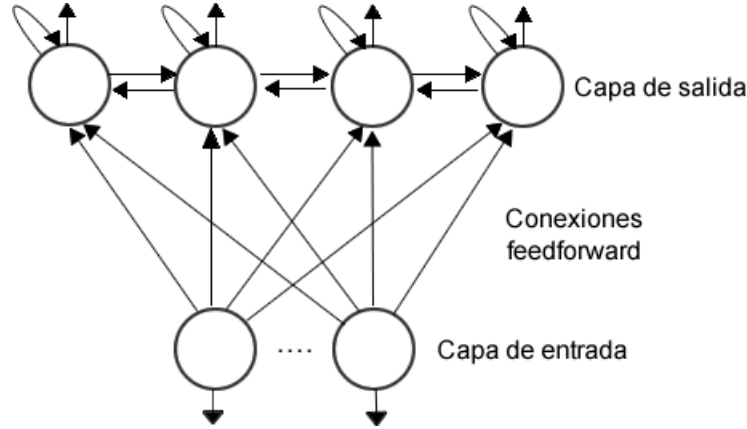


Figura 3.2: Arquitectura de la red LVQ de Kohonen

El algoritmo de aprendizaje de la red de Kohonen es el siguiente:

1. Se inicializan los pesos W_{ij} , con valores aleatorios pequeños y se fija la vecindad entre neuronas de salida.
2. Se presenta la entrada p en forma de vector $E_k = (e_1^{(k)}, \dots, e_N^{(k)})$ con valores continuos.
3. Se determina la neurona vencedora de la capa de salida, la cual será aquella neurona j cuyos pesos W_j (vector integrado de los valores de los pesos de las conexiones entre esa neurona y la neurona de la capa de entrada), sean lo más parecido a la entrada E_K . La forma en la que se calcula el mayor parecido entre el vector pesos y vector de entrada es usando la distancia euclidiana:

$$d_j = \sum_{i=1}^N (e_i^k - W_{ji})^2, 1 \leq j \leq M \quad (3.14)$$

Donde:

e_i^k = Componente i-ésimo del vector k-ésimo de entrada.

W_{ij} = peso de la conexión entre la neurona i de la capa de entrada y la neurona j de la capa de salida.

4. Encontrada la neurona vencedora (j^*) de la capa de salida, se realiza la actualización de los pesos de las conexiones entre las neuronas de entrada y la vencedora, así como de las conexiones entre las de entrada y las neuronas vecinas de la vencedora. Con esto se consigue asociar la información de entrada con una cierta zona de la capa de salida. Lo anterior se realiza siguiendo la expresión:

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \alpha(t)[e_i^{(k)} - W_{j^*i}(t)] \text{ para } j \in \text{Zona}_{j^*}(t) \quad (3.15)$$

Donde:

$\text{Zona}_{j^*}(t)$ es la zona de vecindad alrededor de la neurona vencedora j^* en la que se encuentran las neuronas cuyos pesos son actualizados. $\alpha(t)$ es un parámetro de ganancia o coeficiente de aprendizaje, con valor entre 0 y 1, decrece con el número de iteraciones (t) del proceso de entrenamiento. Suele utilizarse alguna de las siguientes expresiones para su cálculo:

$$\alpha(t) = \frac{1}{t} \quad (3.16)$$

o bien:

$$\alpha(t) = \alpha_1 = \left[1 - \frac{t}{\alpha_2} \right] \quad (3.17)$$

Donde α_1 un valor de 0.1 ó 0.2 y α_2 un valor próximo al número total de iteraciones del aprendizaje por ejemplo 10000.

5. El proceso se puede repetir, volviendo a presentar todo al número total de iteraciones del aprendizaje $E_1, E_2, \dots, E_N$, se recomienda un número de iteraciones mínimo de 500.

Las redes de Kohonen pueden ser utilizadas en el reconocimiento de voz, reconocimiento de texto manuscrito, codificación de datos, resolución de problemas de optimización, además de ser una red que puede ser combinada con redes como la del perceptrón multicapa para obtener una red que combina aprendizaje supervisado y no supervisado.

3.3.2. Lógica

K-medias

El algoritmo k-medias es considerado un algoritmo de agrupamiento, de forma particular este algoritmo requiere la definición de un vector de patrones y el número de clases. Los procedimientos de agrupación de clases reciben como datos de entrada los objetos a clasificar, de esta manera el algoritmo agrupa a los vectores sin supervisión en clases o clusters.

Algunos de los parámetros que se asocian con el desempeño del algoritmo son; el número de grupos que se formarán, la ubicación inicial de los centros de los grupos, el orden de los patrones de entrada, la elección de la medida de la distancia y las propiedades geométricas de los datos[Pérez and León, 2001].

Los parámetros necesarios para el agrupamiento usando k-medias son:

- a) Un vector de entrada o patrones: $X = x_1, x_2, \dots, x_N$
- b) Un vector de centroides que indica los centros de cada clase: $V = v_1, v_2, \dots, v_k$
- c) Una matriz de participación $U = [\mu_i]$ con $\mu_j \in [0, 1]$ indicando la pertenencia del patrón x_j a la clase Ω_I con $j = 1, \dots, N; I = 1, \dots, 1K$.

El algoritmo de k-medias sigue los siguientes pasos:

1. Se elige aleatoriamente entre los elementos a agrupar, los elementos necesarios que fungirán como centroides de las k clases.
2. Para todos los patrones x_j en X :
Calcular la distancia de los x_j a todos los centros de las clases:

$$d_{ij} = \|x_j - v_i\| \quad i = 1, \dots, K \quad (3.18)$$

Determinar la distancia mínima:

$$d_{min}(x, V) = \min\{d_{ij}\} \quad (3.19)$$

Actualizar las etiquetas en la matriz U dando una etiqueta igual a 1 a la clase que se encuentra más cercana de x_j y el valor de 0 a las demás

clases:

$$U_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Si } d_{\min}(x_j, V) = d_{ij} \\ i = 1, \dots, K \\ 0 & \text{De lo contrario} \end{cases} \quad (3.20)$$

3. Una vez redistribuidos los elementos a agrupar entre las diferentes clases, se realiza una actualización de los centroides de las clases. El cálculo de los nuevos centroides minimiza el índice de rendimiento expresado en la ecuación 3.21.

$$J(U, V) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^K U_{ij} d_{ij}^2 K \leq N \quad (3.21)$$

4. Se comprueba si el algoritmo ha alcanzado una posición estable, es decir si se cumple que:

$$\max[|u_{ij}(t+1) - u_{ij}(t)|] < \varepsilon \quad (3.22)$$

Si este criterio se cumple, el algoritmo finaliza. En caso contrario salta al paso 2.

Este algoritmo es muy útil cuando no existe un conocimiento suficiente acerca de las clases en que se pueden distribuir los objetos de interés. También son de gran interés práctico en áreas como el análisis automático de la voz, visión artificial y clasificación de señales.

3.3.3. Árboles de decisión

Los árboles de decisión son un modelo de clasificación utilizado en la inteligencia artificial, cuya principal característica es su aporte visual a la toma de decisiones. Considerada también como una herramienta alternativa para la predicción y clasificación de grandes cantidades de datos que es utilizada ampliamente en el área de la inteligencia artificial. El objetivo de un árbol de decisión es el aprendizaje intuitivo a partir de observaciones y construcciones lógicas.

El conocimiento obtenido durante el proceso de aprendizaje intuitivo se representa mediante un árbol. Un árbol gráficamente se representa por un conjunto de nodos, hojas y ramas. El nodo principal o raíz es el atributo

a partir del cual se inicia el proceso de clasificación; los nodos internos corresponden a cada una de las preguntas acerca del atributo en particular del problema.

Cada posible respuesta a los cuestionamientos se representa mediante un nodo hijo. Las ramas que salen de cada uno de estos nodos se encuentran etiquetadas con los posibles valores del atributo. Los nodos finales o nodos hojas corresponden a una decisión, la cual coincide con una de las variables clase del problema a resolver. La Figura 3.3 muestra la estructura básica de un árbol de decisión.

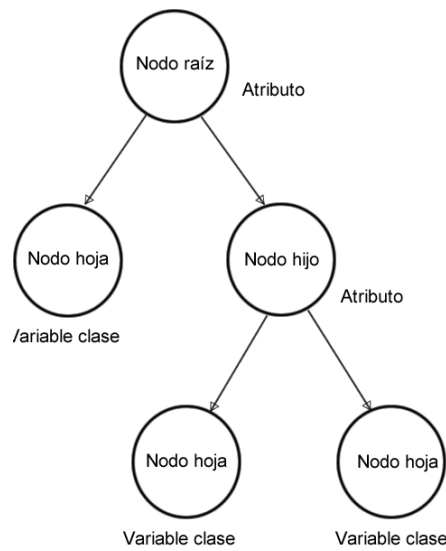


Figura 3.3: Estructura de un árbol de decisión

Para la clasificación de datos se aplican algoritmos basados en árboles de decisión como:

- ID3 Algoritmo que aprende a partir de la diferencia que existe entre los datos para analizar, esto es, un procedimiento de divide y vencerás, que maximiza la información obtenida, la cual se utiliza como una métrica para seleccionar el mejor atributo que divida los datos en clases homogéneas.
- J48 Éste algoritmo construye un árbol a partir de datos. Se construye iterativamente al ir agregando nodos o ramas que minimicen la diferencia entre los datos. Aunque este algoritmo es descendiente de

ID3, añade capacidad de utilizar atributos numéricos y vacíos para generar reglas de árbol. Con el propósito de clasificación de una nueva instancia, J48 prueba cada uno de los valores del atributo de acuerdo son su estructura hasta que encuentra una hoja, la cual contiene los valores de la clase para cada instancia.

3.4. Infraestructuras de comunicación

Una de las bases de la computación ubicua, es la de dotar a la mayor parte de objetos físicos de capacidad de computación y de comunicación, creando una gran red de dispositivos interconectados entre sí. Esto normalmente implica el desplegar redes de comunicación heterogéneas, debido a la gran variedad de dispositivos que pueden conectar y al distinto tipo de información que intercambian[Haya et al., 2001].

3.4.1. Bluetooth

A mediados de los noventa la empresa L. M. Ericsson dedicada a la manufacturación y desarrollo de teléfonos móviles y otros dispositivos, se interesó en interconectar sus productos sin necesidad de usar cables. L. M. Ericsson en conjunto con otras cuatro empresas (IBM, Intel, Toshiba), formó la Special Interest Group (SIG) con el propósito de desarrollar un estándar inalámbrico para interconectar computadoras, dispositivos de comunicaciones y accesorios a través de radios inalámbricos de bajo consumo de energía, corto alcance y económicos[Labiód et al., 2007].

A este proyecto se le asignó el nombre de Bluetooth en honor al rey vikingo Harald Blåtand (940-981), quien unificó Dinamarca y Noruega. Aunque originalmente la idea fue la comunicación sin cables entre dispositivos, su alcance se extendió rápidamente al área de la Wireless Local Area Network (*Redes Inalámbricas de Área Local*) (WLAN). Posteriormente, en julio de 1999 la SIG de Bluetooth emitió una especificación de cerca de 1500 páginas para su versión 1.0, misma que después el grupo de estándares del IEEE 802.15 (redes de área personal) adoptó como base. El objetivo de esta estandarización fue estimular el uso de esta tecnología.

La especificación de Bluetooth comprende un sistema completo desde la capa física hasta la capa de aplicación, si se toma el modelo Open System Interconnection (*Interconexión de Sistemas Abiertos*) (OSI) como referencia,

sin embargo el comité 802.15 del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) estandariza únicamente las capas física y de enlace de datos. El resto de la pila queda fuera de los estatutos.

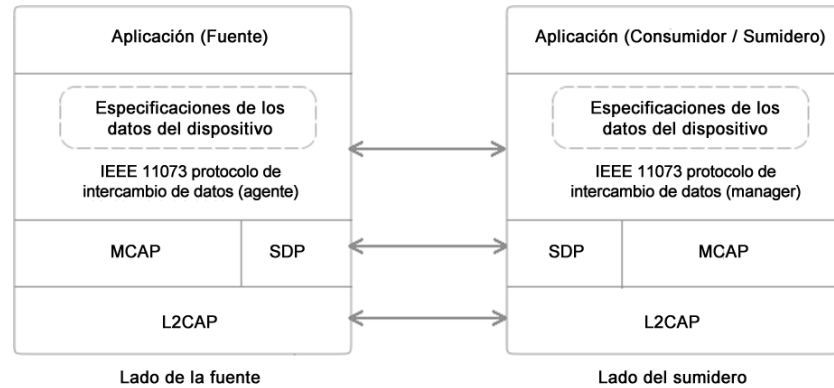
Perfiles Bluetooth

Bluetooth es una especificación para redes WLAN que posibilita la transferencia de datos entre dispositivo mediante un enlace de radiofrecuencia en la banda reservada para uso no comercial (2400-2500 MHz) sin necesidad de licencia siempre que se respete el límite de potencia.

La especificación define una pila de protocolos y una serie de perfiles. Los perfiles son guías que indican los procedimientos por los que los dispositivos Bluetooth se comunican entre sí para los diferentes tipos de uso. Existe un amplio abanico de perfiles. Cada perfil incluye como mínimo las características concretas de la pila de Bluetooth utilizada por el perfil, así como las posibles dependencias de otros perfiles y propuestas del formato a nivel de aplicación.

Perfil Bluetooth para dispositivos médicos

En sus inicios, los dispositivos médicos comerciales con tecnología Bluetooth hacían uso de formatos propietarios no publicados sobre el Serial Port Profile (*Perfil de Puerto Serie*) (SPP). Lo anterior se debía a que no había un acuerdo sobre cual perfil era el más adecuado. Para un mercado de consumo masivo de dispositivos de salud y acondicionamiento físico en evolución, los fabricantes se dieron cuenta de la necesidad de adoptar un estándar inalámbrico interoperable. Es así como se formó el grupo de trabajo Medical Device Working Group (MED WG) formado para desarrollar un perfil que pudiera proveer un nivel de interoperabilidad entre los dispositivos de salud fuente, tales como pulsómetros, básculas y termómetros y dispositivos de salud denominados consumidores, tales como Personal Digital Assistant (*Asistente Digital Personal*) (PDA), Computadora Personal (PC), teléfonos y monitores de diferentes fabricantes. El trabajo de la MED WG tuvo como resultado el desarrollo de HDP y el protocolo Multi-Channel Adaptation Protocol (*Protocolo de Adaptación Multicanal*) (MCAP), los cuales cubrían por completo las necesidades. La Figura 3.4 muestra el modelo del protocolo HDP.

**Figura 3.4:** Modelo de protocolo HDP

3.4.2. IEEE 802.11

La designación del IEEE para los estándares de redes es 802. La familia de estándares “11” regula las redes de área local inalámbricas.

IEEE 802.11 es una especificación abierta que utiliza la tecnología Ethernet en redes inalámbricas, en la jerga común se le llama WiFi. Fue publicada en 1997 especificándose dos tipos de datos brutos de 1 y 2 Megabits por segundo. De la pila de protocolos usada por este estándar, la capa física corresponde muy bien con la capa física del modelo OSI, pero la capa de enlace de datos se divide en varias subcapas. La subcapa Control de Acceso al Medio (MAC) determina la forma en que se asigna el canal y la subcapa Control Lógico de enlace (LLC) oculta las interferencias entre las variantes de 802.

El estándar propuesto tenía que trabajar en dos modos:

1. En presencia de una estación base. Toda la comunicación se hace a través de la estación base, mejor conocida como punto de acceso.
2. En ausencia de una estación base, las computadoras pueden enviarse mensajes entre sí directamente, éste modo en ocasiones es llamado red ad hoc.

Algunos de los retos que debía enfrentar este estándar son: encontrar una banda de frecuencia adecuada; enfrentar el hecho de que las señales de radio tienen un rango finito; asegurarse de que se mantuviera la privacidad de los usuarios; tomar en cuenta la vida limitada de las baterías; preocuparse por

la seguridad humana; comprender las implicaciones de la movilidad de las computadoras y construir un sistema con suficiente ancho de banda para que fuera económicamente viable[Tanenbaum, 2003].

Para resolver el acceso al medio se define el protocolo Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA). Éste es una variante del protocolo utilizando en las redes Ethernet. La diferencia radica en que en las redes inalámbricas no se puede detectar si ha habido una colisión a la hora de transmitir dos estaciones a la vez. Por lo tanto, permite utilizar las tres técnicas: modulación por infrarrojos, espectro ensanchado y salto en frecuencia. IEEE 802.11 es una de las soluciones inalámbricas más completas y potentes que existen en el mercado[Haya et al., 2001].

Sin embargo, la especificación original presenta una debilidad al ofrecer muchas opciones, de tal forma que la interoperabilidad se volvió todo un reto. Razón por la cual más bien se le considera como una "meta-especificación" que le dio flexibilidad a distintos fabricantes de productos para diferenciar sus productos. El legado del estándar 802.11 se complementó y popularizó con la publicación del estándar 802.11b.

802.11b

El 802.11b fue introducido en 1999 como una enmienda al estándar original, este estándar tiene una tasa de datos brutos de 11 Mb/s y usa el mismo protocolo de señalización basado en Ethernet. Sin embargo en la práctica solo se puede alcanzar un máximo de 5.9 Mbit/s para aplicaciones sobre TCP y 7.1 Mb/s sobre UDP, debido a la saturación en el protocolo CSMA/CA.

802.11a

El 802.11a es una mejora del estándar original y fue publicada en 1999, este estándar usa los mismos protocolos principales y opera en la banda de frecuencia de 5GHz, debido a que la banda de frecuencia de 2.4GHz es ampliamente utilizada por usuarios y aparatos, esto le aporta la ventaja de menor interferencia. La tasa de transferencia bruta de datos de 54 Mb/s. El estándar 802.11a no es interoperable con 802.11b excepto si se usa equipo que de manera independiente implemente ambos estándares.

802.11g

El tercer estándar de modulación, nombrado 802.11g, fue aprobado en 1993. Este estándar usa la banda de 2.4GHz (al igual que el 802.11b) con un ancho de banda de 83.5Mhz y opera con una tasa de datos crudos de 54 Mb/s. Existe una nueva característica patentada llamada "Super G", misma que ha sido integrada en algunos dispositivos de punto de acceso, la cual permite aumentar la velocidad de la red hasta los 108 Mb/s mediante el uso de canal vinculado, sin embargo esta característica podría interferir con otras redes y probablemente no soporte a todos los clientes con tarjetas para "b" y "g".

802.11n

En enero del 2004 se anunció la formación de un nuevo grupo de trabajo encargado de desarrollar mejoras al estándar 802.11 para redes de área local. Los datos reales de rendimiento podrían llegar a ser de al menos 100 Mb/s y ser de cuatro a cinco veces más rápido que el 802.11a o 802.11g y quizá veinte veces más rápido que el 802.11b. Éste proyecto también ofrece una mayor distancia de operación a comparación de las redes actuales.

3.5. Sensores fisiológicos

Los dispositivos médicos son diseñados para medir parámetros fisiológicos o bien para aplicar una cierta energía a los pacientes. Una mejora en los dispositivos médicos es el uso de transductores como interfaz entre el dispositivo y el paciente. Los transductores usualmente son el componente más crítico en los dispositivos pues tiene que reproducir el signo fisiológico de una manera fiel y confiable. Los transductores pueden ser o no invasivos en cuyo caso deben ser estables y no tóxicos e idealmente deben responder exclusivamente a la energía que se desea medir. En muchas aplicaciones médicas los sensores convierten un evento fisiológico en una señal eléctrica, de esta manera es mucho más fácil para una computadora procesar el evento fisiológico. Básicamente existen dos tipos de sensores: pasivos y activos. El pasivo produce un cambio en una red pasiva de parámetros como pueden ser resistencia, capacitancia o inductancia, mientras que los activos actúan como un generador de fuerza, corriente o voltaje en respuesta a la entrada[Chan, 2008].

3.5.1. Sensor de frecuencia cardíaca

Un dispositivo de frecuencia cardíaca es un sistema portátil usado para medir el número de latidos por minuto, los cuales pueden ser visualizados o transmitidos en tiempo real o archivados para ser transmitidos posteriormente al conectarse a una computadora. Existen diez partes del cuerpo en las que puede ser medida la frecuencia cardíaca, sin embargo por razones de portabilidad muchos de los dispositivo utilizan electrodos unidos a una correa para el pecho. Inicialmente fueron hechos para mejorar el rendimiento de atletas, sin embargo, estos dispositivos pueden ser usados por los pacientes para alertar en caso de una posible situación de riesgo o entender los patrones que se forman en fragmentos temporales(un día, una semana)[Kramme et al., 2011].

HxM Bluetooth

El dispositivo HxM BT fabricado por la empresa Zephyr, funciona como un monitor de frecuencia cardíaca, velocidad y distancia. Este dispositivo se comunica con un dispositivo móvil o computadora mediante un enlace Bluetooth y soporta un solo enlace. Usa el protocolo SPP. Una vez que se ha establecido el enlace, el paquete de datos puede ser recibido por el dispositivo móvil, la Figura 3.5 muestra un ejemplo de la comunicación y enlace.

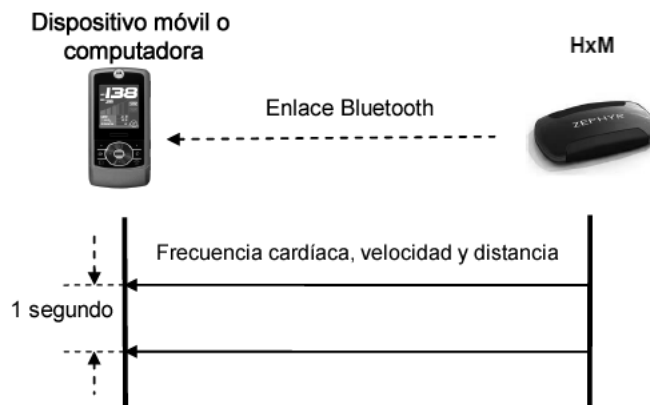


Figura 3.5: Ejemplo de sesión de enlace

La transmisión de los datos se hace en intervalos de un segundo. La comunicación ente el dispositivo HxM y el dispositivo emparejado opera en modo simplex, es decir, el dispositivo HxM solo transmite información. La Figura 3.6 muestra el formato básico del mensaje que es trasmitido.

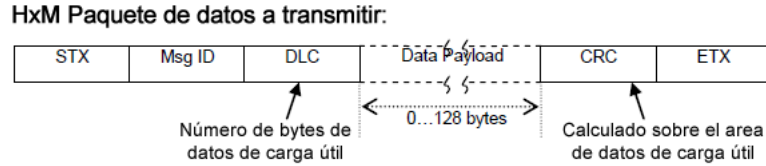


Figura 3.6: Formato básico del mensaje.

3.6. Sensores de contexto

Los sensores deben permitir la adquisición de datos e información desde el mundo físico. La interconexión y comunicación de varios sensores proporcionan al sistema ubicuo una visión más amplia y apegada al mundo físico que le rodea. Puede percibirse que la adaptación a entornos cambiantes puede beneficiar los sistemas móviles y hacer posible nuevas aplicaciones[Gellersen, 2001], sin embargo se debe tomar en cuenta qué fenómenos o eventos del mundo físico deben ser tomados como contexto. Lo anterior da pie al surgimiento de las siguientes interrogantes ¿Cómo obtener la información? y ¿Cómo construir la percepción de contexto y el comportamiento situado en las aplicaciones?.

3.6.1. Acelerómetros

Un acelerómetro mide la fuerza gravitacional o aceleración. Los sensores de aceleración o acelerómetros son dispositivos que basan su funcionamiento en el principio de aceleración descubierto por Newton:

$$F = m.a \quad (3.23)$$

Donde:

F = Fuerza, m = masa, a = aceleración.

Por lo que están provistos de un masa móvil(elementos mecánicos, capacitivos, inductivos, piezoeléctricos), sobre la cual se aplicará la fuerza que

producirá la aceleración, además de actuar sobre uno o varios ejes (X,Y,Z) [Ruiz and Noguera, 2010]. Muchos dispositivos utilizan el acelerómetro como un entrada de control, detección de choque, estabilizador de plataformas, auto nivelador o como interfaz de inclinación. Actualmente, pueden ser encontrados en cámaras digitales, teléfonos celulares, computadoras portátiles o controles de estaciones de juego como el Wii entre otros. Un acelerómetro puede tener hasta tres ejes, cada uno de ellos etiquetado por las letras X, Y y Z los cuales corresponden al balanceo, inclinación y orientación. La Figura 3.7 muestra los ejes de rotación de un acelerómetro.

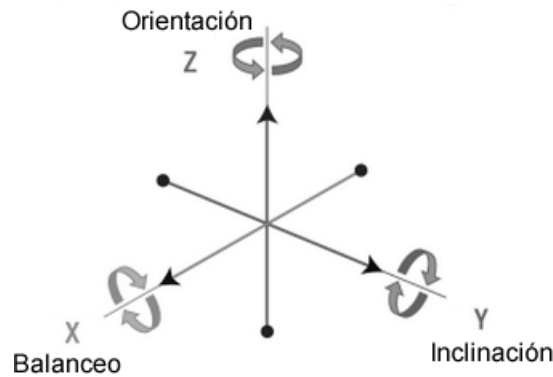


Figura 3.7: Los tres ejes de rotación etiquetados con X (Balance), Y (Inclinación), Z (Orientación) [Warren et al., 2011].

Capítulo 4

Análisis y diseño

El sistema *iCare* propone en su arquitectura dos aplicaciones, una aplicación diseñada para dispositivos móviles inteligentes con sistema operativo Android y una aplicación para el lado del servidor web.

Para el desarrollo de ambas aplicaciones se hace uso de un modelo de ciclo de vida de programación ágil y de manera particular del método de desarrollo de sistemas dinámicos[Pressman, 2005].

En este capítulo se muestra el modelo conceptual y la arquitectura general del sistema *iCare* y sus correspondientes módulos. Se describe también paso a paso la recopilación de los requerimientos, el análisis y el diseño de ambas aplicaciones, apoyándose en herramientas como el planteamiento de eventos, descripción de escenarios, generación de casos de uso, diagramas de clase, diagramas de actividades, diagramas de secuencia, entre otros.

Hacia el final del capítulo se expone el diseño de la base de datos del lado del servidor Web con su respectivo diagrama entidad-relación.

4.1. Arquitectura de la aplicación

4.1.1. Diseño conceptual

El diseño conceptual del sistema y la interacción que tiene cada uno de los componentes se puede observar en la Figura 4.1. De manera general, los sensores interactúan con el dispositivo móvil inteligente enviando información del signo vital monitoreado y actividad física del usuario.

El dispositivo móvil inteligente realiza la recepción, análisis y almacenamiento temporal de la información recibida y es el encargado de lanzar una alarma, si el resultado del módulo de toma de decisiones así lo determina. Éste también interactúa con el servidor enviándole información actualizada de los datos recibidos de los sensores y valores arrojados del análisis de los mismos.

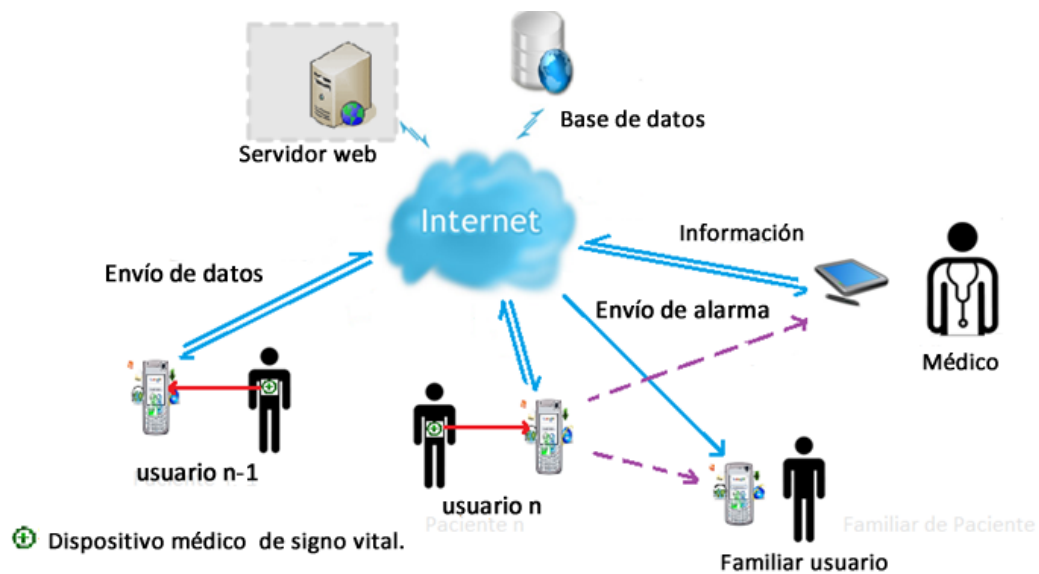


Figura 4.1: Diagrama conceptual del sistema iCare.

4.1.2. Arquitectura iCare

La Figura 4.2 muestra un diagrama con la arquitectura del sistema propuesto.

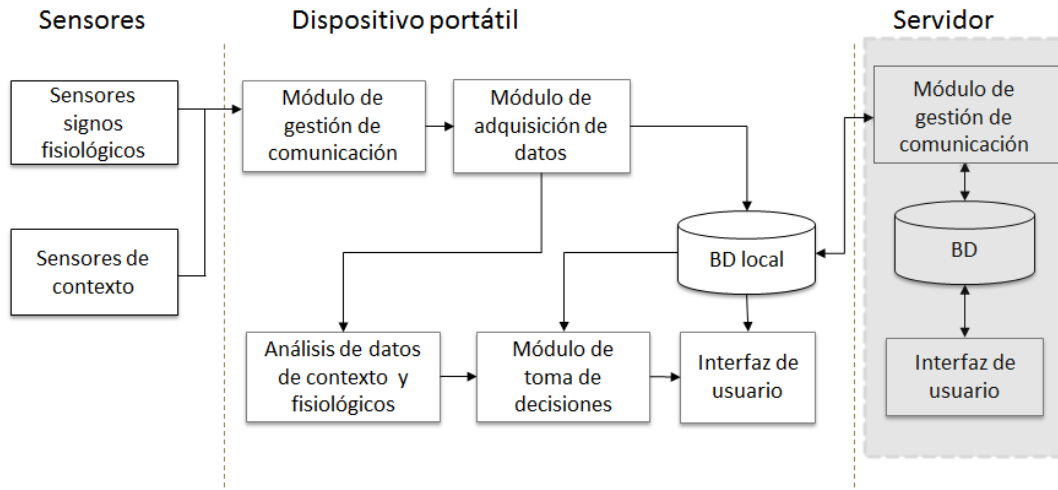


Figura 4.2: Arquitectura del sistema iCare.

Como puede observarse la arquitectura está dividida en tres capas, a continuación se describe cada una de estas capas.

- Sensores.** Conformado por un acelerómetro y un dispositivo portátil de monitoreo de frecuencia cardíaca. El acelerómetro sirve para inferir el tipo de actividad física que está realizando el usuario y el dispositivo portátil se encarga de muestrear su frecuencia cardíaca.
- Dispositivo móvil inteligente.** Encargado de la recepción y recolección de los datos provenientes de los sensores, de su análisis y del almacenamiento temporal de la información generada.
- Servidor web.** Encargado de la administración de almacenamiento y presentación de los datos recolectados por el dispositivo móvil inteligente. El acceso y visualización de la información del usuario puede ser realizada por los usuarios autorizados desde cualquier dispositivo con acceso a Internet.

4.2. Obtención de requerimientos

Para la especificación de requerimientos se realizó una breve investigación de los principales productos en el mercado que ofrecen servicios similares de monitoreo y también se hizo uso de un prototipo.

La aplicación iCare en el dispositivo móvil tiene como funciones principales mantener de manera intermitente un canal de comunicación con el dispositivo de monitoreo de la señal fisiológica vía Bluetooth, conjuntar los diversos parámetros necesarios para llevar a cabo un análisis, determinar posibles estados de alerta y almacenar de manera temporal la información recolectada y la generada después de ser procesada.

Mientras que del lado del servidor, una aplicación diferente se encarga de gestionar el almacenamiento en su base de datos, gestionar la información almacenada de manera temporal en el dispositivo móvil y presentar al usuario una interfaz amigable que le permita realizar consultas y configuraciones de perfil. El usuario puede acceder a esta aplicación desde cualquier terminal que cuente con una conexión a Internet.

4.2.1. Identificación de actores

La identificación de actores se hace usando un esquema de descripción de eventos. La Tabla 4.1 se muestra la descripción de cómo los usuarios interactúan con sistemas similares al propuesto.

De los eventos descritos se identifican los siguientes actores:

- Usuario (paciente).
- Profesional de la salud (médico).
- Familiar del usuario.
- Administrador.

Evento	Descripción
Paciente adquiere un dispositivo médico portátil para el monitoreo de un signo vital por primera vez.	Cuando un paciente adquiere por primera vez un dispositivo médico para el monitoreo de algún signo vital, requiere que este dispositivo ofrezca un servicio para poder visualizar los valores de sus signos vitales muestreados. A menudo esto ocurre si el dispositivo cuenta con; una pantalla integrada que le permite visualizar los datos, almacenamiento de los valores en una memoria externa o bien el envío de dichos valores a otro dispositivo mediante un canal de comunicación inalámbrica o alámbrica, siendo muy común el dispositivo receptor una computadora personal, PDA o teléfono inteligente. Existen fabricantes de dispositivos médicos para el monitoreo de signos vitales que proporcionan a sus usuarios una aplicación Web que les proporcione algún tipo de servicio de análisis y gráficas de los signos vitales muestreados. Para tener acceso a estos servicios es necesario que se suscriban a la aplicación mediante el llenado de un formulario.
Los familiares y el médico del usuario reciben mensajes de texto, sobre el estado de los signos vitales del usuario que están siendo monitoreados.	Los dispositivos móviles que realizan el monitoreo intermitente o continuo de los signos vitales cuentan con un mecanismo que, interpreta si los signos vitales son normales o anormales. De ser interpretados como anormales se requiere que sea notificado el estado del signo vital monitoreado al profesional de la salud responsable del usuario y notificar a los familiares del usuario, lo anterior con la finalidad de prevenir posibles situaciones de riesgo.
Usuario hace una visita regular a su médico.	El usuario realiza la visita periódica a su médico, éste puede visualizar el comportamiento de sus signos vitales mediante el uso de una terminal conectada a Internet, tal terminal puede ser una computadora personal. Lo anterior puede servir al médico como una herramienta que de soporte a su diagnóstico o que le permita evaluar el progreso de una enfermedad asociada al signo vital monitoreado.

Tabla 4.1: Descripción de eventos.

4.2.2. Escenarios

Los eventos descritos proporcionan material suficiente para armar algunos escenarios representativos del sistema iCare.

Escenario *iniciarAplicacion*

La Tabla 4.2 describe el escenario “*iniciarAplicacion*”. En este escenario se plantea el inicio de la aplicación *iCare* en el dispositivo móvil inteligente.

Nombre del escenario:	<i>iniciarAplicacion</i>
Instancias de actores participantes:	María: usuario <i>iCare</i> : aplicación
Flujo de eventos	1. María se coloca en el pecho el dispositivo médico para el monitoreo de su frecuencia cardíaca. 2. María enciende su teléfono móvil inteligente. 3. Al desbloquear su teléfono se posiciona en la pantalla inicial. 4. María accede al menú de aplicaciones que tiene disponibles en su teléfono. 5. Entre las múltiples aplicaciones instaladas en su teléfono, busca el icono de <i>iCare</i>, el cual representa la aplicación que recibe y analiza los valores de la frecuencia cardíaca provenientes de un dispositivo médico portátil. 6. Accede a la aplicación dando un clic sobre el icono que identifica a la aplicación <i>iCare</i>. 7. La aplicación inicia.

Tabla 4.2: Escenario: *iniciarAplicacion*

Escenario *iniciarRecepcionDatos*

La Tabla 4.3 describe el escenario “*iniciarRecepcionDatos*”. En este escenario se describe el inicio de la recepción de datos en el teléfono móvil inteligente emitidos por el dispositivo médico que monitorea un signo vital.

Nombre del escenario:	<i>iniciarRecepcionDatos</i>
Instancias de actores participantes:	María: usuario <i>iCare</i> : aplicación
Flujo de eventos	1. Si en la aplicación <i>iCare</i> la opción de monitoreo está habilitada, María puede seleccionar la opción para iniciar la recepción de los valores del signo vital monitoreado desde el dispositivo médico. 2. La aplicación <i>iCare</i> inicia la recepción de los valores provenientes del dispositivo médico portátil. 3. Si no inicia el servicio de monitoreo de manera automática, María puede iniciar el servicio de forma manual, eligiendo la opción de conectar. Si no se ha podido establecer la comunicación con el dispositivo médico se le muestra un mensaje al usuario que le notifica el intento fallido de conexión. Para intentar nuevamente la conexión entre ambos dispositivos, María puede verificar si el dispositivo médico está encendido o bien si el dispositivo médico ha sido emparejado con el dispositivo móvil.

Tabla 4.3: Escenario: *iniciarRecepcionDatos*

Escenario *analisisDatos*

La Tabla 4.4 describe el escenario “*analisisDatos*”. Este escenario describe como la aplicación *iCare* realiza el análisis de los datos del signo vital monitoreado y los valores provenientes de un acelerómetro.

Nombre del escenario:	<i>analisisDatos</i>
Instancias de actores participantes:	Zephyr: dispositivo que mide frecuencia cardíaca <i>iCare</i> : aplicación
Flujo de eventos	1. El intervalo de tiempo definido para realizar el análisis de los datos recibidos de Zephyr, está establecido por el médico, sin embargo, por defecto se establecen 5 minutos. 2. Los valores recibidos del dispositivo médico, los valores del acelerómetro y estilo de vida, conforman la entrada de parámetros del módulo de análisis de datos. 3. La salida del módulo anterior es la entrada del módulo de toma de decisiones.

Tabla 4.4: Escenario: *analisisDatos*.

Escenario *EnvioArchivosDatos*

La Tabla 4.5 describe el escenario “*EnvioArchivosDatos*”, el escenario propone como condición inicial el acceso a Internet en el dispositivo móvil para realizar la transmisión de los archivos generados por el monitoreo del signo vital.

Nombre del escenario:	<i>envioArchivoDatos</i>
Instancias de actores participantes:	María: usuario <i>iCare</i> : aplicación <i>iCare</i> para dispositivo móvil <i>iCareWeb</i> : aplicación <i>iCare</i> del lado del servidor Web
Flujo de eventos	1. Para realizar la transferencia de archivos a <i>iCareWeb</i>, el teléfono móvil debe tener activada la red inalámbrica Wi-Fi y tener acceso a Internet. 2. La transferencia de los archivos puede ser iniciada por tres posibles circunstancias; cada 15 minutos transcurridos después del inicio del monitoreo, cuando el espacio reservado en la memoria del teléfono móvil para el almacenamiento de archivos generados por <i>iCare</i> ha alcanzado un umbral previamente establecido y cuando manualmente el usuario inicia el respaldo de su información. 3. Si la petición de conexión es aceptada y establecida correctamente, el teléfono envía a <i>iCareWeb</i> un archivo conformado por los datos recibidos del dispositivo médico, el resultado de su análisis de datos, entre otros. 4. Si la conexión no fue establecida correctamente, <i>iCare</i> envía un mensaje a María notificándole el estus del envío de los datos y de manera automática envía esos datos a un almacenamiento temporal en la memoria externa disponible del teléfono móvil.

Tabla 4.5: Escenario: *EnvioArchivosDatos*.

4.2.3. Especificación de requisitos

Derivado de la descripción de los escenarios y del diseño de un prototipo se recopilaron los requisitos funcionales que la aplicación del dispositivo móvil debe ser capaz de realizar, así como los requerimientos no funcionales.

En las Tablas 4.6 y 4.7 se listan los requerimientos para ambas aplicaciones, la del dispositivo móvil y la del lado del servidor respectivamente.

Tipo de Requerimiento	Descripción
Funcional	■ Contar con secciones para la configuración del perfil del usuario, configuración de dispositivo, respaldo de información y visualización de los datos recopilados. ■ Se debe mantener un canal de comunicación entre el dispositivo móvil y el dispositivo portátil de monitoreo. ■ Generación de una clave que identifique de manera única al usuario de la aplicación. ■ Integración y visualización de gráficas que permitan al usuario tener acceso a la información capturada. ■ Informar sobre estatus de signos vitales a las entidades que se consideren pertinentes.
Facilidad de uso	■ Las opciones que ofrece la aplicación deben ser lo suficientemente claras. ■ La aplicación se adaptará las resoluciones de pantalla más común mente usadas en los dispositivo móviles. ■ Los colores permiten al usuario identificar de manera rápida el estatus de sus signos vitales. ■ Emplear diferentes maneras para acceder y usar la aplicación, tales como el uso de gestures o voz.

Tipo de Requerimiento	Descripción
Fiabilidad	- La aplicación asegura que la recepción de los signos vitales solo sean captadas por un solo dispositivo móvil. - La aplicación se asegura de enviar los mensajes de alarma a los destinatarios pertinentes en cuanto le sea posible. - La aplicación realizará respaldos de la información de forma periódica. - La aplicación realizará una revisión periódica sobre la disponibilidad de memoria externa de dispositivo móvil.
Rendimiento	La aplicación debe ser capaz de operar de manera intermitente todos los días.
Soporte	- El diseño de la arquitectura de la aplicación debe permitir extender funcionalidades o añadir módulos en el futuro. - El lenguaje en el que se desarrolla la aplicación asegura el soporte necesario a futuro aun cuando alguna clase o método implementado sea depreciado.
Implementación	- El sistema operativo bajo el que se implementará la aplicación es Android. - Los componentes a implementar propios de Android son; base de datos SQLite y comunicación Bluetooth, comunicacion Wi-Fi.
Interfaz	- Teléfono móvil inteligente con sistema operativo Android 4.0 o superior, adicionalmente debe tener acceso a Internet. - El sistema se desarrollará haciendo uso del editores Open Source como Eclipse.

Tabla 4.6: Especificación de requerimientos para la aplicación del dispositivo móvil

Tipo de Requerimiento	Descripción
Funcional	▪ Contar con las opciones de identificación, Edición de datos clínicos, configuración de perfil, consultas y reportes. ▪ El acceso a cualquier opción solo puede realizarse si el usuario es autenticado y autorizado. ▪ Llenado de formularios simples. ▪ Integración y visualización de gráficas que permitan al usuario tener acceso a la información capturada. ▪ Integración de gráficas representativas de los datos de los signos vitales monitoreados. ▪ Acceso a la aplicación desde cualquier terminal que cuente con una conexión a Internet.
Facilidad de uso	▪ Las opciones que ofrece la aplicación deben ser lo suficientemente claras. ▪ El tamaño de la letra debe ser adecuada para el usuario. ▪ Velocidad y procesamiento libre de inconsistencias al realizar las consultas. ▪ Ofrecer la opción de imprimir los reportes que puedan ser generados.
Fiabilidad	▪ Se debe garantizar la consistencia en la información. ▪ Debe poseer esquemas que garanticen que solo los usuarios registrados pueden acceder a información clasificada como privada.
Rendimiento	▪ La aplicación debe ser capaz de operar todos los días, las 24 horas. ▪ El sistema debe ser capaz de soportar al menos 20 usuarios de manera simultánea, esto dentro del marco de una etapa de prueba.

Tipo de Requerimiento	Descripción
Soporte	■ El diseño de la arquitectura de la aplicación debe permitir extender funcionalidades o añadir módulos en el futuro. ■ El lenguaje en el que se desarrolla la aplicación asegura el soporte necesario a futuro aún cuando alguna clase o método implementado sea depreciado.
Implementación	■ El lenguaje para el desarrollo de la aplicación es Java. ■ La visualización de la información en las terminales es mediante cualquier navegador y bajo el protocolo http. ■ Uno de los componentes a utilizar en la creación de las gráficas es jFreeChart de código abierto. ■ El gestor de la base de datos es MySQL.
Interfaz	■ El sistema se desarrollara haciendo uso del editores Open Source.

Tabla 4.7: Especificación de requerimientos para la aplicación del lado del servidor

4.3. Análisis

De la fase de análisis se desprende el modelo para las aplicación del dispositivo móvil y del lado del servidor. Los siguientes apartados dan la formalización de los requerimientos descritos en la sección anterior.

4.3.1. Casos de uso *iCare*

En la siguiente sección se presentan los casos de uso para el dispositivo móvil.

Caso de uso *iniciarAplicacion*

Los casos de uso generados a partir de la descripción de los escenarios son los siguientes:

La descripción del caso de uso “*iniciarAplicacion*” se muestra en la Tabla 4.8 y en su flujo de eventos, puede observarse que sucede cuando el usuario da inicio a la aplicación de monitoreo en el dispositivo móvil inteligente.

Nombre del caso de uso:	<i>iniciarAplicación</i>
Actores participantes:	Iniciado por: usuarioPaciente Se comunica con: iCare
Condición inicial	1. La aplicación ha sido previamente instalada de manera correcta en el dispositivo móvil y el Bluetooth del dispositivo móvil ha sido habilitado. 2. El usuarioPaciente activa la función “Iniciar aplicación” desde su teléfono móvil inteligente.
Flujo de eventos	2. iCare responde al usuarioPaciente con un mensaje de bienvenida. 3. El usuarioPaciente es direccionado a la pantalla principal de la aplicación en donde se despliega el menú principal.
Condición de salida	4. La bandera de inicio de aplicación pasa a un estado verdadero.

Nombre del caso de uso:	<i>iniciarAplicación</i>
Requerimientos especiales	El sistema <i>iCare</i> inicia en menos de un segundo.
Excepciones al flujo	Si al iniciar el sistema el Bluetooth del dispositivo no está habilitado, la aplicación envía una petición al usuario para que de el consentimiento de habilitarlo. Si el usuario acepta la petición, la aplicación inicia la habilitación de Bluetooth en el dispositivo móvil.
Cursos alternativos	- configurarPerfil - SeleccionarDispositivo

Tabla 4.8: Caso de uso: *iniciarAplicacion* para el dispositivo móvil.

El diagrama UML del caso de uso “*iniciarAplicacion*” puede observarse en la Figura 4.3.

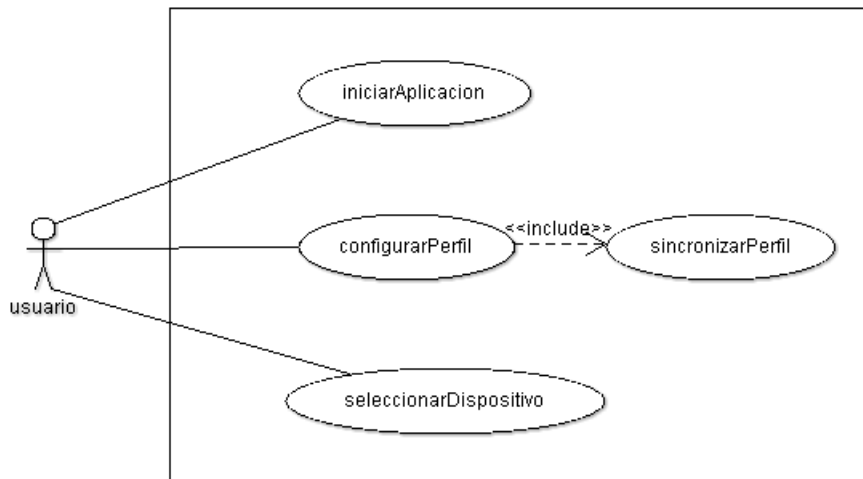


Figura 4.3: Diagrama de casos de uso: *iniciarAplicacion iCare* en el dispositivo móvil.

Caso de uso *iniciarMonitoreo*

La Tabla 4.9 describe el caso de uso “*iniciarMonitoreo*”, mismo que expone el flujo de eventos para el inicio del monitoreo del signo vital del usuario.

Nombre del caso de uso:	<i>iniciarMonitoreo</i>
Actores participantes:	Iniciado por: usuarioPaciente Se comunica con: dispositivoMedico, iCare
Condición inicial	1. El usuarioPaciente ha seleccionado el dispositivo médico mediante el caso de uso <i>seleccionarDispositivo</i> y se ha establecido la comunicación con el dispositivoMedico. 2. Se ha activado la función “Iniciar monitoreo” en iCare.
Flujo de eventos	3. iCare inicia la recepción de los datos, enviados por el dispositivoMedico, en pantalla se muestra al usuario los valores recibidos. El estado de conexión se establece a verdadero. 4. Al mismo tiempo se inicia el análisis de los datos recibidos mediante el caso de uso <i>analizarDatos</i>. 5. En el caso de que la comunicación entre el dispositivoMedico y iCare sea interrumpida, se envía un mensaje de notificación al usuario y la aplicación maneja la pérdida de la comunicación mediante el caso de uso <i>conexiónPerdida</i>. 6. iCare inicia la escritura de los datos mediante el caso de uso <i>crearArchivo</i>. 7. El usuarioPaciente tiene la opción de detener manualmente el caso de uso <i>iniciarMonitoreo</i>.
Condición de salida	8. iCare envía un mensaje al usuario confirmando el estado del monitoreo. 9. Los archivos creados son almacenados en una base de datos.
Requerimiento especiales	■ El mensaje de estado es mostrado al usuario en menos de 10 segundos después de haber iniciado la función “<i>iniciarMonitoreo</i>”.

Nombre del caso de uso:	<i>iniciarMonitoreo</i>
Cursos alternativos	1. <i>seleccionarDispositivo</i> 2. <i>iniciarAplicación</i> 3. <i>analizarDatos</i> 4. <i>enviarAlarma</i> 5. <i>crearArchivo</i> 6. <i>detenerMonitoreo</i>

Tabla 4.9: Diagrama del caso de uso: *iniciarMonitoreo* en el dispositivo móvil.

La Figura 4.4 muestra el diagrama del caso de uso “*iniciarMonitoreo*”.

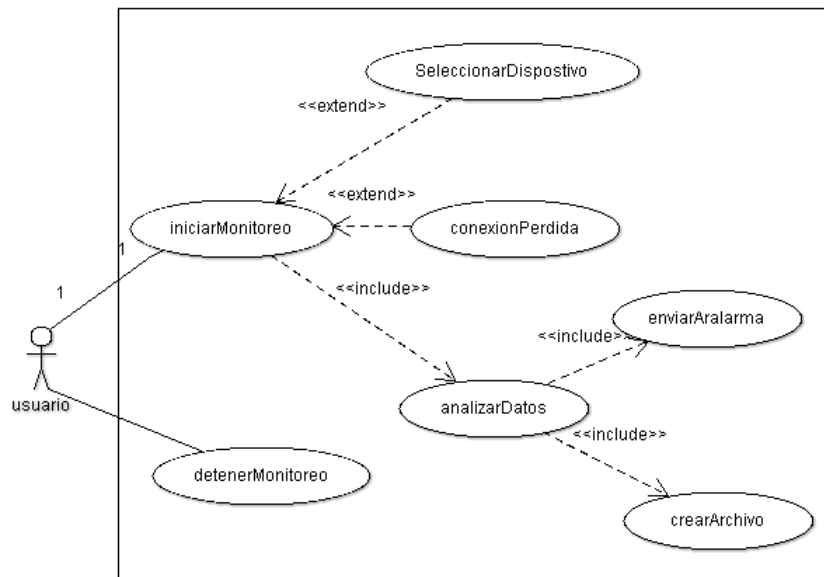


Figura 4.4: Diagrama de caso de uso: *iniciarMonitoreo* en el dispositivo móvil.

Caso de uso *iniciarRespaldo*

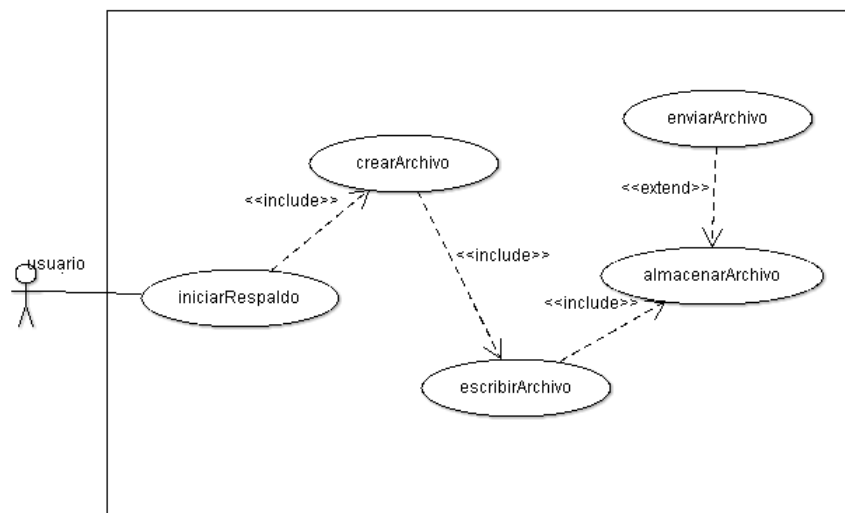
La Tabla 4.10 muestra el caso de uso “*iniciarRespaldo*”, el cual describe el flujo de eventos para el respaldo de información que se haya generado, recolectado y almacenado en la memoria del dispositivo móvil hasta el momento.

Nombre del caso de uso:	<i>iniciarRespaldo</i>
Actores participantes:	Iniciado por: usuarioPaciente
Condición inicial	1. El usuarioPaciente activa la función “ <i>iniciarResplado</i> ”.
Flujo de eventos	2. El sistema iCare envía un mensaje al usuarioPaciente para que confirme si desea iniciar un respaldo de la información. 3. El usuarioPaciente acepta el inicio del respaldo de su información. 4. Se crea el fichero mediante el caso de uso <i>crearArchivo</i> e inicia la escritura del fichero con la información mediante el caso de uso <i>escribirArchivo</i>. 5. El archivo creado es almacenado en la memoria externa del dispositivo móvil mediante el caso de uso <i>almacenarArchivo</i>. 6. Si el usuario tiene acceso a Internet la aplicación enviará el archivo creado a el servidor Web mediante el caso de uso <i>enviarArchivo</i>.
Condición de salida	7. iCare envía un mensaje al usuario confirmando el estado del respaldo de los datos e información generada a partir de su análisis.
Requerimiento especiales	▪ El tiempo en que se realiza el respaldo de su información no debe exceder a los 60 segundos después de que el usuario a confirmado el respaldo. ▪ Para la transmisión del archivo creado se debe contar con acceso a Internet durante el proceso de respaldo para garantizar su envío. ▪ La interfaz para el usuario debe ser sencilla e intuitiva y mostrarle en todo momento el estado del respaldo.

Nombre del caso de uso:	<i>iniciarRespaldo</i>
Cursos alternativos	1. <i>crearArchivo</i> 2. <i>escribirArchivo</i> 3. <i>almacenarArchivo</i> 4. <i>enviarArchivo</i>

Tabla 4.10: Caso de uso: *iniciarRespaldo*.

La Figura 4.5 muestra el diagrama de los casos de uso derivados del respaldo de la información.

**Figura 4.5:** Diagrama de caso de uso: *iniciarRespaldo*.

4.3.2. Casos de uso *iCare* del lado del servidor web

Los casos de uso más representativos que se consideran para la aplicación *iCare* del lado del servidor Web se describen a continuación. Los casos de uso restantes pueden ser consultados en el apéndice B.

Caso de uso *configurarAplicacion*

La Tabla 4.11 describe el caso de uso “*configurarAplicacion*”. Este caso de uso expone la manera en como un usuario registrado y con los permisos necesarios puede editar la información relacionada con los parámetros que son necesarios para el análisis en el dispositivo móvil, tales como el tiempo de lectura de los signos vitales.

Nombre del caso de uso:	<i>configurarAplicacion</i>
Actores participantes	Iniciado por: usuarioMedico
Condición inicial	1. El usuarioMedico ha sido dada de alta como usuario y se le han asignado los permisos correspondientes. 2. El usuarioMedico se autentifica con el sistema mediante el caso de uso <i>iniciarSesion</i>.
Flujo de eventos	3. iCareWeb despliega en la pantalla el nombre completo de todos usuarioPaciente que están adscritos a él. 4. El usuarioMedico elige un usuarioPaciente. 5. Se muestra en la pantalla los dispositivos médicos asociados al usuarioPaciente seleccionado. 6. El sistema muestra en pantalla un formulario que será utilizado para establecer los parámetros que conforman la configuración de la aplicación en el dispositivo móvil, los parámetros pueden ser valores de umbrales, tiempos de muestreo de signos vitales, entre otros. 7. El usuarioMedico envía el formulario.
Condición de salida	8. Se habilita una bandera en el sistema indicando que el dispositivo ha sido configurado.

Nombre del caso de uso:	<i>configurarAplicacion</i>
Requerimiento especiales	■ El sistema envía un mensaje en pantalla al usuarioMedico sobre el estado de la transacción realizada. ■ El sistema debe realizar la operación en menos de 30 segundos y se debe indicar al usuario que tarea se esta realizando.

Tabla 4.11: Caso de uso: *configurarAplicacion* Web iCare

Caso de uso *configurarPerfil*

La Tabla 4.12 describe el flujo de eventos del caso de uso “*configurarPerfil*”.

El usuario autorizado puede editar los datos personales que componen su perfil. La configuración del perfil permite a los tres tipos de usuarios identificados como *usuarioPaciente*, *usuarioTutor*, *usuarioMedico* en un principio establecer sus datos personales básicos y en posteriores ocasiones modificar dicha información.

Nombre del caso de uso:	<i>configurarPerfil</i>
Actores participantes	Iniciado por: usuarioMedico / usuarioPaciente / usuarioTutor
Condición inicial	1. El usuarioMedico / usuarioPaciente / usuarioTutor debe haber iniciado sesión y estar autenticado.
Flujo de eventos	2. El usuarioMedico / usuarioPaciente / usuarioTutor , selecciona la función “Editar Perfil” para agregar o modificar los datos de su perfil. 3. iCareWeb le muestra al usuarioMedico/usuarioPaciente/usuarioTutor un formulario con los campos que puede editar de su perfil. 4. Se válida el llenado del formulario. 5. Si la validación de los campos del formulario es correcta se habilita la opción para que el formulario sea aceptado. 6. Si la validación de los campos del formulario es incorrecta, el sistema muestra los campos en donde se produjo el error. 7. El usuarioMedico / usuarioPaciente / usuarioTutor envía el formulario.
Condición de salida	7. iCareWeb envía un mensaje en pantalla al usuarioMedico/ usuarioPaciente/ usuarioTutor con el estado de la petición.

Nombre del caso de uso:	<i>configurarPerfil</i>
Requerimiento especiales	■ La validación de los campos del formulario debe realizarse conforme el usuario introduzca sus datos. ■ Se debe indicar al usuario en todo momento la tarea que se encuentra realizando el sistema, lo anterior con la finalidad de darle la certeza que se esta realizando alguna tarea. ■ La respuesta de iCareWeb a la petición de configuración no debe exceder los cinco segundos, después de haber sido enviado el formulario.

Tabla 4.12: Caso de uso: Configurar Perfil aplicación Web

Caso de uso *consultarHistorial*

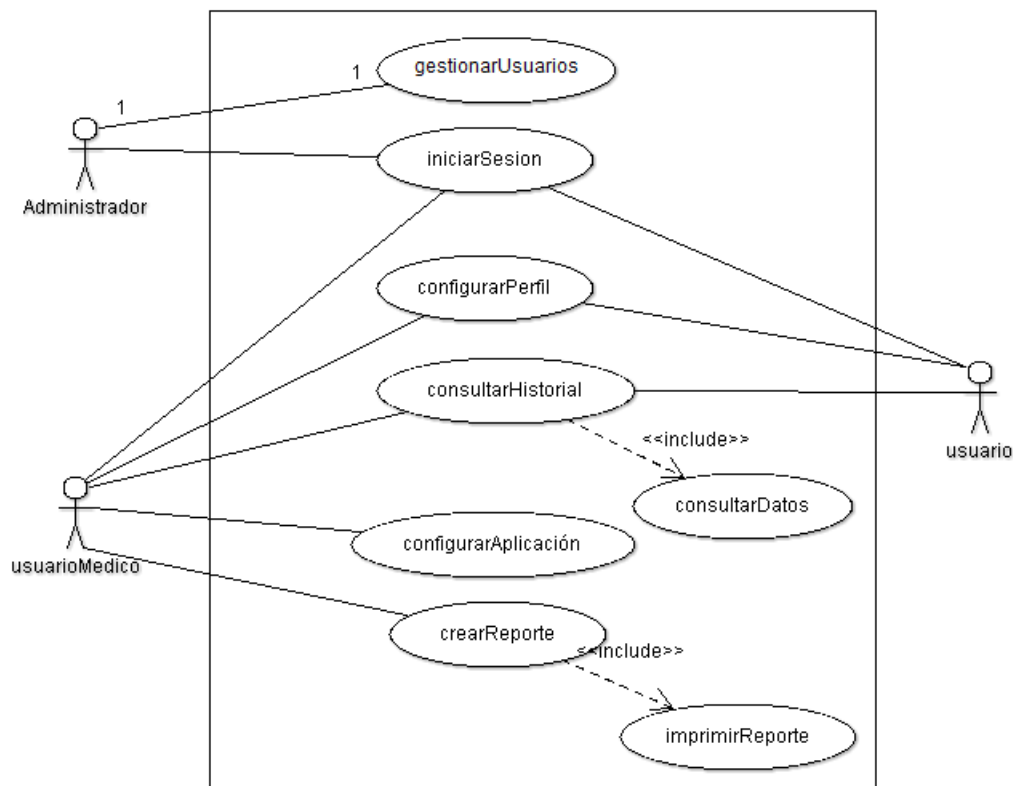
La Tabla 4.13 describe el flujo de eventos que componen el caso de uso “*consultarHistorial*”. El usuario puede realizar consultas sobre un **usuarioPaciente** en particular. La consulta muestra los datos personales, datos clínicos y valores recolectados durante el monitoreo del signo vital del **usuarioPaciente**.

Nombre del caso de uso:	<i>consultarHistorial</i>
Actores participantes	Iniciado por: usuarioMedico Se comunica con: consultarDatos
Condición inicial	1. El caso de uso consultarDatos es incluido en el caso de uso consultarHistorial, es decir, cuando se hace una consulta sobre el historial del usuarioPaciente de manera implícita se hace consulta de sus datos personales mediante el caso de uso consultarDatos 2. El usuarioMedico debe haber iniciado sesión. 3. El usuarioMedico debe tener al menos un usuarioPaciente asociado a él.
Flujo de eventos	3. El usuarioMedico elige la función de “Consultar historial”. 4. En pantalla se despliega al usuarioMedico todos los usuarioPaciente adscritos a él. 5. El usuarioMedico selecciona al usuarioPaciente sobre el cual se realizara la consulta de su historial. 6. Una vez elegido el usuarioPaciente, el sistema hace la petición al sistema para acceder a los datos que conforman el historial. 7. Se despliega en pantalla la información que conforma los datos clínicos, datos personales y valores de los signos vitales, correspondientes al usuarioPaciente consultado. 8. El usuarioMedico puede regresar al menú inicial para realizar otra actividad o tarea.
Condición de salida	9. Se puede realzar la creación de un reporte sobre la consulta realizada mediante el caso de uso crearReporte.

Nombre del caso de uso:	<i>consultarHistorial</i>
Requerimiento especiales	■ El sistema debe mostrar en pantalla mensajes que indiquen el estado de la transacción solicitada. ■ El tiempo de respuesta del servidor no debe exceder los 30 segundos después de haber enviado la petición.

Tabla 4.13: Caso de uso: Consultar historial aplicación Web.

La Figura 4.6 muestra el diagrama de casos de uso para la aplicación *iCare* del lado del servidor Web.

**Figura 4.6:** Casos de uso de la aplicación del lado del servidor Web

4.3.3. Modelo de dominio

El modelo de dominio del sistema forma parte de la descripción del contexto del software, básicamente el modelos de dominio es una representación visual de los objetos del mundo real, objetos de negocio y acontecimientos [Falgueras, 2003].

La Figura 4.7 muestra el modelo de dominio y las relaciones entre los objetos conceptuales de la aplicación *iCare*.

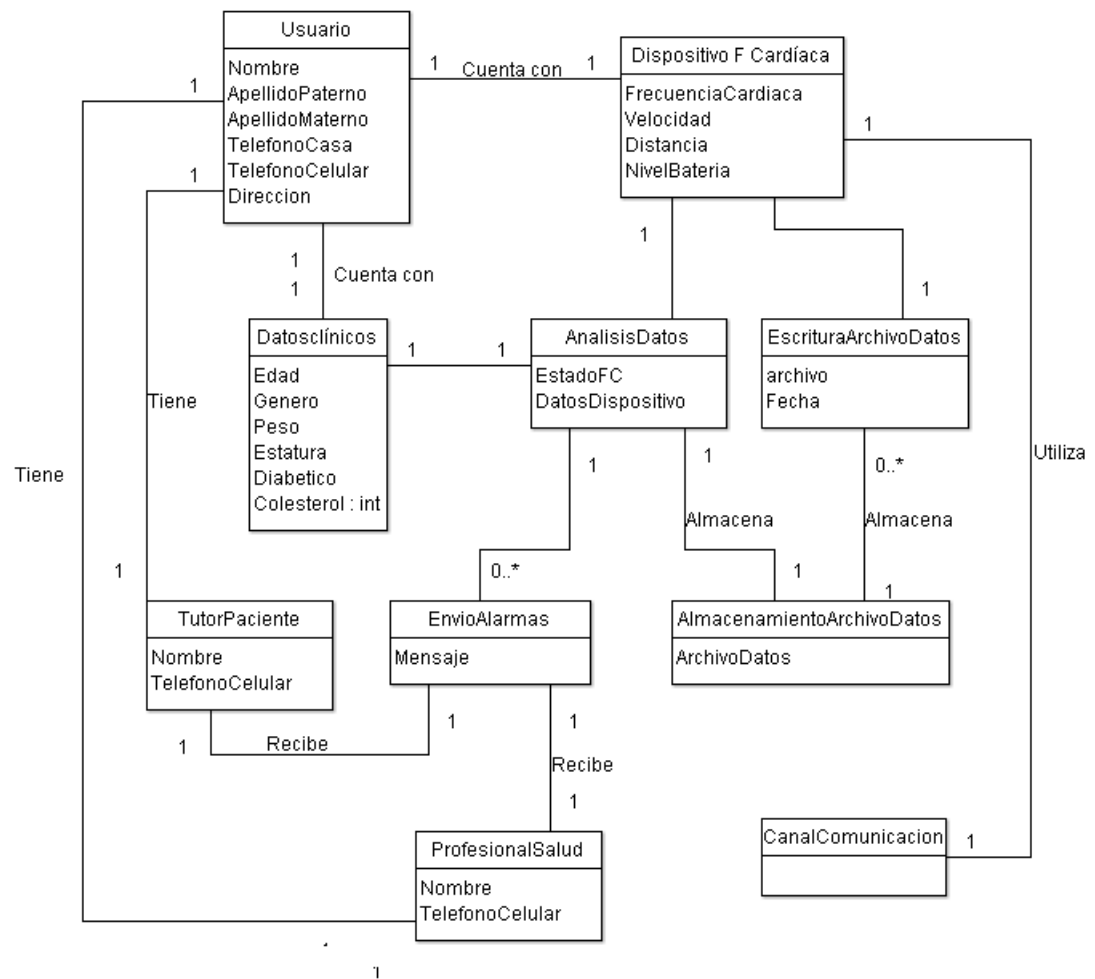


Figura 4.7: Diagrama de modelo de dominio de *iCare*

Los objetos del modelo de dominio son:

1. Usuario.
2. Profesional de la salud.
3. Tutor del usuario.
4. Datos clínicos
5. Envío de alarmas.
6. Análisis de datos.
7. Dispositivo de frecuencia cardíaca

4.3.4. Diagrama de secuencia

A continuación se muestran los diagramas de secuencia correspondientes a los casos de uso descritos anteriormente.

Diagrama de secuencia *iniciarAplicacion*

El diagrama de secuencia para iniciar la aplicación se muestra en la Figura 4.8 se muestran los diferentes objetos que intervienen en el inicio de la aplicación y los respectivos mensajes y acciones enviados entre ellos.

Una acción primordial en el inicio de la aplicación es la habilitación de Bluetooth en el dispositivo móvil inteligente.

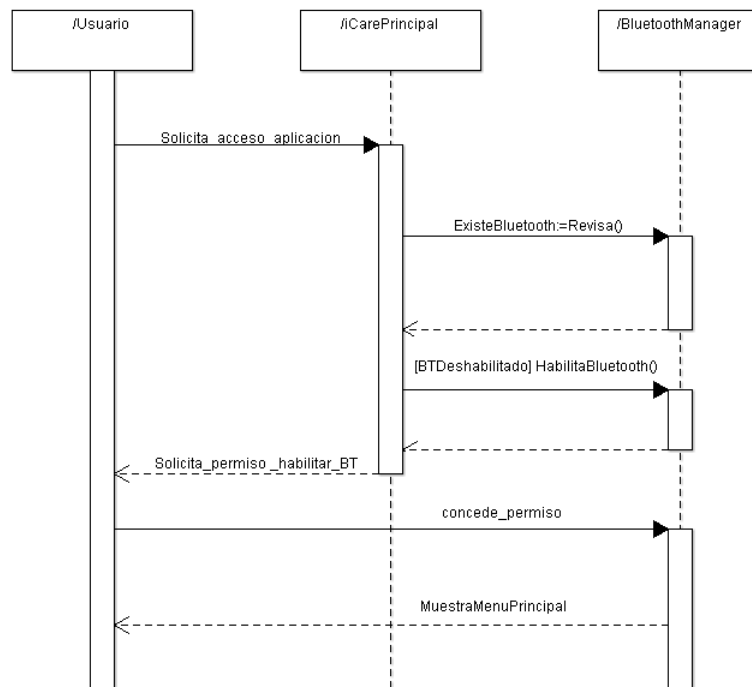


Figura 4.8: Diagrama de secuencia del caso de uso *iniciarAplicacion*.

Diagrama de secuencia *iniciarMonitoreo*

El diagrama de la Figura 4.9 muestra el flujo de mensajes y acciones asociadas al caso de uso inicio de monitoreo.

El usuario selecciona la opción de “*iniciarMonitoreo*” mediante la interfaz de usuario, lo anterior origina que se mande a llamar un mensaje *existeDispositivo* para verificar que existe al menos un dispositivo médico disponible.

Si existe tal dispositivo se lanza el mensaje *estableceComunicacion* y se inicia la transmisión de los datos.

Durante la transmisión de datos se genera un objeto de tipo Archivo, el cual se almacena en una base de datos.

También se genera un objeto del tipo *DatoFisiologico* el cual forma parte de los datos de entrada necesarios para el análisis.

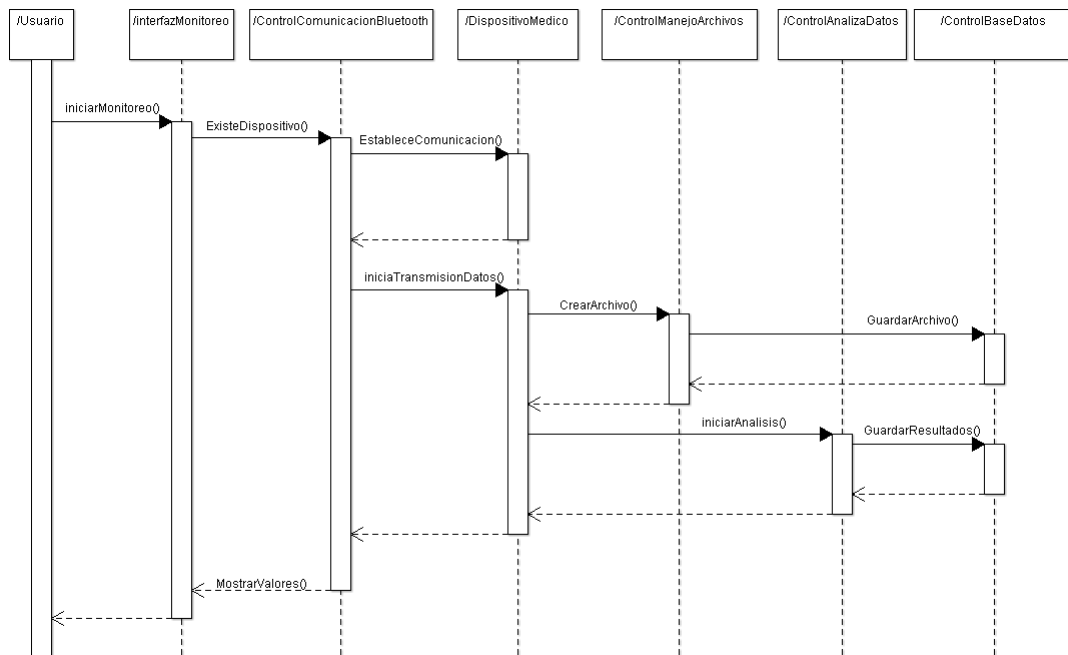


Figura 4.9: Diagrama de secuencia del caso de uso *iniciarMonitoreo*.

Diagrama de secuencia *iniciarRespaldo*

El diagrama de la Figura 4.10 muestra el flujo de mensajes y acciones asociadas al caso de uso *iniciarRespaldo*.

El usuario solicita el inicio del respaldo lo anterior genera una mensaje para la creación de un objeto de tipo archivo.

En el archivo generado se escriben datos clínicos, datos personales y valores de recibidos del dispositivo médico portátil, mismos datos que son solicitados de la base de datos local.

Por último se verifica si el dispositivo tiene acceso a Internet para enviar el archivo, de lo contrario el archivo generado se almacena en la memoria externa del dispositivo móvil en espera de ser enviado.

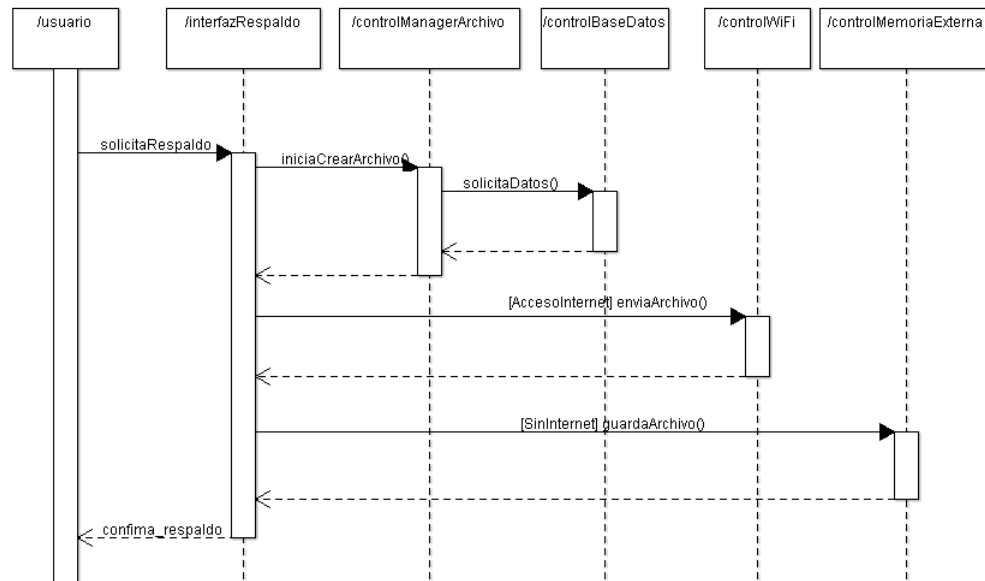


Figura 4.10: Diagrama de secuencia del caso de uso *iniciarRespaldo*.

Diagrama de secuencia *configurarAplicacion*

La Figura 4.11 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso “*configurarAplicacion*”. El usuario con el rol médico puede configurar algunos parámetros necesarios para el análisis de información en la aplicación en el dispositivo móvil.

El usuario médico selecciona *configurarAplicacion*. Se verifica entonces que exista al menos un usuario paciente adscrito al usuario médico, ahora puede seleccionar al usuario y con ellos editar parámetros. Por último se hace una actualización de la base de datos.

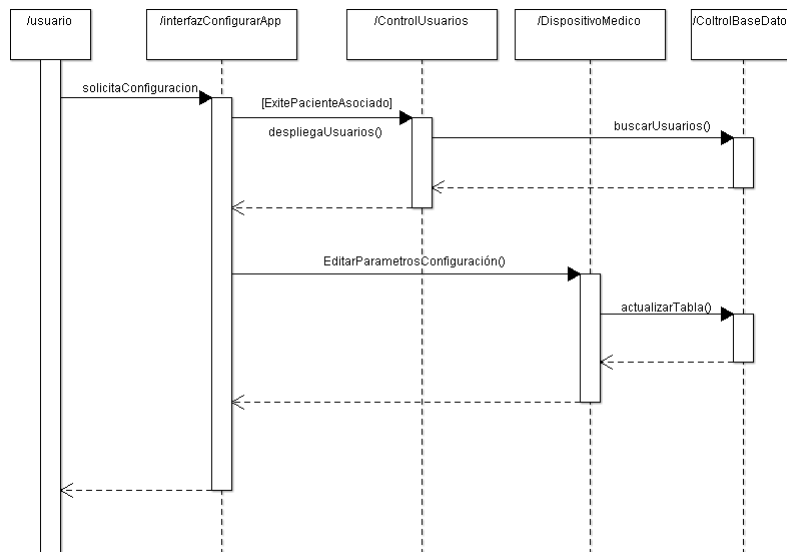


Figura 4.11: Diagrama de secuencia del caso de uso *configurarAplicacion*.

Diagrama de secuencia *configurarPerfil*

La Figura 4.12 describe el diagrama de secuencia del caso de uso “*configurarPerfil*”. El usuario puede agregar su perfil o bien puede ser modificado.

Si selecciona agregar perfil se le muestra un formulario que debe llenar con los datos solicitados, lo anterior crea un objeto de tipo usuario, mismo que será almacenado en la base de datos.

Si el usuario edita su perfil se muestra también un formulario que le permite modificar sus datos y se actualiza la base de datos.

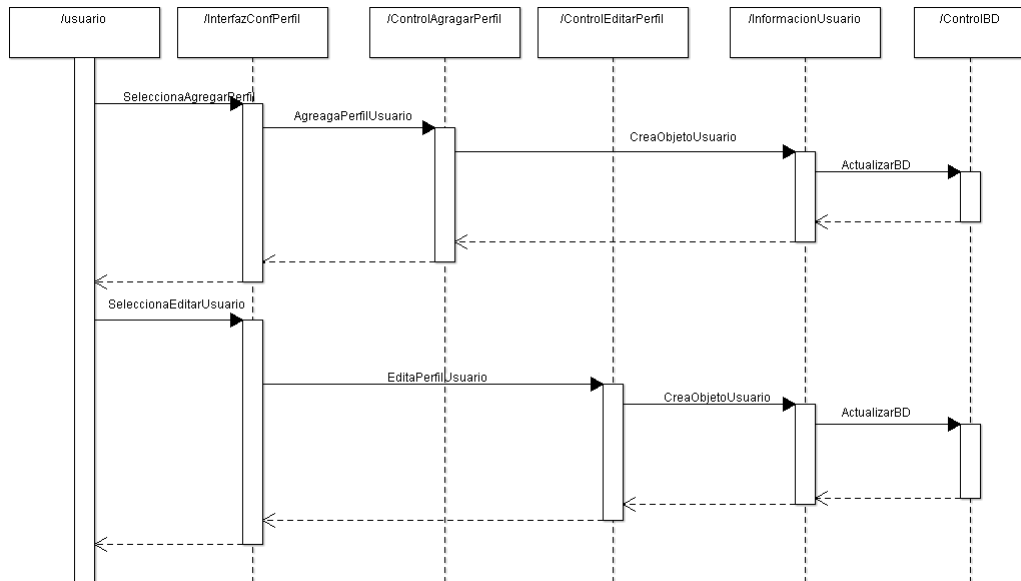


Figura 4.12: Diagrama de secuencia del caso de uso *configurarPerfil*.

Diagrama de secuencia *consultarHistorial*

La Figura 4.13 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso “*consultarHistorial*”.

El usuario medico selecciona realizar una consulta sobre un usuario paciente adscrito a él, del usuario paciente seleccionado se solicita de la base de datos los archivos, datos personales y datos clínicos para que puedan ser desplegados al usuario médico en pantalla.

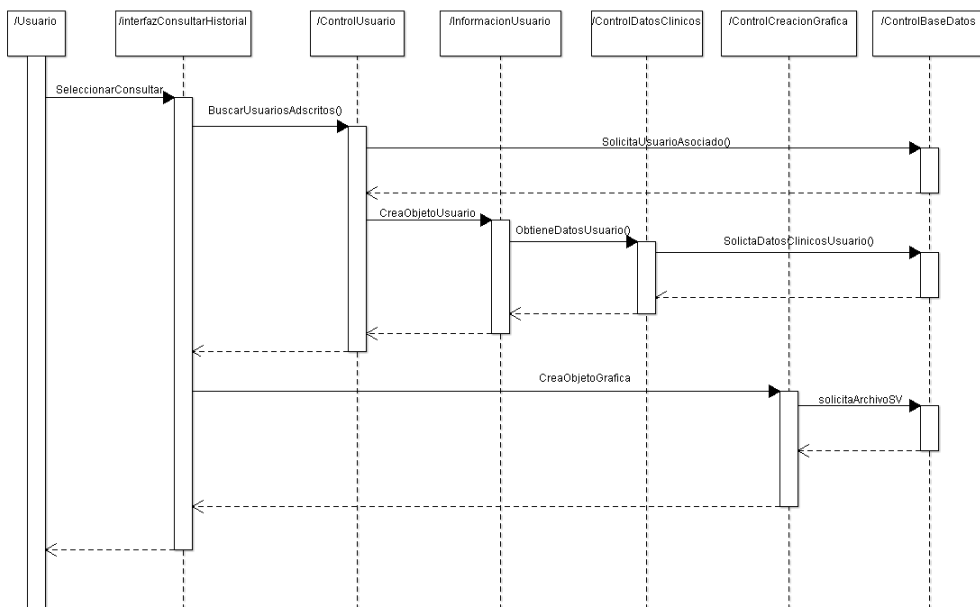


Figura 4.13: Diagrama de secuencia del caso de uso *consultarHistorial*.

4.3.5. Diagrama de actividades

En esta sección se muestran los diagramas de actividades derivados de los casos de uso descritos anteriormente. Y al igual que en esa sección se presentan los diagramas correspondientes a ambas aplicaciones, es decir, los diagramas de actividades de la aplicación *iCare* para el dispositivo móvil y el diagrama de actividades de la aplicación *iCare* del lado del servidor Web.

Diagrama de actividades *iniciarAplicacion*

La Figura 4.14 describe el diagrama de actividades del caso de uso “*iniciarAplicacion*”.

Al iniciar la aplicación en el dispositivo móvil se verifica que éste cuente con Bluetooth y que además este habilitado, si el dispositivo móvil no cuenta con Bluetooth se envía un mensaje de notificación al usuario y se termina la aplicación.

Si el dispositivo cuenta con Bluetooth pero está deshabilitado, se solicita al usuario el permiso para habilitarlo. Finalmente se muestra el menú principal al usuario.

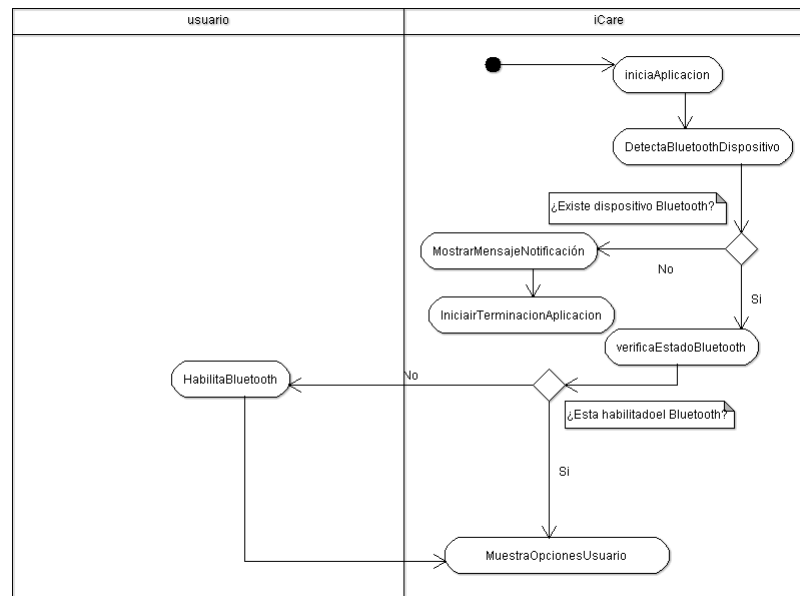


Figura 4.14: Diagrama de actividades *iniciarAplicacion*

Diagrama de actividades *iniciarMonitoreo*

La Figura 4.15 muestra el diagrama de actividades del caso de uso “iniciarMonitoreo”. Cuando el usuario solicita iniciar el monitoreo, la aplicación *iCare* debe tener asociado al menos un dispositivo médico y tener disponibles los datos clínicos del usuario.

Cuando se cumplen ambas tareas se seleccionan alguna de las siguientes actividades; *iniciarMonitoreo*, *SolicitarDatosClinicos* y *detenerMonitoreo*.

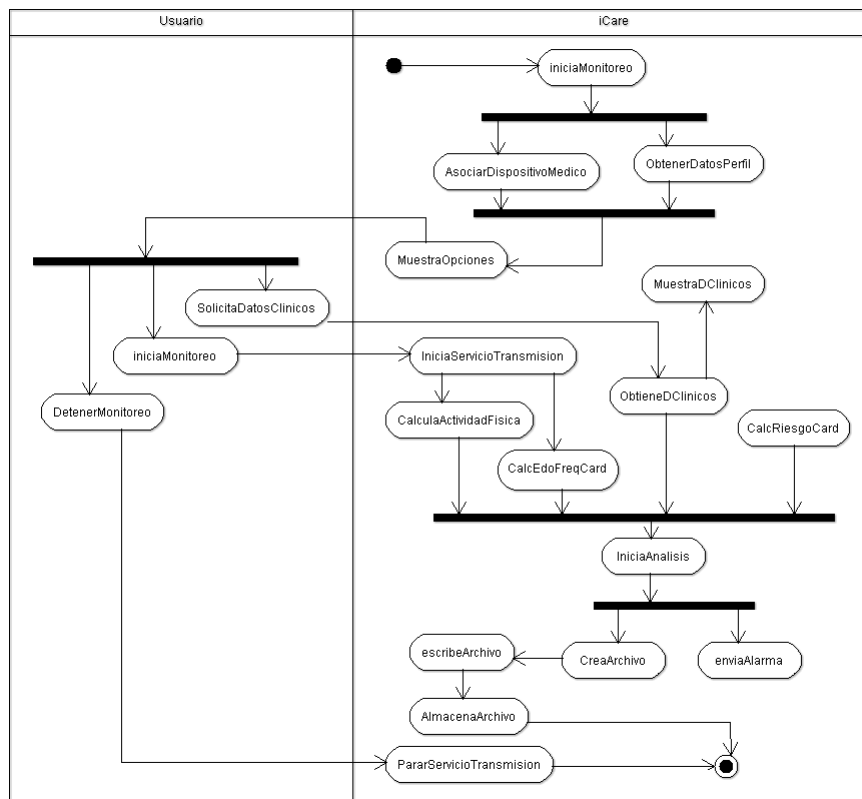


Figura 4.15: Diagrama de actividades de *iniciarMonitoreo*

La actividad *iniciarMonitoreo* comprende desde el establecimiento de un canal de comunicación con el dispositivo médico pasando por el análisis de los valores recibidos, creación y escritura de un archivo con estos valores, hasta su almacenamiento en la base de datos.

La actividad *SolicitarDatosClinicos* comprende el despliegue en pantalla

de los datos clínicos propios del usuario y el cálculo del riesgo cardiovascular. La actividad *detenerMonitoreo* esta habilitada solo si se ha iniciado previamente la monitorización, con esta actividad se para el servicio encargado de la transmisión de los datos.

Diagrama de actividades *iniciarRespaldo*

La Figura 4.16 describe el diagrama de actividades del caso de uso “*iniciarRespaldo*”. Cuando el usuario selecciona iniciar respaldo, la aplicación solicita a la base de datos la información que se escribirá en el archivo que se crea para el respaldo, si el dispositivo móvil dispone de conexión a Internet, se intentará enviar el archivo de respaldo creado al servidor. En caso contrario se verifica si el dispositivo móvil puede almacenar de manera temporal el archivo en la memoria externa.

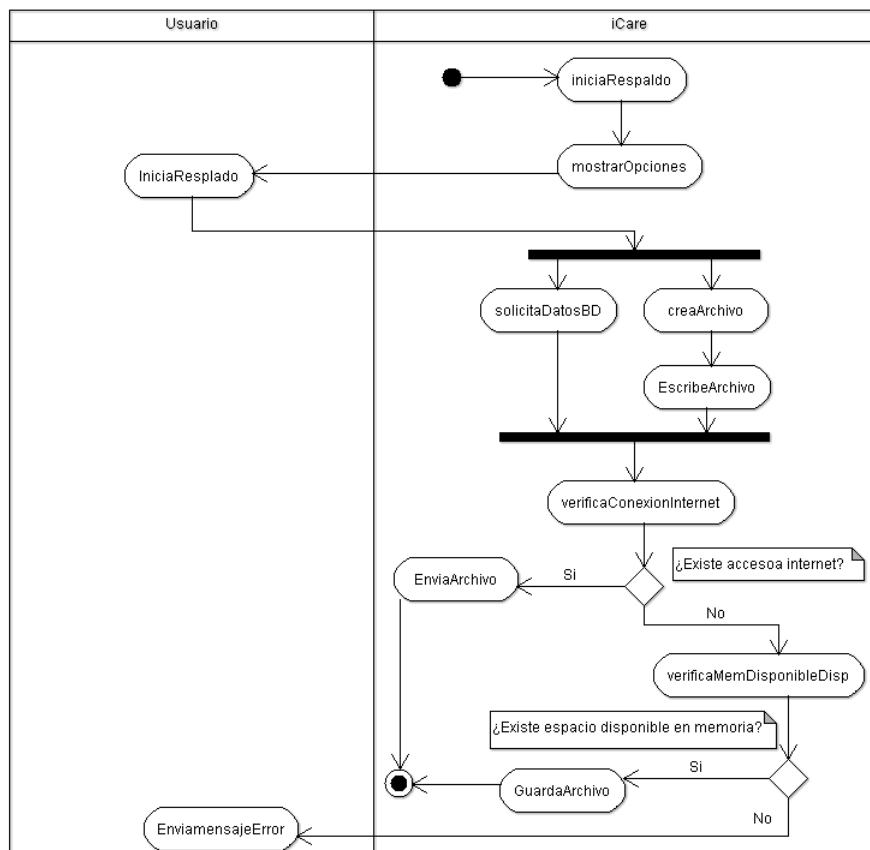


Figura 4.16: Diagrama de actividades *iniciarRespaldo*

Diagrama de actividades de *iCare* del lado del servidor Web

La Figura 4.17 describe el diagrama de actividades correspondiente a los casos de uso “*configurarPerfil*”, “*configurarAplicacion*” y “*consultarHistorial*”. Estos casos de uso pertenecen a la aplicación *iCare* del lado del servidor Web.

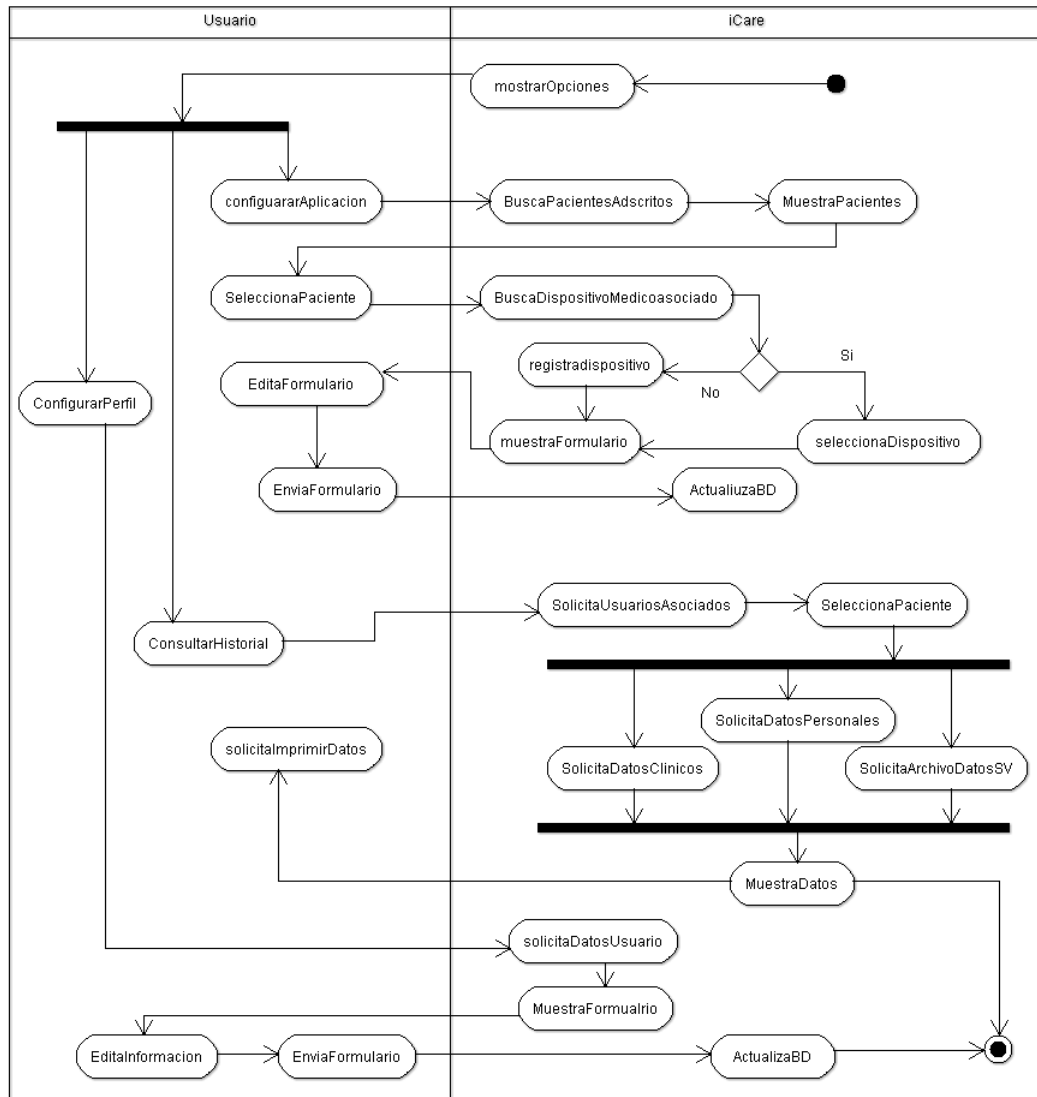


Figura 4.17: Diagrama de actividades de la aplicación *iCare* del lado del servidor Web.

Cuando el usuario selecciona “*configurarPerfil*”, *iCare* despliega un formulario que le permite al usuario agregar su perfil o bien modificarlo, cuando el usuario termina de editar sus datos y envía el formulario a *iCare*, éste se encarga de gestionar la actualización de los datos.

4.4. Diseño

El diseño del software es un proceso iterativo mediante el cual los requisitos se traducen en un “*plano*” para construir el software. El diseño de la aplicación para el dispositivo móvil abarca el diagrama de clases, la descomposición del sistema, el diseño de las interfaces para el usuario en el dispositivo móvil inteligente y en el sitio Web.

4.4.1. Diagrama de clases

La Figura 4.18 y la Figura 4.19 muestran las clases y las relaciones que componen la aplicación *iCare* para el dispositivo móvil.

A continuación se describen las clases más importantes de la aplicación:

- La clase *CareHealthActivity* es la primera en llamarse pues es la encargada de presentar al usuario un menú principal, este menú contiene las opciones para iniciar el monitoreo del signo vital, configurar el perfil del usuario, iniciar un respaldo de información y realizar configuraciones al dispositivo móvil.
- La clase *ManagerDataBase* es la encargada de gestionar la base de datos, es decir, maneja las consultas, selección y actualización de las tablas.
- La clase *ManagerConnectedListener* se encarga de gestionar la transmisión de los datos entre el dispositivo móvil inteligente y el dispositivo que monitorea la frecuencia cardíaca.
- La clase *ServiceMHeartRate* se encarga de la creación y gestión de un servicio Android, este servicio será el encargado de mantener la comunicación entre el dispositivo móvil inteligente y el dispositivo que monitorea la frecuencia cardíaca, además de recibir los valores correspondientes a la frecuencia cardíaca y datos del acelerómetro para dar inicio al proceso de análisis.

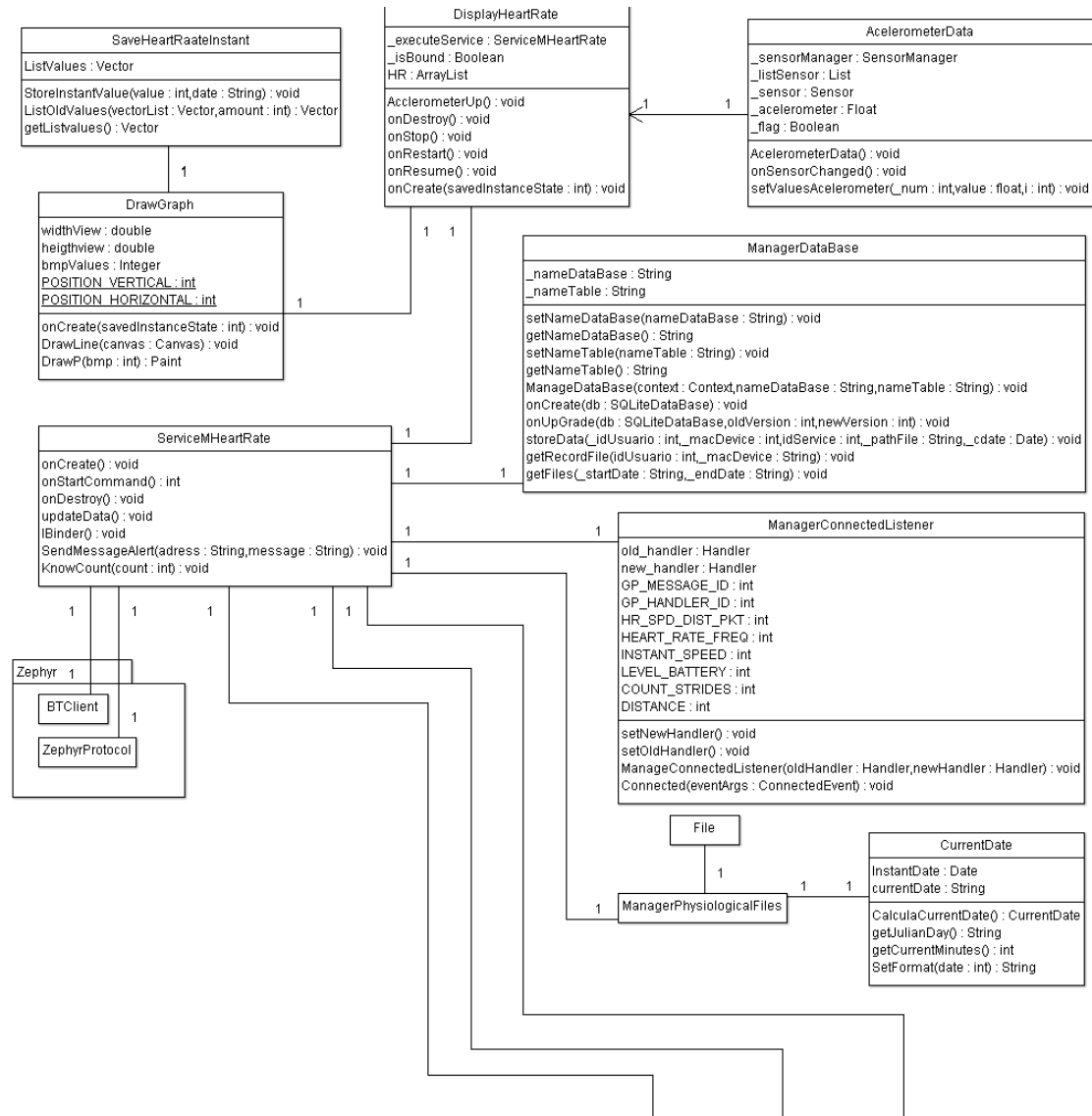


Figura 4.18: Diagrama(superior) de clases de la aplicación *iCare* para el dispositivo móvil.

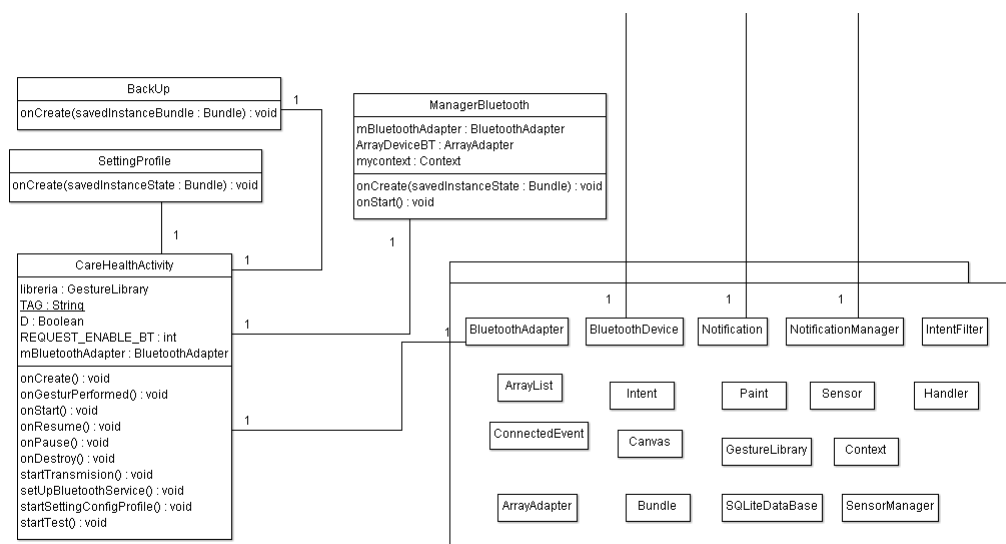


Figura 4.19: Diagrama(inferior) de clases de la aplicación *iCare* para el dispositivo móvil.

4.4.2. Descomposición de subsistemas

El sistema esta dividido en varios subsistemas representados por el diagrama de paquetes de UML. La Figura 4.20 muestra el diagrama de paquetes de la aplicación *iCare*.

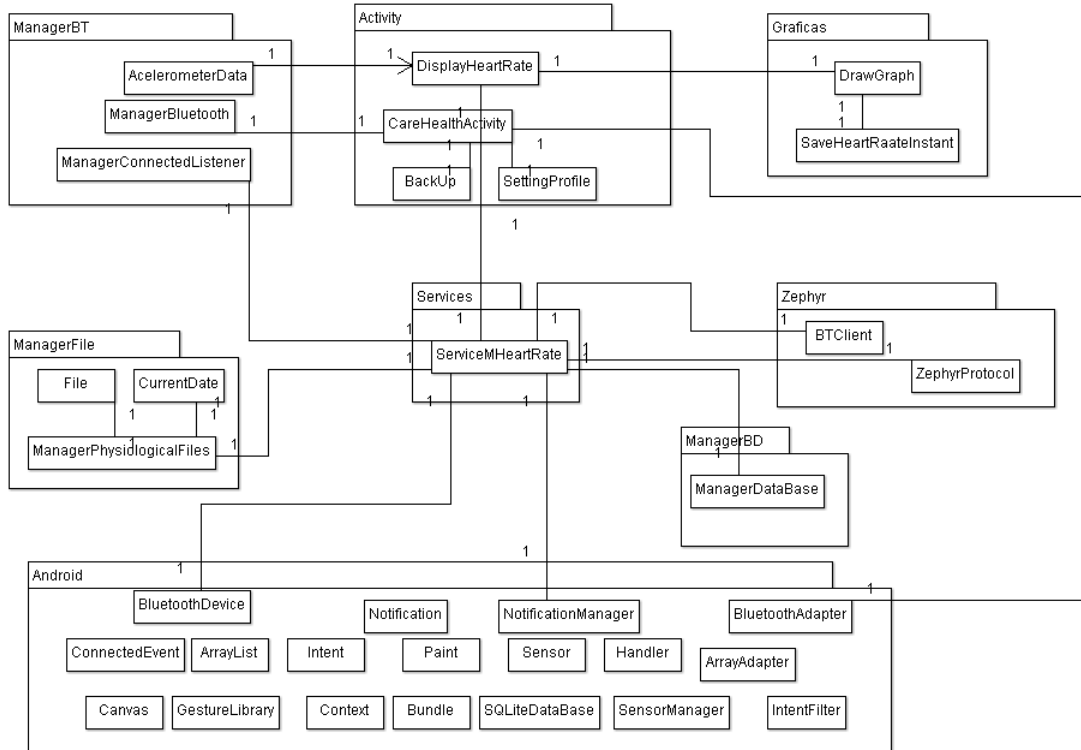


Figura 4.20: Diagrama de paquetes de la aplicación *iCare*.

Los subsistemas que componen la aplicación *iCare* para el dispositivo móvil son:

- **ManagerBT** contiene los gestores de comunicación Bluetooth.
- **Activity** contiene las pantallas de las actividades principales de la aplicación.
- **ManageChart** contiene las clases que permiten la creación de las gráficas de dispersión.

- **iCareServices** contiene los diferentes servicios (proceso que se ejecuta en segundo plano sin necesidad de la interacción con el usuario) creados para iniciar y mantener la comunicación el dispositivo médico.
- **ManagerFile** contiene los gestores para el manejo de los ficheros que se crean y escriben en la memoria externa del dispositivo móvil.
- **Micellaneous** contiene clases de propósito general.
- **ManagerHttp** contiene las clases que se encargan de la gestión de la comunicación y transferencia de archivos mediante el protocolo Http entre el dispositivo móvil y el servidor Web.

4.4.3. Diseño interfaz usuario *iCare* para móviles

La Figura 4.21 muestra un diagrama de organización jerárquica de la aplicación *iCare* y las posibles tareas que se pueden realizar dentro de cada una de las opciones.

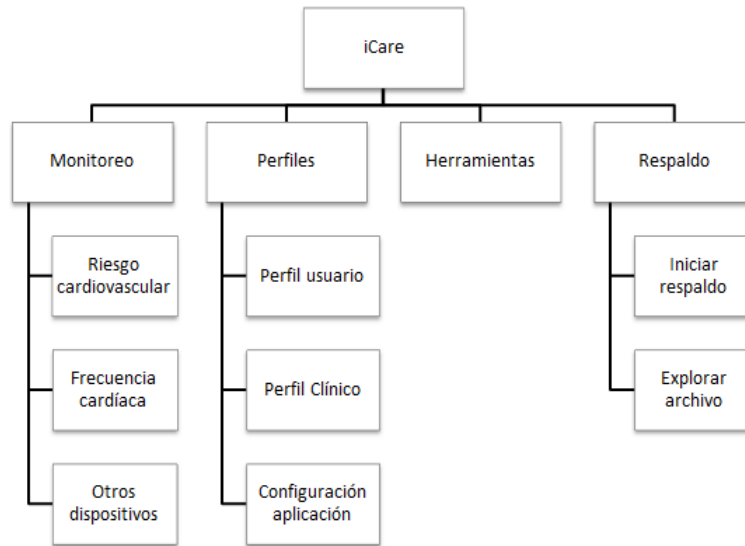


Figura 4.21: Diagrama de paquetes de la aplicación *iCare*.

- **Monitoreo** proporciona al usuario las opciones para iniciar y detener la monitorización del signo vital.
- **Configurar perfil** proporciona al usuario la opción de editar su perfil o bien iniciar la sincronización remota para obtener esa información desde el servidor Web.
- **Herramientas** permite al usuario la búsqueda y selección de dispositivos médicos portátiles con Bluetooth que se encuentren dentro de su rango de alcance.
- **Respaldo** permite al usuario iniciar un respaldo temporal de la información que ha sido recabada y que se encuentra almacenada en la memoria externa del dispositivo móvil.

4.4.4. Diseño interfaz usuario *iCare* para la aplicación Web

La Figura 4.22 muestra el diagrama de organización jerárquica de la aplicación Web y las las tareas que pueden realizarse dentro de cada opción.

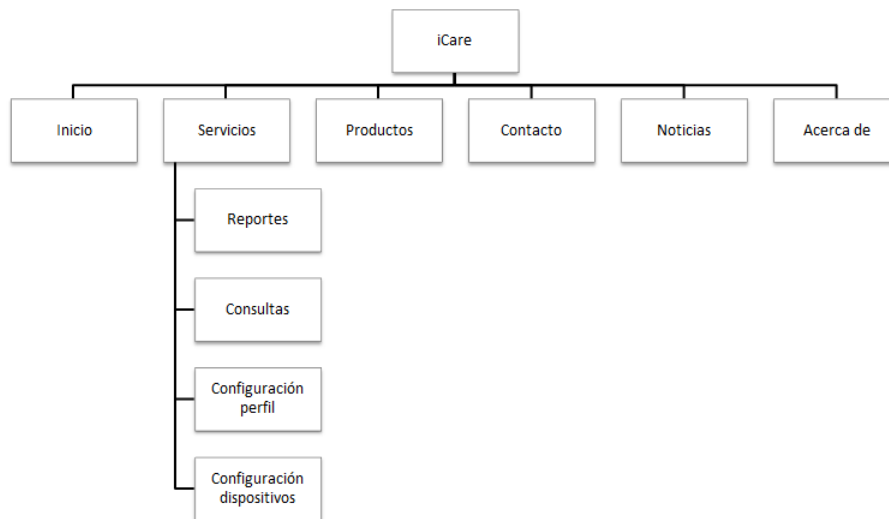


Figura 4.22: Diagrama de organización de sitio para la aplicación Web.

- **Inicio** proporciona al usuario información general sobre el cuidado de la salud, sistemas ubicuos, entre otros.
- **Servicios** proporciona al usuario diferentes opciones, por ejemplo, en “Reportes” puede obtener información detallada de los signos vitales monitoreados. Mientras que en “Configuración de perfil” puede editar los datos básicos que componen su identidad.
- **Productos** oferta los posibles productos que pueden ser de su interés.
- **Contacto** apartado que puede utilizar como medio de comunicación entre el usuario final y el administrador.
- **Noticias** las noticias de interés relacionadas al cuidado de la salud.

La Figura 4.23 muestra la página inicial de la aplicación Web *iCare*.

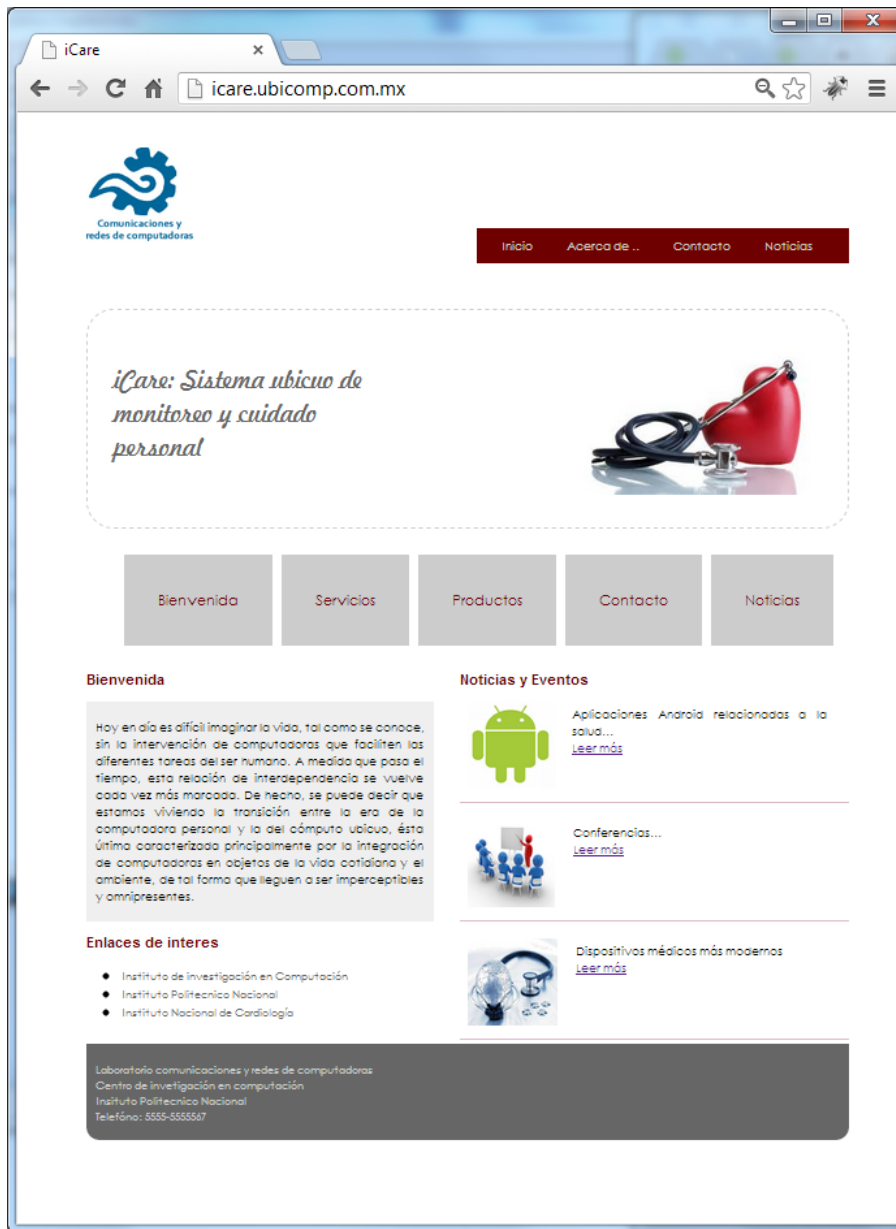


Figura 4.23: Pantalla inicial de aplicación Web.

4.5. Diseño base de datos

La base de datos es de tipo entidad-relación, las entidades que la componen son:

- **DatosGenerales** contiene los campos en común que componen el perfil de usuario, cualquiera que sea su rol.
- **ProfesionalSalud** esta tabla se compone de los campos propios del usuario médico.
- **Usuario** esta tabla contiene los campos que forman los datos clínicos del usuario paciente.
- **TutorUsuario** contiene los campos que forman el perfil de un usuario tutor también conocido como familiar del paciente o usuario principal.
- **Dispositivo** contiene los campos que identifican y establecen las características de un dispositivo médico.

4.5.1. Modelo Entidad-Relación

Tabla *DatosGenerales*

La Tabla 4.14 describe de manera detallada los campos correspondientes a la entidad “*DatosGenerales*”.

Tabla:DatosGenerales	Tipo	Descripción
idUsuario	Entero	Llave primaria
Nombres	Texto	Nombre o nombres del usuario
ApellidoPaterno	Texto	Apellido paterno del usuario
ApellidoMaterno	Texto	Apellido materno del usuario
Direccion	Texto	Dirección del domicilio del usuario
TelefonoCasa	Texto	Teléfono de casa del usuario
TelefonoOficina	Texto	Teléfono de la oficina del usuario
TipoUsuario	Entero	Tipo de usuario: 1. Usuario 2. TutorUsuario 3. Médico

Tabla 4.14: Descripción de la tabla DatosGenerales

Tabla Usuario

La Tabla 4.15 describe los campos que componen a la entidad de “Usuario”. En esta tabla se almacenan los valores de los datos clínicos relacionados al cálculo del riesgo cardiovascular.

Tabla:Usuario	Tipo	Descripción
idUsuario	Entero	Llave primaria
idDatosGenerales	Entero	Llave foránea
Edad	Entero	Años cumplidos del usuario
Genero	Entero	Genero del usuario 1. Femenino 0. Masculino
HVL	Texto	Hipertrofia Ventricular Izquierda (HVL) medida por un ECG. 1. Positivo 0. No definido
Estatura	Flotante	Estura en metros del usuario
Peso	Flotante	Peso en kilogramos del usuario
EstiloVida	Entero	Estilo de vida del usuario: 1. Sedentaria. 2. Normal. 3. Activa.
Fumador	Entero	Si el usuario es un fumador. 1. Fumador actual o fumador hasta un año anterior. 0. No fumador.
Diabetico	Entero	Si el usuario es diabético: 1. Si es diabético. 0. No es diabético.
AntecedenteFamiliar	Entero	Si el usuario tiene familiares de primer grado con enfermedades cardiovasculares. 1. Con antecedentes. 0. Sin antecedentes.
HipertensionArterial	Entero	Si el usuario padece algún grado de hipertensión arterial: 1. Padece. 0. No padece.
SBP	Flotante	Presión arterial sistólica en mm Hg.
DBP	Flotante	Presión arterial diastólica en mm Hg.
ColeterolTotal	Flotante	Colesterol total del paciente en mg/dl.
HDL	Flotante	Colesrerol HDL en mg/dl.
Alcoholico	Entero	Si el usuario es alcohólico: 1. Es alcoholico. 0. No es alcoholico.
FMaxima	Flotante	Frecuencia máxima del usuario.

Tabla 4.15: Descripción de la tabla Usuario

Tabla *ProfesionalSalud*

La Tabla 4.16 describe los campos que componen a la entidad “*ProfesionalSalud*”.

Tabla:ProfesionalSalud	Tipo	Descripción
idProfesionalSalud	Entero	Llave primaria
idDatosGenerales	Entero	Llave foránea
Especialidad	Texto	Especialidad que posee el profesional de la salud.
CedulaProfesional	Texto	Número de cédula profesional del profesional de la salud
Empresa	Entero	Empresa a la que pertenece el profesional de la salud 1. IMSS 2. ISSSTE 3. Particular
CorreoElectronico	Texto	Teléfono de casa del usuario

Tabla 4.16: Descripción de la tabla *ProfesionalSalud*

Tabla *TutorUsuario*

La Tabla 4.17 describe los campos que componen a la entidad “*TutorUsuario*”

Tabla:TutorUsuario	Tipo	Descripción
idTutorUsuario	Entero	Llave primaria.
idDatosGenerales	Entero	Llave foránea.
Parentesco	Texto	Parentesco con el usuario.

Tabla 4.17: Descripción de la tabla *TutorUsuario*.

Tabla *Dispositivo*

La Tabla 4.18 describe los campos que componen a la entidad “*Dispositivo*”.

Tabla:Dispositivo	Tipo	Descripción
idDispositivo	Entero	Llave primaria.
idUsuario	Entero	Llave foránea.
MAC	Texto	Dirección MAC, identificador único del dispositivo
Marca	Texto	Nombre del fabricante del dispositivo.
TipoConexion	Entero	Tipo de conexión para la transmisión de datos. 1. Bluetooth 2. Zigbee 3. Infrarojo 4. NFC
TipoDispositivo	Entero	Tipo de dispositivo. 1. Médico 2. Teléfono celular 3. De contexto
Modelo	Texto	Modelo del dispositivo.

Tabla 4.18: Descripción de la tabla dispositivo

Diagrama entidad-relación

La Figura 4.24 muestra el modelado de la base de datos para la aplicación *iCare* del lado del servidor Web, además se pueden visualizar las asociaciones entre las entidades.

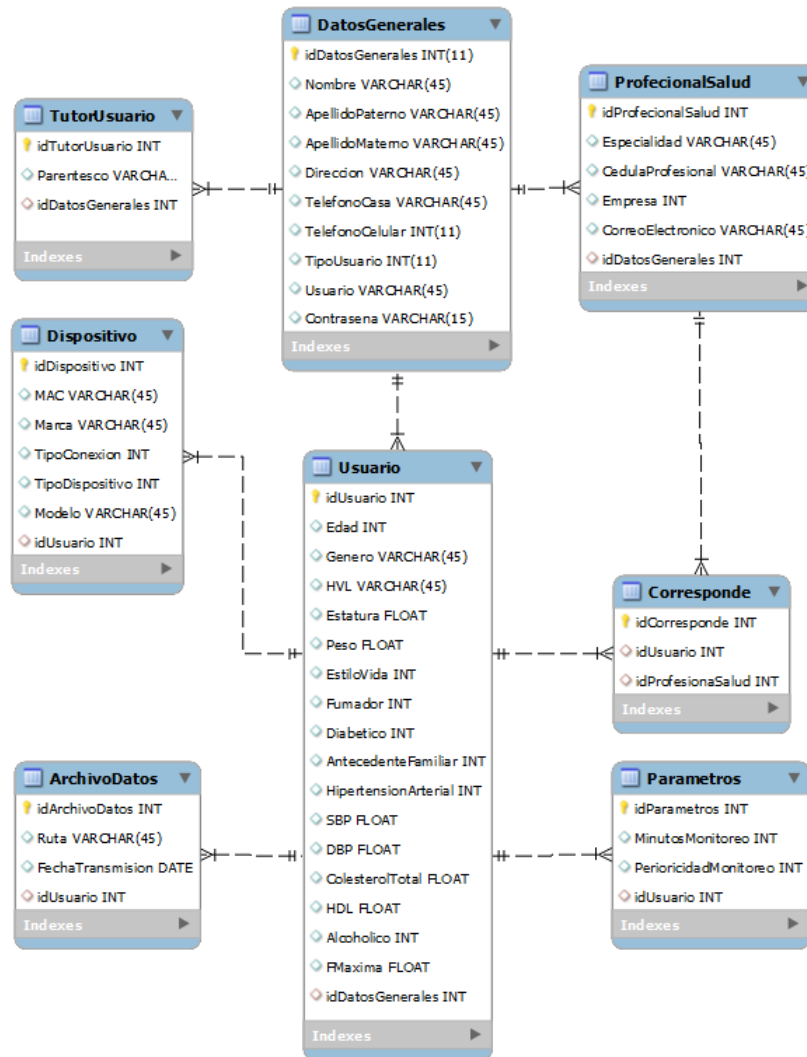


Figura 4.24: Diagrama del modelo de la base de datos para *iCare* del lado del servidor Web.

Capítulo 5

Implementación

En el presente capítulo se describe la implementación de la aplicación iCare, basados en la arquitectura propuesta. En cada una de las siguientes secciones se detalla cada una de los componentes que forman dicha arquitectura. Hacia la segunda parte de este capítulo se describen las pruebas realizadas a la aplicación del dispositivo móvil.

5.1. Hardware y software de desarrollo

5.1.1. Software

Para el desarrollo de la aplicación iCare en el dispositivo móvil inteligente se utilizó el siguiente software:

- a) Eclipse como editor de código Java y código Android
- b) SQLite Como gestor de la base de datos.
- c) Android SDK

Para el desarrollo de la aplicación web iCare

- a) Eclipse Juno versión 3.8, como editor de código Java, JSP, CSS y HTML.
- b) MySQL versión 5.6 como gestor de la base de datos y MySQL Workbench versión 5.2 como editor para el modelado de la base de datos.

c) Apache Tomcat como servidor Web de aplicaciones.

El procedimiento para la instalación y configuración de ambos ambientes de trabajo es expuesta a detalle en el Apéndice A.

En referencia a librerías externas usadas para el desarrollo de la aplicación, se utilizó la librería java que el fabricante del dispositivo médico pone a disposición de los desarrolladores. Esta librería ofrece clases y métodos para establecer la comunicación y la entrega del paquete que contiene los valores de la frecuencia cardíaca y de la velocidad instantánea. La configuración de esta librería se detalla en el Apéndice A.

5.1.2. Hardware

Para el desarrollo de la aplicación en el dispositivo móvil se usó un teléfono inteligente con sistema operativo Android versión 4.0, como depurador, pues aunque en el entorno de trabajo con eclipse es posible usar el emulador de un dispositivo móvil, éste aún no soporta la emulación del Bluetooth. La versión mínima del sistema operativo Android requerida es la 4.0, debido a que a partir de esta versión se da soporte al perfil Bluetooth para dispositivos médicos.

Como se mencionó en el capítulo 4, la arquitectura del sistema esta dividida en tres capas, la primera de ellas está compuesta por sensores o dispositivos médicos. Para el desarrollo de esta tesis se usó un dispositivo que monitorea la frecuencia cardíaca, éste dispositivo es de la marca Zephyr.

En la Figura 5.1 se muestra el dispositivo utilizado el cual consta del dispositivo de monitoreo de la frecuencia y una correa de tela, el dispositivo se coloca a la altura del pecho haciendo contacto con la piel.



Figura 5.1: Dispositivo de monitoreo de frecuencia cardíaca.

En el Apéndice C se detallan las características y especificaciones del dispositivo de monitoreo de frecuencia cardíaca.

5.2. Especificación de estándares

Los estándares de codificación usados para la aplicación en Android se muestran en la Tabla 5.1.

Tipo	Estándar
Variables	_nombreVariable
Constantes	NOMBRE_CONSTANTE
Métodos	nombreMetodo
Clase	NombreClase
Botones	_btNombreBoton
Cajas de texto	_tvNombreText
Listas	_lvNombreLista
Cajas selección	_cnNombreCaja
Barra de progreso	_pbNombreBarra
Imagen	_ivNombreImagen

Tabla 5.1: Especificación de estándares de codificación.

5.3. Comunicación entre dispositivos

El módulo de gestión de comunicación es el encargado de entablar la comunicación y transmisión de datos entre el dispositivo móvil inteligente y el dispositivo médico portátil. EL flujo de comunicación entre el dispositivo móvil y el dispositivo médico puede ser ilustrado en el diagrama de la Figura 5.2.

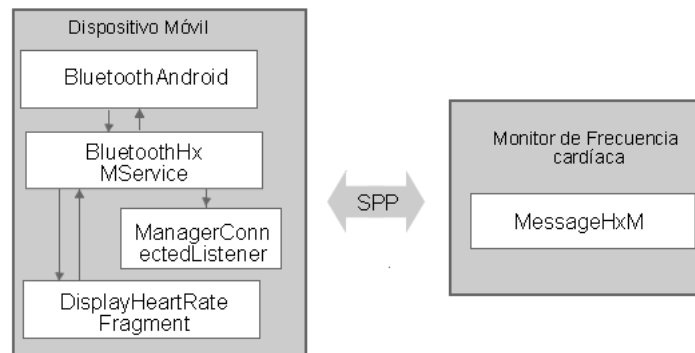


Figura 5.2: Diagrama de comunicación con el dispositivo de monitoreo de frecuencia cardíaca

El dispositivo utilizado para el monitoreo de la frecuencia cardíaca solo acepta un solo enlace a la vez y usa el perfil de Bluetooth SPP.

El Bluetooth del dispositivo está en un estado visible siempre que esté conectado y en uso, de otra manera pasa a un estado no visible.

Los siguientes pasos son los que se siguen para establecer una conexión entre el dispositivo móvil y el dispositivo que monitorea la frecuencia cardíaca.

1. Activar el servicio Bluetooth en el dispositivo móvil al que se conectará el dispositivo de monitoreo de frecuencia cardíaca.
2. Iniciar el descubrimiento de dispositivos dentro del rango de alcance.
3. Iniciar el emparejamiento con el dispositivo de monitoreo de frecuencia cardíaca.
4. Descubrir los servicios del dispositivo de monitoreo.
5. Conectarse al puerto serial (simulado por el protocolo SPP) del dispositivo móvil.

5.4. Gestión de dispositivos médicos

La gestión de los dispositivos médicos a grandes rasgos es la encargada de realizar la búsqueda, selección, emparejamiento y transmisión entre el dispositivos. El principal requisito es que el dispositivo móvil cuente con Bluetooth.

Búsqueda de dispositivos médicos

Para realizar la búsqueda de un dispositivo se requiere que el Bluetooth del dispositivo móvil este habilitado, de otra manera la opción de inicio de búsqueda no se habilita.

La búsqueda de un dispositivo puede ser realizada por su tipo, es decir, la API de Android proporciona un método que permite identificar el tipo de dispositivo a buscar, por ejemplo, de tipo médico, tipo auriculares, dispositivo móvil, entre otros.

El código 5.1 muestra como se realiza la búsqueda de los dispositivos Bluetooth en dependencia al tipo de dispositivo seleccionado y la Figura 5.3 muestra el despliegue de los dispositivos descubiertos, detallando su nombre, dirección MAC y el tipo de dispositivo bluetooth.

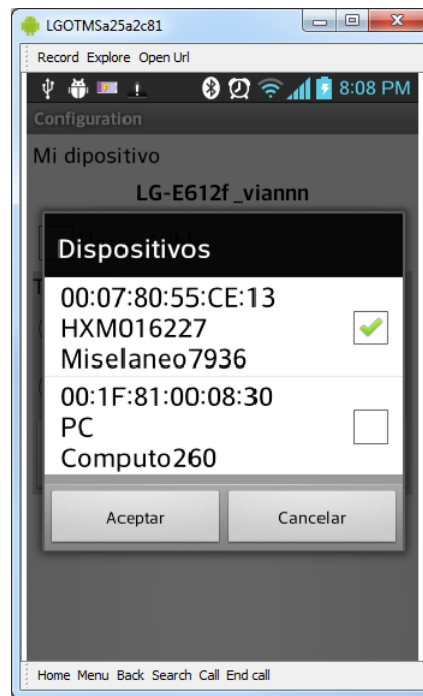
La múltiple selección de dispositivos es permitida para soportar a futuro el monitoreo de otros dispositivos médicos de manera simultanea.

```

1 private final BroadcastReceiver ActionBroadcastReceiver = new
   BroadcastReceiver() {
2     @Override
3     public void onReceive(Context context, Intent intent) {
4         String action = intent.getAction();
5         if (BluetoothAdapter.ACTION_DISCOVERY_STARTED.equals(action)) {
6             _btFoundDevices.setText(R.string.l_proces);
7             _btlistDeviceBT.setEnabled(false);
8         } else if (BluetoothAdapter.ACTION_DISCOVERY_FINISHED.equals(action)) {
9             _btFoundDevices.setText(R.string.l_end);
10            _btlistDeviceBT.setEnabled(true);
11        }
12        if (BluetoothDevice.ACTION_FOUND.equals(action)) {
13            _count = _count + 1;
14            BluetoothDevice device = intent.getParcelableExtra(BluetoothDevice.
                EXTRA_DEVICE);
15            if (_rbTipoDispositivo.getTag().equals(TIPO_MEDICO)) {
16                if (device.getBluetoothClass().getMajorDeviceClass() == HEALTH ||
17                    device.getBluetoothClass().getMajorDeviceClass() ==
                    UNCATEGORIZED) {
18                    ArrayDeviceBT.add(device.getAddress() + "\n" + device.
                        getName() + "\n" +
19                    NameTypeDevice(device) + device.getBluetoothClass().
                        getDeviceClass());

```

```
20     }
21   }else if( _rbTipoDispositivo.getTag().equals( TODO_TIPO)){
22     ArrayDeviceBT.add(device.getAddress() + "\n" + device.
        getName() + "\n" +
23     NameTypeDevice(device) + device.getBluetoothClass().
        getDeviceClass());
24   }
25   Log.i(LOG, device.getAddress() + "\n" + device.getName() );
26   Log.i(LOG,((String) _rbTipoDispositivo.getTag())+TODO_TIPO);
27 }
28 }
29 };
```

Código fuente 5.1: Búsqueda de dispositivos médicos**Figura 5.3:** Vista correspondiente a la búsqueda y selección de dispositivos médicos descubiertos.

Recepción de datos del dispositivo médico

Bluetooth es el medio por el cual se transmiten los datos de manera unidireccional del dispositivo monitor de frecuencia cardíaca al dispositivo móvil inteligente.

Como la transmisión debe realizarse de manera continua sin importar si el usuario quiere realizar otra actividad en el dispositivo móvil, se implementa un servicio, el cual se encargará de recibir los datos del dispositivo en un segundo plano, en el Código 5.2 se muestra la conexión persistente hacia el dispositivo de monitoreo de frecuencia cardíaca.

```

1 private class BTBroadcastReceiver extends BroadcastReceiver {
2     @Override
3     public void onReceive(Context context, Intent intent) {
4         Bundle b = intent.getExtras();
5         try {
6             BluetoothDevice device = _bluetoothAdapter.
7                 getRemoteDevice(b.get("android.bluetooth.device.
8                     extra.DEVICE").toString());
9             Method m = BluetoothDevice.class.getMethod("
10                 convertPinToBytes", new Class[] {String.class} )
11                 ;
12             byte[] pin = (byte[])m.invoke(device, "1234");
13             m = device.getClass().getMethod("setPin", new Class
14                 [] { pin.getClass() } );
15             Object result = m.invoke(device, pin);
16             Log.d("BTTest", result.toString());
17         } catch (SecurityException e1) {
18             e1.printStackTrace();
19         } catch (NoSuchMethodException e1) {
20             e1.printStackTrace();
21         } catch (IllegalArgumentException e) {
22             e.printStackTrace();
23         } catch (IllegalAccessException e) {
24             e.printStackTrace();
25         } catch (InvocationTargetException e) {
26             e.printStackTrace();
27         }
28     }
29 }

```

Código fuente 5.2: Conexión persistente con el dispositivo de mpmitoreo de frecuencia cardíaca

5.5. Gestión de perfiles

La gestión de perfiles forma parte de la opción “Configurar perfil” y básicamente permite manipular información sobre datos personales del usuario, datos clínicos asociados a factores de riesgo cardiovascular y valores de los parámetros que son necesarios para determinar el comportamiento de la recepción de la frecuencia cardíaca, por ejemplo, se determina el tiempo en que debe realizarse el monitoreo.

La Figura 5.4 muestra el diagrama general de la gestión de los diferentes tipos de perfil y la configuración de algunos parámetros de la aplicación, los valores de los distintos perfiles pueden ser llenados de forma manual por el usuario o bien ser solicitados de la base de datos local.

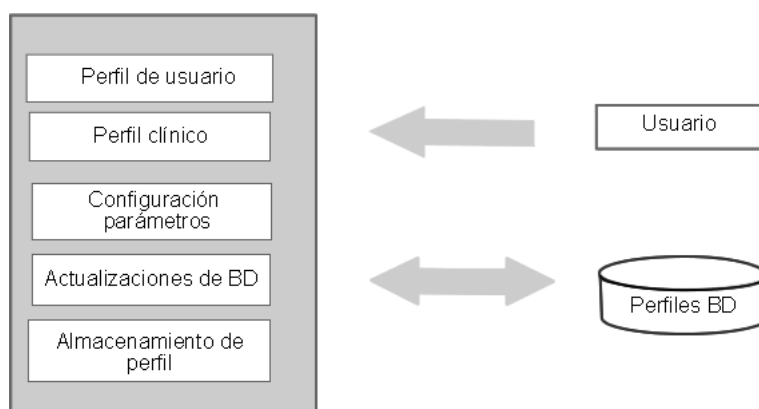


Figura 5.4: Diagrama de gestión de perfiles

En la configuración de ambos perfiles se uso un componente Android denominado “Preferences”. Las preferencias en Android permiten que se almacene el valor de la preferencia en un fichero XML, este fichero es almacenado en el sistema de ficheros.

Las preferencias dentro de un proyecto Android son creadas dentro de la subcarpeta xml de la carpeta res.

El Código 5.3 muestra el archivo XML correspondiente a las datos clínicos del usuario.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2 <PreferenceScreen xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
3   >
4   <!-- Edad -->
5   <EditTextPreference
      android:key="p\_edad"
  
```

```

6      android:summary="Anios"
7      android:title="@string/title_years"/>
8      <!-- Genero -->
9      <ListPreference
10         android:key="p_genero"
11         android:summary="Femenino/Masculino"
12         android:title="@string/title_gender"
13         android:entries="@array/tipoGenero"
14         android:entryValues="@array/tipoGeneroValores"/>
15
16      <!-- Estatura -->
17      <EditTextPreference
18         android:key="p_estatura"
19         android:summary="Metros"
20         android:title="@string/title_stature"/>
21      <!-- Peso -->
22      <EditTextPreference
23         android:key="p_peso"
24         android:summary="Kilos"
25         android:title="@string/title_weight"/>
26      <!-- colesterol -->
27      <EditTextPreference
28         android:key="p_colesterol"
29         android:summary="Nivel_colesterol_Mg/dl"
30         android:title="@string/title_chol"/>
31      <!-- colesterol hdl -->
32      <EditTextPreference
33         android:key="p_hdl"
34         android:summary="Nivel_HDL_Mg/dl"
35         android:title="@string/title_hdl"/>
36      <!-- Diabetico -->
37      <ListPreference
38         android:key="p_diabetico"
39         android:summary="Diabetico"
40         android:title="@string/title_diabetic"
41         android:entries="@array/esDiabetico"
42         android:entryValues="@array/esDiabeticoValores"/>
43      <!-- Alcoholico -->
44      <ListPreference
45         android:key="p_alcoholico"
46         android:summary="Alcoholico"
47         android:title="@string/title_alcoholic"
48         android:entries="@array/esDiabetico"
49         android:entryValues="@array/esDiabeticoValores"/>
50      <!-- Antecedentes familiares -->
51      <ListPreference
52         android:key="p_historial"
53         android:summary="Antecedentes_familiares"
54         android:title="@string/title_antecedentes"
55         android:entries="@array/esDiabetico"
56         android:entryValues="@array/esDiabeticoValores"/>
57      <!-- Estilo de vida -->
58      <ListPreference
59         android:key="p_estilo"
60         android:summary="Sedentario/Activo/Normal"
61         android:title="@string/title_life"
62         android:entries="@array/tipoEstiloVida"

```

```
63         android:entryValues="@array/tipoEstiloVidaValores"/>
64     <!-- Fumador -->
65     <ListPreference
66         android:key="p_fumador"
67         android:summary="Si/No"
68         android:title="@string/title_smoke"
69         android:entries="@array/esFumador"
70         android:entryValues="@array/esFumadorValores"/>
71     <!-- hipertenso -->
72     <ListPreference
73         android:key="p_has"
74         android:summary="Es hipertenso Si/No"
75         android:title="@string/title_hta"
76         android:entries="@array/esHipertenso"
77         android:entryValues="@array/esHipertensoValores"/>
78     <!-- Blood pressure -->
79     <EditTextPreference
80         android:key="p_blood"
81         android:summary="mmHg"
82         android:title="@string/title_blood"/>
83     <!-- Max heart Rate -->
84     <EditTextPreference
85         android:key="p_heart_max"
86         android:summary="_latidos_por_minuto"
87         android:title="@string/title_max_hr"/>
88
89 </PreferenceScreen>
```

Código fuente 5.3: Código XML para la creación de preferencias

5.6. Gestión de la monitorización

La gestión de la monitorización comprende varias tareas, desde el muestreo de la frecuencia cardíaca hasta el posible envío de un mensaje de texto como alarma. La Figura 5.5 muestra el diagrama de la gestión de la monitorización.

La comunicación con la base de datos y las preferencias es esencial para el árbol de decisión, de las preferencias pueden obtenerse los datos clínicos del usuario y en la base de datos se almacenan los archivos creados durante el muestreo de la frecuencia cardíaca.

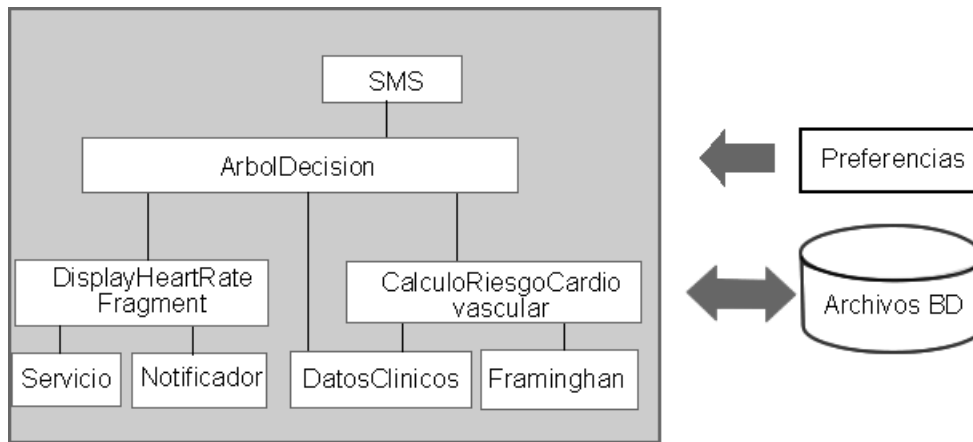


Figura 5.5: Diagrama gestión de la monitorización.

5.6.1. Análisis de datos fisiológicos

En esta tesis se usó un monitor de frecuencia cardíaca como dispositivo médico de un signo vital. El tiempo por el cual se realiza el análisis se establece en las preferencias del monitoreo.

Para el caso de la frecuencia cardíaca se establecen dos posibles estados; normal y anormal. La manera en como se determina si la frecuencia cardíaca del usuario es normal o anormal depende del estilo de vida del usuario y la actividad física que este realizando en el momento del monitoreo.

Para el estilo de vida autores como Wilmore [Wilmore and Costill, 2007] proponen valores como los que se muestran en la Tabla 5.2 para determinar si la frecuencia cardíaca en periodos de reposo es normal.

Tipo de persona	Estado: reposo
Normal	60 a 80 lpm
Sedentaria	> 100 lpm
Deportista	28 y 40 lpm

Tabla 5.2: Frecuencia cardíaca en estado de reposo [Wilmore and Costill, 2007].

Para determinar la normalidad o anormalidad en la frecuencia cardíaca en periodos de actividad, se realiza el cálculo de la frecuencia cardíaca máxima. El código 5.4 muestra el cálculo de la frecuencia cardíaca máxima.

```

1 public float calculoFrecuenciaMaxima(int edad){
2     float _fm = 0.0;
3
4     _fm = 220 - ( 0.7 * edad)
5
6     return _fm;
7
8 }
9
```

Código fuente 5.4: Método cálculo frecuencia cardíaca máxima

Por último se realiza una comparación entre esta frecuencia máxima y la frecuencia que está siendo muestreada en un periodo de actividad para determinar si la frecuencia es normal o anormal.

5.6.2. Análisis de datos de contexto

La información de contexto del usuario puede estar formada por diversos sensores, tales como termómetros, acelerómetros o GPS. En particular en esta tesis se hizo uso de un acelerómetro, este acelerómetro está incluido en el dispositivo de monitoreo de frecuencia cardíaca.

Los valores que se derivan del acelerómetro son tomados para el cálculo de la velocidad. El valor de la velocidad es un dato que se recibe de manera conjunta al valor de la frecuencia cardíaca, es decir, se encuentran dentro del mismo mensaje que es enviado al dispositivo móvil y este valor está dado en metros sobre segundo.

La forma en como se infiere la actividad física del usuario es la comparación de la velocidad recibida con los rangos descritos en la tabla 5.3.

Actividad física	Velocidad
Inactivo	0.0 m/s
Caminando	$> 4 \text{ m/s}$ y $< 7 \text{ m/s}$
Corriendo	$> 7 \text{ m/s}$ y $< 11 \text{ m/s}$

Tabla 5.3: Cálculo de la actividad física.

5.6.3. Cálculo de riesgo cardiovascular

El cálculo del porcentaje de Riesgo cardiovascular se realiza mediante las ecuaciones del estudio de Framingham, mismo que fue detallado en el capítulo 3. Después de obtener el resultado se puede usar la Tabla 5.4 para establecer el tipo de riesgo que corresponde al porcentaje calculado.

Tipo de riesgo	Porcentaje
Muy alto	$> 40 \%$
Alto	20% - 40%
Moderado	10% - 20%
Leve	5% - 10%
Bajo	$< 5 \%$

Tabla 5.4: Tipo de riesgo cardiovascular según porcentaje de riesgo calculado

5.6.4. Módulo de toma de decisiones

El módulo de toma de decisión expuesto en el esquema de la arquitectura propone el uso de un árbol de decisión del tipo ID3, en donde las variables de entrada son las salidas de los módulos de análisis de datos de la frecuencia cardíaca, datos del acelerómetro, estilo de vida y cálculo del riesgo cardiovascular.

El pseudocódigo del algoritmo para la construcción del árbol de decisión es el siguiente:

1. Si todos los ejemplos son positivos, devolver un nodo etiquetado con positivo.
2. Si todos los ejemplos son negativos, devolver un nodo etiquetado con negativo.

3. Si atributos está vacío, devolver un nodo etiquetado con el valor más frecuente de Atributo-objeto en Ejemplos.
4. Si no:
 - 4.2 Sea A el atributo de Atributos que mejor clasifica Ejemplos
 - 4.3 Crear árbol, con un nodo etiquetado con A.
 - 4.4 Para cada posible valor v de A, hacer:
 - 4.4.1 Anadir un arco a árbol, etiquetado con v.
 - 4.4.2 Sea Ejemplos(v) el subconjunto de Ejemplos con valor del atributo A igual a v.
 - 4.4.3 Si Ejemplos(v) es vacío:
 - Si Colocar debajo del arco anterior un nodo etiquetado con el valor más frecuente de Atributo-objetivo en Ejemplos.
 - Si no colocar debajo del arco anterior el subárbol $ID3(Ejemplos(v), Atributo-objetivo, Atributos-A)$.
5. Devolver árbol.

La Figura 5.6 muestra la construcción de los nodos representados por la frecuencia cardíaca, el estilo de vida, la actividad física y el tipo de riesgo cardiovascular y sus respectivos atributos.

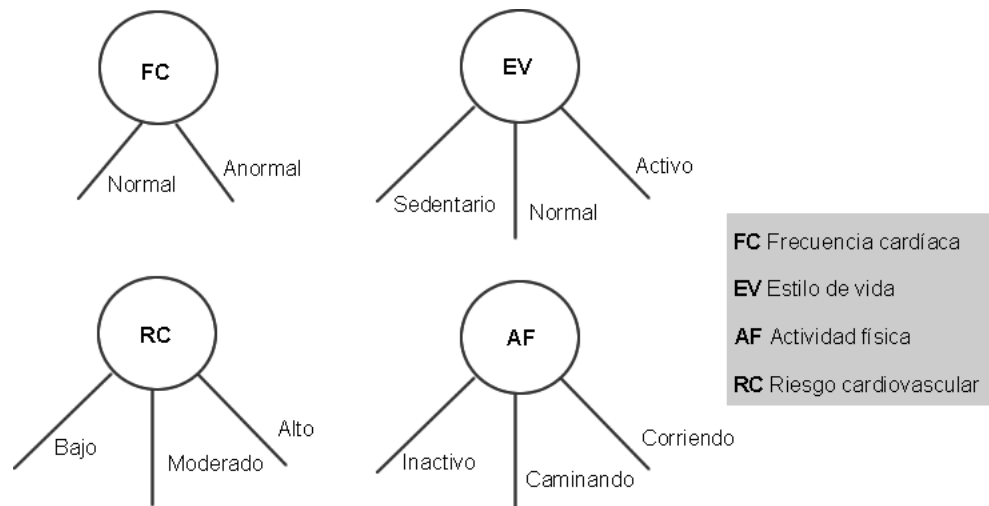


Figura 5.6: Nodos del árbol de decisión y sus atributos.

La Tabla 5.5 muestra el conjunto de entrenamiento utilizado para el aprendizaje del árbol de decisión.

Frecuencia cardíaca	Riesgo cardiovascular	Actividad reciente	Estilo de vida	Se lanza alarma
Normal	Bajo	Correr	Activo	No
Normal	Moderado	Caminar	Normal	No
Anormal	Alto	Inactivo	Sedentario	Si
Anormal	Moderado	Inactivo	Sedentario	Si
Anormal	Bajo	Correr	Normal	No
Normal	Bajo	Caminar	Activo	No
Normal	Alto	Caminar	Sedentario	Si
Anormal	Moderado	Caminar	Sedentario	Si
Anormal	Alto	Caminar	Sedentario	No
Anormal	Moderado	Correr	Sedentario	Si

Tabla 5.5: Tabla con datos de aprendizaje para el árbol de decisiones.

Selección del nodo raíz del árbol de decisión

Para determinar cual nodo será establecido como nodo raíz, se calcula la ganancia para cada nodo. La Tabla 5.6 muestra dos resultados obtenidos del primer cálculo de ganancia.

Posible valor	Frecuencia cardíaca	Riesgo cardiovascular	Actividad reciente	Estilo de vida
Normal	0+,4-			
Anormal	5+,2-			
Alto		2+,1-		
Moderado		3+,1-		
Bajo		0+,4-		
Caminar			2+,4-	
Correr			1+,2-	
Inactivo			2+,0-	
Sedentario				5+,2-
Normal				0+,2-
Activo				0+,2-
Ganancia	0.44	0.44	0.24	0.44

Tabla 5.6: Tabla con datos de aprendizaje para el árbol de decisiones.

El nodo raíz que se selecciona es aquel cuya ganancia sea mayor, como se puede observar existe un empate entre tres de los cuatro nodos, es decir, cualquiera de los nodos representados por la frecuencia cardíaca, el estilo de vida y el riesgo cardiovascular pueden ser elegido como el nodo raíz.

La Figura 5.7 muestra el árbol parcial formado a partir de seleccionar la frecuencia cardíaca como nodo raíz.

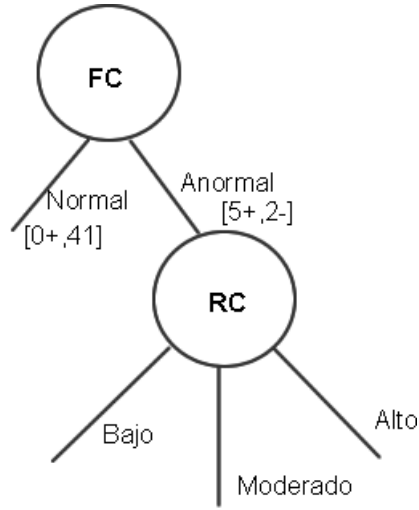


Figura 5.7: Árbol de decisión parcial.

Complejidad del algoritmo para la toma de decisiones

De manera general la complejidad computacional de un árbol de decisión en el peor de los casos ocurriría si se construyera un árbol completo, en donde cada camino que es generado por el árbol prueba cada característica. En cada nivel i del árbol, se examinan las $m - 1$ características que quedan para cada instancia es ese nivel y poder calcular las ganancias de información.

$$\sum_{i=1}^m i * n = O(nm^2) \quad (5.1)$$

Sin embargo, al aplicar el conjunto de aprendizaje sobre el algoritmo, el orden de la complejidad observada es lineal, es decir, $O(nm)$ pues el árbol que se forma no es completo.

El algoritmo que finalmente es implementado en el dispositivo móvil derivado del árbol de decisión resultante tiene una complejidad del orden $O(1)$, esto debido a que éste consta únicamente de sentencias condicionales *si y si no*.

5.6.5. Almacenamiento de datos

La arquitectura contempla un esquema de almacenamiento de datos para tal fin se utiliza una base de datos local sobre el dispositivo móvil. Para bases de datos en dispositivos móviles Android incorpora librerías de SQLite. Siendo SQLite una versión ligera no se puede implementar un modelado de base de datos tipo entidad-relación, pues no soporta elementos como las llaves foráneas. Las bases de datos son en forma de una sola tabla.

Para la aplicación iCare en el dispositivo se hace uso de tres tablas.

files Almacena los archivos que se generan durante el monitoreo del signo vital. El Código 5.5 muestra la creación y manejo de la tabla files.

user profile Almacena los datos personales del usuario.

clinical profile Almacena los datos clínicos del usuario.

```
1
2 package com.health.icareDBManager;
3
4 import android.content.Context;
5 import android.database.sqlite.SQLiteDatabase;
6 import android.database.sqlite.SQLiteOpenHelper;
7
8 public class ManageFilesDB extends SQLiteOpenHelper{
9
10     private static final String TAG = "ManageFileDB";
11
12     private static final String ID = "id";
13     private static final String NAME_TABLE = "files";
14     private static final String KEY = "clave";
15     private static final String DATE = "fecha";
16     private static final String PATH = "path";
17     private static final String MAC = "mac";
18     private static final String FLAG = "flag";
19
20
21     SQLiteDatabase db;
22
23
24     public ManageFilesDB(Context context) {
25         super(context, NAME_TABLE, null, 1);
```

```

26     }
27
28     @Override
29     public void onCreate(SQLiteDatabase db) {
30         // TODO Auto-generated method stub
31         String statement = "CREATE_TABLE_" + NAME_TABLE + "(" +
32             ID + "_INTEGER_PRIMARY_KEY_AUTOINCREMENT," +
33             KEY + "TEXT," +
34             DATE + "TEXT," +
35             PATH + "TEXT," +
36             MAC + "TEXT," +
37             FLAG + "INTEGER)";
38         db.execSQL(statement);
39     }
40
41     @Override
42     public void onUpgrade(SQLiteDatabase arg0, int arg1, int arg2) {
43         // TODO Auto-generated method stub
44     }
45
46     public void insertFileDB(String clave, String date, String path,
47         String mac){
48
49         String statement="INSERT_INT0" + NAME_TABLE +
50             "VALUES(null," + clave + "," + date + "," +
51             mac + ",0)";
52
53         db = getWritableDatabase();
54         db.execSQL(statement);
55     }
56
57     public String[] getFilesByMAC(String mac){
58         String[] files = null;
59         return files;
60     }
61
62     public String[] getFilesByDate(String start_date, String end_date){
63         String[] files = null;
64         return files;
65     }
66     //Permite actualizar una bandera que no indica si el archivo
67     //ya ha sido enviado al servidor
68     public void updateFlag(int idFile){
69
70         //db.update(NAME_TABLE, FLAG, ID, idFile);
71     }
72     //Permite borrar archivos con la bandera en verdadero
73     public void deleteFile(int idFile){
74
75         db.delete(NAME_TABLE, ID + "=" + idFile, null);
76     }
77 }

```

Código fuente 5.5: Clase que crea y maneja la tabla file

5.7. Gestión de archivos de respaldo

Como se expuso anteriormente en la aplicación se plantea la opción de respaldo de información. Su función principal es la de crear las condiciones necesarias para salvaguardar la información del usuario, es decir, se encarga de crear, escribir y almacenar archivos que contendrán entre otras cosas información del perfil clínico y datos recolectados durante el muestreo de su frecuencia cardíaca.

La Figura 5.8 muestra un diagrama que describe de manera conceptual como se realiza la gestión de archivos.

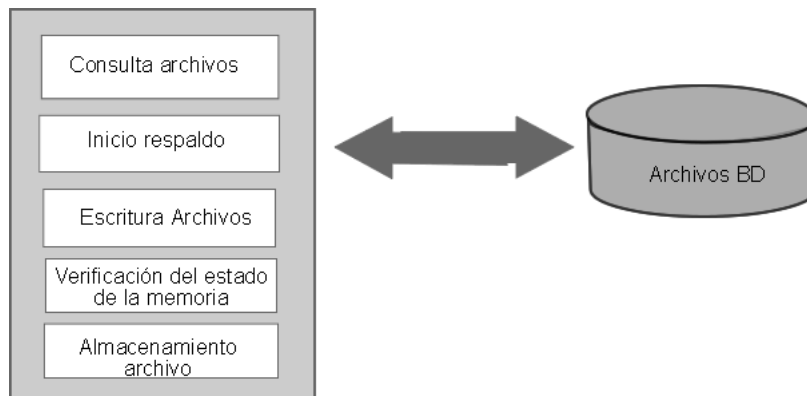


Figura 5.8: Esquema de gestión de Archivos.

5.8. Desarrollo de prototipo

Un proyecto en Android contiene un descriptor de aplicación, el código fuente y ficheros con recursos. La estructura de organización de los anteriores elementos esta basada en la división y almacenamiento por carpetas específicas, de las cuales las creadas por defecto por Android son:

- **src** contiene el código fuente de la aplicación.
- **gen** contiene el código generado de forma automática por el SDK. Este fichero no debe ser modificado de manera manual, dentro de esta carpeta se crea el fichero R.java, este fichero define una clase que asocia los recursos de la aplicación con identificadores.
- **Android x.x** el API de android según la versión seleccionada.
- **res** contiene los recursos usados por la aplicación. Esta carpeta a su vez contiene las siguientes carpetas:
 - **drawable** carpeta que almacena las imagenes.
 - **layout** contiene los ficheros XML que construyen las vistas de la aplicación.
 - **values** contiene ficheros XML en donde son almacenados los valores del tipo string, color o estilo.
- **AndroidManifest.xml** este fichero describe la aplicación Android. En este fichero se describen las actividades, intentos, servicios, entre otros.

Existen elementos importantes para el desarrollo de una aplicación, por ejemplo, las vistas, las actividades, los Intentos, los servicios y los proveedores de contenido.

5.8.1. Ambiente

Un proyecto Android esta formado básicamente por un descriptor de la aplicación, el código fuente y una serie de ficheros con recursos[Girones, 2011]. La Figura 5.9 muestra la estructura de carpetas correspondientes a la aplicación iCare para el dispositivo móvil.

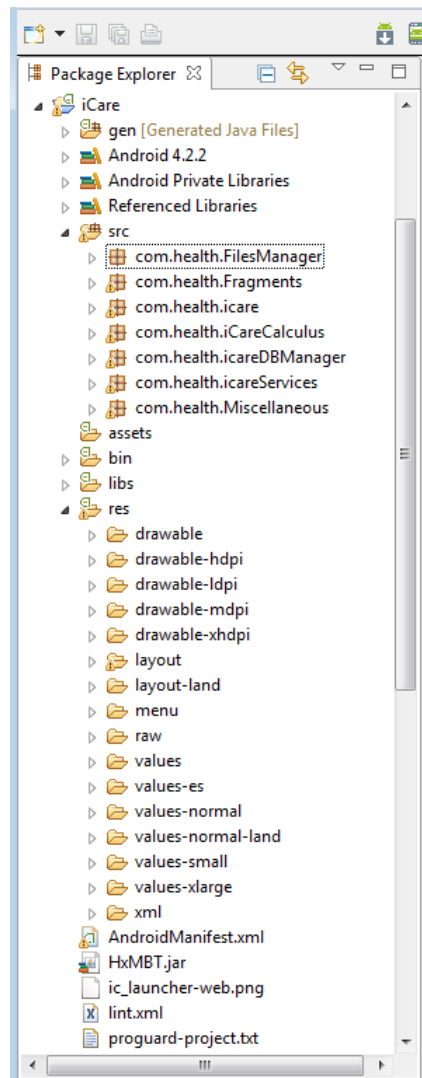


Figura 5.9: Organización de elementos aplicación iCare.

Vistas

Las vistas son elementos que componen la interfaz de usuario, se definen en un fichero XML, sin embargo, su creación puede ser también realizada en código.

El Código fuente 5.6 de la vista de menú principal iCare describe el fichero XML que se genera para la creación de la vista del menú principal.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2 <LinearLayout xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
3   android:id="@+id/linear"
4   android:orientation="vertical"
5   android:layout_width="fill_parent"
6   android:layout_height="fill_parent">
7
8   <android.gesture.GestureOverlayView
9     android:id="@+id/gesture"
10    android:layout_width="match_parent"
11    android:layout_height="match_parent"
12    android:fadeOffset="800"
13    android:gestureStrokeType="multiple" >
14
15    <GridView
16      android:id="@+id/gridview"
17      android:layout_width="wrap_content"
18      android:layout_height="wrap_content"
19      android:addStatesFromChildren="true"
20      android:gravity="center"
21      android:horizontalSpacing="10dp"
22      android:numColumns="auto_fit"
23      android:stretchMode="columnWidth"
24      android:verticalSpacing="10dp" >
25    </GridView>
26
27 </android.gesture.GestureOverlayView>
28
29 </LinearLayout>

```

Código fuente 5.6: Fichero XML de la vista de menu principal iCare.

En las líneas de código 8 y 27 se crea y se cierra la etiqueta correspondiente a gesture.

El uso de un gesture proporciona al usuario el acceso a otras actividades en función al gesture introducido y como se trata de un movimiento simple sobre la pantalla brinda confort al usuario.

La Figura 5.10 muestra la vista generada al iniciar la aplicación, también se ilustra la manera en como trabaja un gesture, para este caso el movimiento táctil en forma de "M" lanza el inicio de la actividad Monitoreo.

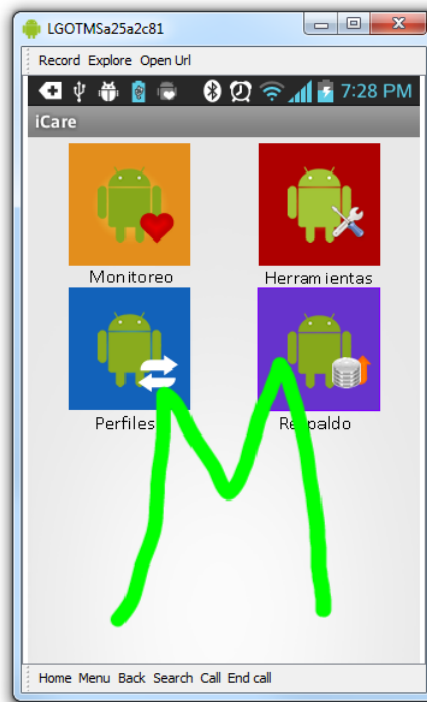


Figura 5.10: Vista correspondiente al menú principal de iCare.

5.8.2. Mapa de navegación general de iCare

La aplicación tiene cuatro opciones principales; Monitoreo, configuración de dispositivo, configuración de perfil y respaldo. Todas las opciones excepto la de configuración de dispositivo, tienen a su vez contenidas otras opciones. A continuación se listan las opciones principales y secundarias.

1. Monitoreo
 - a) Cálculo de riesgo cardiovascular
 - b) Frecuencia cardíaca
 - c) Otros dispositivos
2. Configuración de dispositivo
3. Configuración de perfil

- a) Perfil usuario
 - b) Perfil clínico
 - c) Configuración dispositivo
4. Respaldo de información
- a) Iniciar respaldo
 - b) Explorar archivo

La Figura 5.11 muestra el mapa de navegación principal de la aplicación iCare, es decir, la pantalla inicial y las opciones principales.

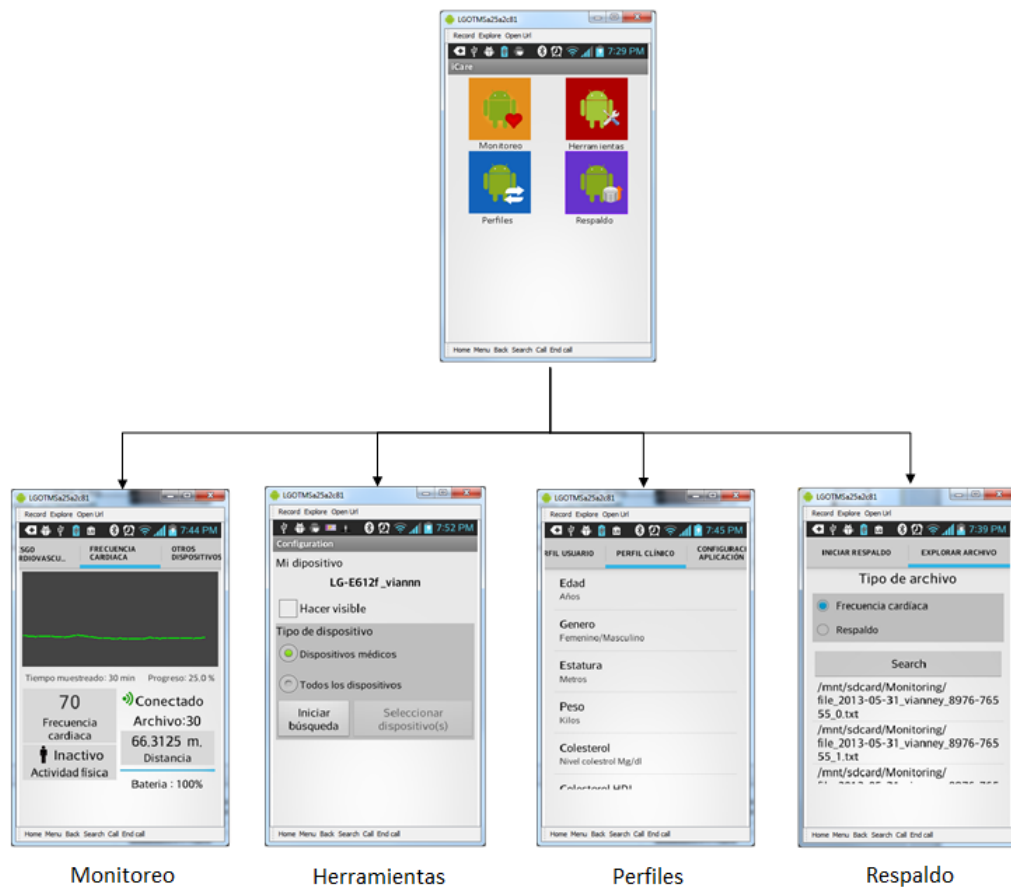


Figura 5.11: Diagrama general de la aplicación iCare

Capítulo 6

Pruebas y resultados

6.1. Introducción

En este capítulo se exponen los diferentes tipos de pruebas a las que se sometió la aplicación. Estas pruebas corresponden a la categoría de las llamadas pruebas de “Caja negra”. Además se exponen los resultados obtenidos de los experimentos realizados al sistema *iCare*.

También se presenta una descripción del equipo sobre el cual se realizaron las pruebas del sistema.

Hacia la parte final del capítulo se presentan resultados obtenidos de experimentos adicionales relacionados con el uso de un repositorio de enfermedades cardíacas, así como los resultados obtenidos de la selección de atributos e implementación de algoritmos de aprendizaje no supervisado usando el repositorio mencionado.

Adicionalmente se presenta la descripción de la obtención de los datos clínicos de usuarios pertenecientes a la Unidad de Medicina Familiar Núm. 20 del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) de Cuernavaca, Morelos.

6.2. Hardware de pruebas

Para las pruebas en la aplicación se usó de un teléfono inteligente, en la Tabla 6.1 se listan sus especificaciones:

Especificación	Valor
Modelo	LG Optimus L5
Pantalla	320 x 480 pixeles , 4.0 pulgadas
Memoria	4GB memoria interna 5412MB RAM
Procesador	Procesador Qualcomm MSM7225A SnapDragon 800 MHz, GPU Adreno 200
Versión sistema operativo	4.0 Ice Cream Sandwich
Bluetooth	3.0 A2DP
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Batería	Standar, Li-ion mAh En espera hasta 900 horas en 2G o 3G En conversación hasta 10 horas en 2G o 9 horas en 3G

Tabla 6.1: Especificaciones de dispositivo móvil empleado en las pruebas de la aplicación iCare

6.3. Módulos de la aplicación iCare

Antes de iniciar las pruebas primero se definen los módulos a evaluar con su respectiva descripción. La Tabla 6.2 describe lo anterior.

Módulo	Descripción
FileManager	■ Es el encargado de la creación y manejo de los archivos creados durante el monitoreo del signo vital.
icare	■ Contiene las actividades principales, es decir, son las actividades encargadas de lanzar actividades secundarias.
iCareCalculus	■ Contiene las clases que proporcionan las operaciones de calculo, por ejemplo, el cálculo del riesgo cardiovascular.
iCareDBManager	■ Es la encargada de realizar las gestiones entre las tablas de la base de datos local y las peticiones de consulta o edición de la aplicación.
icareServices	■ Es la encargada de contener los diferentes servicios de la aplicación, por ejemplo, el servicio que se encarga de la recepción de frecuencia cardíaca.
Micellaneous	■ Es la encarga de contener las clases para la creación de tacograma, diferentes formatos del tiempo en que se realiza el muestreo, entre otros.

Tabla 6.2: Módulos de la aplicación iCare

6.3.1. Partición equivalente

Se basa en la división del campo de entrada en un conjunto de clases de datos denominadas clases de equivalencia.

Las clases de equivalencia definen estados válidos y no válidos. En donde una clase válida genera un valor esperado y una clase no válida genera un valor inesperado.

Clase de equivalencia para el cálculo del riesgo cardiovascular

Las condiciones de entrada para esta clase están formadas por los datos de entrada que se solicitan por las ecuaciones de Framingham, para realizar el cálculo de riesgo cardiovascular. La Tabla 6.3 muestra la clase de equivalencia para el cálculo del riesgo cardiovascular.

Condición de entrada	Tipo	Clase equivalencia válida	Clase equivalencia no válida
Edad	Númérico	(1)Edad >0, (2)Edad <120	(3)Valor no numérico, (4) Edad <0, (5)Edad >120
Genero	Conjunto	(6)“Femenino”, (7)“Masculino”	(8) cadena en blanco y distinta a las válidas
Diabético	Lógico	(9) Si , (10) No	(11) Valor diferente
Fumador	Lógico	(12)Si, (13)No	(14)Valor diferente
Colesterol	Rango	(15) colesterol >0, (16)Colesterol <300	(17)Valor no numérico, (18) Colesterol <0, (19)colesterol >300

Condición de entrada	Tipo	Clase equivalencia válida	Clase equivalencia no válida
HDL	Rango	(20)HDL >0, (21)HDL <300	(22)Valor no numérico, (23)HDL <0, (24)HDL >300
SBP	Rango	(25)SBP >0, (26)SBP <300	(27)Valor no numérico, (28)SBP <0, (29)SBP >300
DBP	Rango	(30)DBP >0, (31)DBP <300	(32)Valor no numérico, (33)DBP <0, (34)DBP >300
ECG	Booleana	(35)Si, (36)No	(37)Valor diferente

Tabla 6.3: Clases de equivalencia para el cálculo de riesgo cardiovascular

Casos de prueba para el cálculo de riesgo cardiovascular

La Tabla 6.4 describe el caso de prueba para el cálculo del riesgo cardiovascular.

Caso	Clase equivalencia		Resultado
1	1, 6, 9, 12, 15, 20, 25, 30, 35	Edad: 58, Genero: Femenino, Diabético: Si, Fumador: Si, Colesterol: 158, HDL:95, SBP: 100, DBP: 60, ECG: si	Cálculo de porcentaje de riesgo cardiovascular.
2	3, 8, 11, 14, 17, 22, 27, 32, 37	Edad: x, Genero: Enfermera, Diabético: 14, Fumador: null, Colesterol: null, HDL:null, SBP: null, DBP: z, ECG: null	No calcula el porcentaje de riesgo cardiovascular.
3	2, 7, 10, 13, 16, 21, 26, 31, 36	Edad: 58, Genero: Masculino, Diabético: No, Fumador: No, Colesterol: 158, HDL:95, SBP: 100, DBP: 60, ECG: No	Cálculo de porcentaje de riesgo cardiovascular.
4	4, 6, 9, 12, 18, 23, 28, 33, 36	Edad: -8, Genero: Femenino, Diabético: Si, Fumador: Si, Colesterol: -20, HDL:-4, SBP: -100, DBP: -20, ECG: No	No calcula el porcentaje de riesgo cardiovascular.
5	5, 8, 11, 12, 19, 24, 29, 34, 35	Edad: 58, Genero: lapiz, Diabético: x, Fumador: Si, Colesterol: 458, HDL:395, SBP: 400, DBP: 600, ECG: si	No calcula el porcentaje de riesgo cardiovascular.

Tabla 6.4: Casos de prueba para el cálculo de riesgo cardiovascular

Clase de equivalencia para el árbol de decisiones

Las condiciones de entrada para esta clase de equivalencia, están formadas por los nodos que conforman el árbol de decisión. La Tabla 6.5 muestra la clase de equivalencia para el árbol de decisiones.

Condición de entrada	Tipo	Clase equivalencia válida	Clase equivalencia no válida
Frecuencia cardíaca	Rango	(1)FC >30, (2)FC <240	(3)Valor no numérico, (4) FC <30, (5)FC >240
Estilo de vida	Conjunto	(6)“Sedentario”, (7)“Normal”, (8) “Activo”	(9) Cadena en blanco y distinta a las válidas
Actividad física	Rango	(10) AF >0, (11) AF <19	(12) Valor no numérico, (13)AF <0, (14)AF >19
Riesgo cardiovascular	Rango	(15)RC >0, (16)RC <100	(17)Valor no numérico,(18) RC<0, (19)RC>100

Tabla 6.5: Clases de equivalencia para el cálculo de toma de decisiones.

Casos de prueba para el cálculo del árbol de decisiones

La Tabla 6.6 muestra el caso de prueba para el cálculo del árbol de decisiones.

Caso	Clase equivalencia		Resultado
1	1, 6, 10, 15	FC: 80, EV: Sedentario, AF: 4.0, RC: 0.3	Toma de decisión.
2	2, 7, 11, 16	FC: 120, EV: Normal, AF: 11.0, RC: 0.3	Toma de decisión
3	3, 9, 12, 17	FC: null, EV: total, AF: z, RC: y	No se toma la decisión, ocurre un error
4	4, 8, 13, 16	FC: 20, EV: Activo, AF: -3, RC: 30	No se toma la decisión, ocurre un error
5	5, 7, 11, 18	FC: 280, EV: Normal, AF: 8.0, RC: -3	No se toma la decisión, ocurre un error

Tabla 6.6: Casos de prueba para el árbol de toma de decisión

6.3.2. Pruebas funcionales

En las pruebas funcionales se realiza una comprobación del comportamiento del sistema, la observación del comportamiento se realiza a través de la definición de casos de prueba.

En las pruebas funcionales ejecutadas para la aplicación iCare las pruebas funcionales incluyen los resultados esperados y los resultados obtenidos de aplicar una instancia con fallas.

Las pruebas funcionales se realizaron sobre los casos de uso expuestos en el capítulo 4. La Tabla 6.7 describe las pruebas funcionales.

Caso de uso	Instancia con fallo	Resultado esperado	Resultado obtenido
iniciarAplicacion	El usuario no da los permisos para habilitar el Bluetooth en el dispositivo móvil.	1) La aplicación muestra un mensaje de notificación al usuario. El usuario puede acceder al menú principal, pero en las opciones que necesariamente necesiten el Bluetooth, aparecerán deshabilitadas.	1) El usuario puede acceder a la aplicación, pero no puede realizar tareas como iniciar el monitoreo .
iniciarMonitoreo	El usuario introduce información no válida en el caso de uso configurar aplicación.	2) El sistema notifica al usuario los campos que debe corregir.	2) El sistema toma los valores por defecto.
iniciarMonitoreo	El usuario introduce información no válida en el caso de uso configurar perfil.	3) El sistema notifica al usuario los campos que debe corregir.	3) El sistema toma los valores por defecto establecidos.
iniciarMonitoreo	El usuario inicia el monitoreo sin haber seleccionado el dispositivo médico.	4) El sistema notifica al usuario la ausencia de un dispositivo seleccionado.	4) EL sistema muestra deshabilitada la opción de monitoreo.

Caso de uso	Instancia con fallo	Resultado esperado	Resultado obtenido
iniciarRespaldo	El usuario inicia el respaldo de su información, sin embargo, el espacio libre de la memoria no es suficiente.	5) El sistema le notifica al usuario el espacio libre restante y le solicita liberar espacio.	5) El sistema muestra el espacio libre, no realiza el respaldo hasta que el usuario libere memoria.

Tabla 6.7: Prueba funcional sobre los casos de uso

6.4. Resultados del prototipo

6.4.1. Búsqueda de dispositivos Bluetooth

Si en el dispositivo móvil no se encuentra habilitado el Bluetooth, la aplicación antes de iniciar la búsqueda de otros dispositivos solicitará al usuario el permiso para habilitar y hacer visible el Bluetooth del dispositivo móvil, el diálogo que se presenta al usuario se muestra en la Figura 6.4

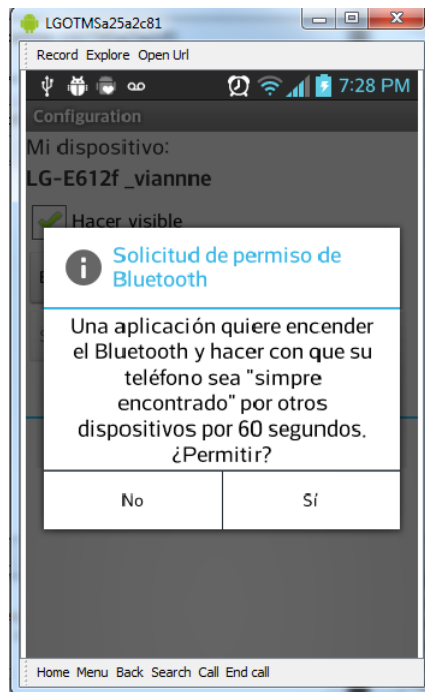


Figura 6.1: Solicitud de la aplicación iCare para habilitar el Bluetooth del dispositivo móvil.

6.4.2. Estableciendo las preferencias del usuario

Perfil de usuario

El usuario puede introducir su perfil de usuario de manera manual si lo desea, iCare le proporciona una opción para introducir sus datos personales. De manera particular se hace uso de lo que se conoce como preferencias. Las preferencias permiten que el usuario introduzca datos y que estos no se pierdan.

La Figura 6.2 muestra la interfaz que se le presenta al usuario, en esta puede editar su información personal.

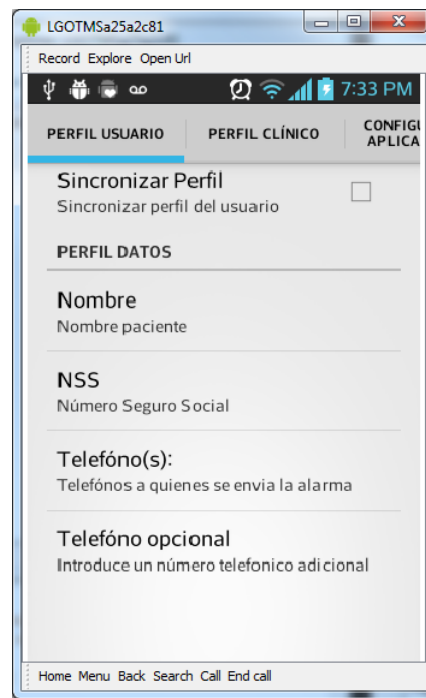


Figura 6.2: Establecimiento de preferencias del perfil de usuario.

Perfil de clínico

El usuario también puede editar sus datos clínicos, para ello puede seleccionar la pestaña “Perfil clínico”.

Se le despliega una interfaz en la que puede editar datos específicos relacionados a los valores de datos clínicos, tales como su peso, su altura, su presión arterial, entre otros. La Figura 6.3 muestra la interfaz que se muestra al usuario.

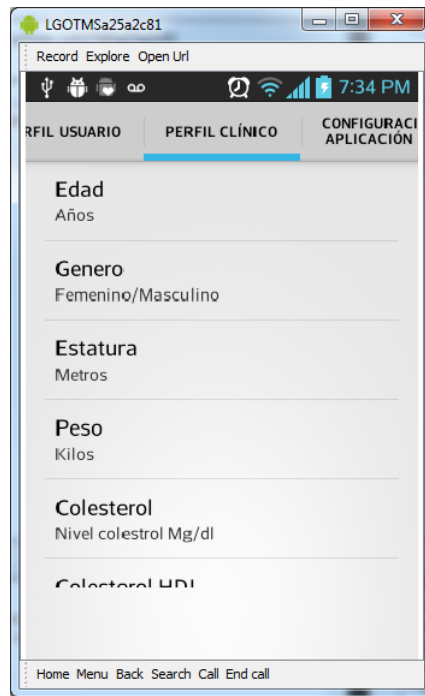


Figura 6.3: Edición de datos clínicos del usuario.

Configuración aplicación

La edición en la configuración de los parámetros de la aplicación pueden ser modificados por el usuario, sin embargo, se tiene presente que debe existir una restricción pues solo su médico puede realizar la edición de estos parámetros. En la configuración de la aplicación se establece el tiempo en que debe ser muestreado un signo fisiológico.



Figura 6.4: Establecimiento de parámetros de la aplicación.

6.4.3. Monitoreo

Cálculo de riesgo cardiovascular

El usuario puede seleccionar la opción “Riesgo cardiovascular”. Esta interfaz le proporciona información sobre el riesgo cardiovascular que se ha calculado según los valores de sus datos clínicos. También le presenta su índice de masa corporal como lo muestra la Figura 6.5.



Figura 6.5: Cálculo del riesgo cardiovascular.

Monitoreo de frecuencia cardíaca

Si el usuario selecciona “Frecuencia cardíaca” se despliega una interfaz que le permite visualizar los datos muestreados, actividad física que realiza, nivel de batería del dispositivo de monitoreo de frecuencia cardíaca entre otros datos. A la vez que se despliega esta opción se inicia un servicio, este servicio es el que en realidad se encarga de la transmisión de los datos. La Figura 6.6, muestra la monitorización de la frecuencia cardíaca.

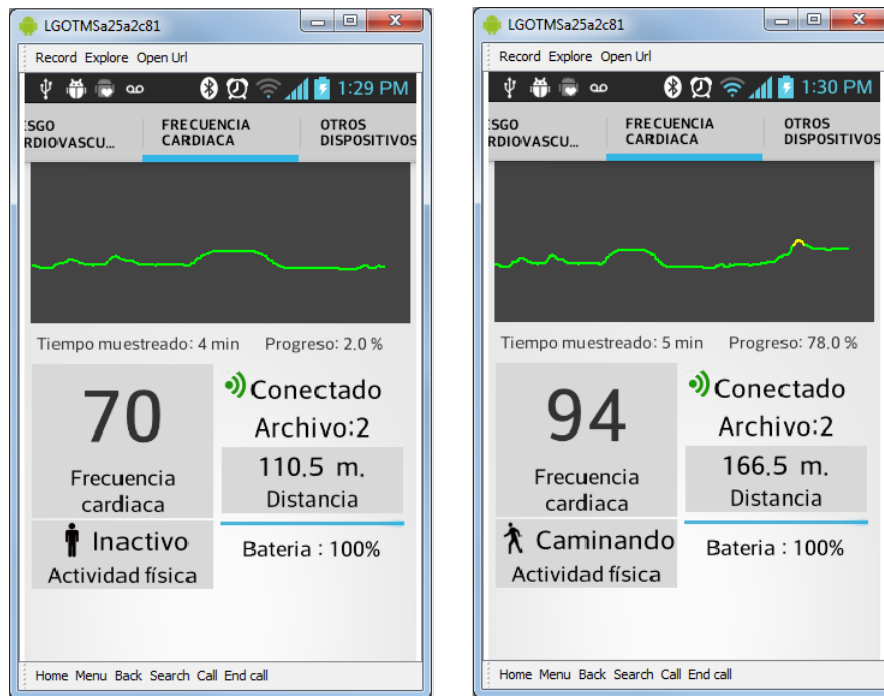


Figura 6.6: Monitorización de la frecuencia cardíaca.

6.5. Otros resultados

Se describen los resultados obtenidos de la puesta a prueba del sistema iCare. En la primera parte del capítulo se aborda la selección de los datos para el análisis del riesgo cardiovascular y se muestran los resultados obtenidos. En la segunda parte del capítulo se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a los servicios que ofrece iCare y que son referenciados en las pruebas.

6.5.1. Repositorio de enfermedades cardiovasculares

El repositorio utilizado inicialmente para realizar un reconocimiento de patrones fue el repositorio titulado “Heart Disease Data Set”, éste contiene un archivo con atributos asociados a enfermedades del corazón, los atributos tienen valores categóricos, enteros y reales. La base de datos contiene 76 atributos, sin embargo, 14 son los más utilizados y referenciados en publicaciones.

Selección de atributos

La Tabla 6.8 describe 17 atributos. Los primeros 14 corresponden a los más utilizados como entrada a clasificadores. Los atributos 15, 16 y 17 son de interés para el análisis de riesgo cardiovascular.

No.	Atributo	1	2	3
1	Edad	Si	Si	Si
2	Sexo	Si	No	Si
3	Tipo de dolor en el pecho	No	Si	No
4	Presión arterial	No	No	No
5	Nivel de Colesterol	Si	No	Si
6	Glucemia en ayunas	Si	No	Si
7	Resultados del electrocardiograma	No	Si	No
8	Frecuencia cardíaca máxima alcanzada	No	Si	No
9	Angina inducida por ejercicio	No	Si	No
10	Depresión en el segmento ST inducida por el ejercicio	No	Si	No
11	Pendiente del segmento ST	No	No	No
12	Vasos coloreados por fluoroscopia	No	Si	No
13	Talasemia	No	Si	No
14	Diagnostico	No	Si	No
15	Antecedentes familiares	No	No	Si
16	Tabaquismo	No	No	Si
17	Hipertensión arterial	No	No	Si

Tabla 6.8: Selección de atributos.

6.5.2. Aprendizaje máquina

Como se explicó a detalle en el capítulo 3, existen dos tipos de aprendizaje: supervisado y no supervisado.

Aprendizaje no supervisado

Para este tipo de aprendizaje se implementó el algoritmo k-medias y Redes de Kohonen. Los resultados obtenidos un clasificador k-medias son los que se muestran en la Tabla 6.9.

No. Iteraciones	Clases	Resultados
300	2	Clase 1 = 105 / 53 %
300	2	Clase 2 = 94 / 47 %

Tabla 6.9: Clasificación k-medias.

Los resultados obtenidos usando una red de Kohonen se muestran en la Tabla 6.10

No. Iteraciones	300	500	500	300	120
Vecindad	5	3	6	3	3
Aciertos	54 %	33 %	54 %	36 %	33 %

Tabla 6.10: Clasificación con red de Kohonen.

Los objetivos que persigue esta tesis, los datos que se podían obtener de manera realista de los usuarios y los atributos que proporciona el repositorio disponible en la Web sobre enfermedades cardiovasculares, finalmente condujeron a omitir el uso del repositorio mencionado.

Entre los motivos principales se encuentra la falta de valores de factores de riesgo y la escasa información que ofrece de la frecuencia cardíaca del paciente.

6.5.3. Obtención de datos clínicos

Para la obtención de los datos clínicos necesarios para el calculo del riesgo cardiovascular, se implemento un esquema de consentimiento informado para el paciente, éste documento se detalla en el Apéndice D.

Se tuvo acceso al expediente clínico del usuario a través de su número de seguro social, de éste documento se sustrajo únicamente los datos mínimos necesarios para la realización de los cálculos correspondientes.

Se tomaron muestras a 33 usuarios, sin embargo, solo los datos de 21 de ellos son tomados en cuenta.

Los datos clínicos obtenidos de estos pacientes se detallan en el Apéndice D. A cada uno de estos pacientes se les tomó su frecuencia cardíaca entre 15 y 30 minutos.

Materiales y Métodos

Población

Adultos derechohabientes de la unidad Familiar No 20, Cuernavaca, Morelos.

Muestra

Personas de entre 45 y 70 años de edad, ambos géneros (masculino y femenino) con un perfil clínico que de preferencia a la realización de análisis sanguíneos de control mensuales.

Cálculo de riesgo cardiovascular

Uso de las ecuaciones del estudio de Framingham a 5 y 10 años.

Frecuencia cardíaca

Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, frecuencia en reposo y frecuencia cardíaca normal según estilo de vida.

Capítulo 7

Conclusiones y trabajos futuros

Durante el desarrollo de la tesis se logró el desarrollo de un prototipo, con el propósito de probar la aplicación que monitorea la frecuencia cardíaca.

Se programó un módulo que permite la adquisición vía Bluetooth de los datos monitoreados por el sensor de frecuencia cardíaca y mediante un algoritmo clasifican los datos obtenidos.

La información anterior, los datos del acelerómetro y el riesgo cardiovascular calculado, integran la entrada para el módulo que permite detectar anomalías y determinar cuando debe emitirse una señal de alarma.

Se diseñó un sistema web básico para el desarrollo a futuro de una aplicación completa para administrar el almacenamiento y la consulta de los resultados obtenidos del intercambio de información con el dispositivo móvil inteligente.

De lo anterior se concluye que los objetivos particulares fueron alcanzados y por ende el objetivo general fue cumplido.

Con base en la hipótesis planteada se verificó que la frecuencia cardíaca y la actividad física que realiza el usuario, le permite al prototipo desarrollado inferir si éste presenta un tipo de arritmia.

7.1. Logros y aportaciones

Algunas de las aportaciones se enumeran a continuación:

1. La propuesta de una arquitectura que permite añadir nuevos dispositivos médicos de monitoreo portátil que cuenten con tecnología Bluetooth.

2. El desarrollo de un prototipo que podría ser utilizado en ambientes reales.
3. Integración de algoritmos de aprendizaje y decisión en dispositivos móviles inteligentes, que permiten a los equipos de comunicación telefónica obtener un valor agregado, pues pueden fungir como cuidadores de la salud.
4. La información que proporciona al usuario podría incentivarlo a cambiar conductas y hábitos nocivos para su salud.

Adicionalmente se logró la publicación de un artículo con el título “iCare: Sistema ubicuo de monitoreo y cuidado personal”, en *Komputer Sapiens* revista catalogada dentro del índice de revistas Mexicanas de divulgación científica y tecnológica, para el periodo enero-junio 2013.

7.2. Trabajos futuros

Como trabajo futuro se propone la culminación de la aplicación Web, además de la integración de otros dispositivos médicos de monitoreo portátil no invasivos (termómetro, tensiómetro, glucómetro, báscula, oxímetro, entre otros).

La adición de otros dispositivos médicos podría permitir la obtención de información en tiempo real de otros factores de riesgo asociados a enfermedades cardiovasculares, abriendo la pauta a la elaboración de interpretaciones más precisas e incluso estudios independientes del comportamiento de los valores obtenidos dichos dispositivos.

Además la información recopilada de dispositivos médicos y sensores que midan el contexto del usuario posibilitan el diseño de nuevos escenarios que puedan ser útiles para la sociedad en general, por ejemplo, escenarios de monitoreo social o participativo.

Referencias bibliográficas

- [Anderson, 1991] Anderson, K. M. (1991). An updated coronary risk profile. a statement for health professional. *Circularion: Journal the american heart association*.
- [Android, 2013] Android, D. (2013). Platform versions. <http://developer.android.com/about/dashboards/index.html>. [Accesado Junio 2013].
- [Barro and Diz, 2002] Barro, A. X. and Diz, A. J. B. (2002). *Fronteras de la computación*. Ediciones Díaz de Santos S.A.
- [Botazzi et al., 2011] Botazzi, D., Turik, T., Mohsen, G., and Abdelhakim, S. H. (2011). Supporting context-aware applicatios for eldercare. *Journal of Communications and Network*.
- [Bush, 2006] Bush, V. P. (2006). *Proyecciones de la población de Mexico 2005-2050*.
- [Butler, 2011] Butler, M. (2011). Android: changing the mobile lanscape. *IEEE Pervasive Computing*, 10(1).
- [CENETEC, 2012] CENETEC (2012). Centro nacional de excelencia tecnológica en salud. <http://www.cenetec.salud.gob.mx/>. [Accesado Diciembre 2012].
- [Chan, 2008] Chan, A. Y. K. (2008). *Biomedical device technology: principles and design*. Charles C Thomas Publisher LTD.
- [Cook et al., 2006] Cook, S., Togni, M., Schaub, M. C., Wenaweser, P., and Hess, O. M. (2006). High heart rate; a cardiovascular risk factor. *European Heart Journal*.

- [Cruz, 2010] Cruz, P. P. (2010). *Inteligencia Artificial con aplicaciones a la ingeniería*. Alfaomega.
- [de la Salud, 1995] de la Salud, O. P. (1995). *Clasificación estadística internacional de enfermedades y problemas relacionados con la salud*. Programa de publicaciones de la OPC.
- [Falgueras, 2003] Falgueras, B. C. (2003). *Ingeniería del Software*, chapter Capítulo IV Recogida y documentación de requisitos, pages 112–113. Editorial UOC.
- [Feo, 2004] Feo, D. A. (2004). *Manual de arritmias cardíacas*. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.
- [Fraisie, 1976] Fraisse, P. (1976). *Psicología del ritmo*. Ediciones Morata, S. A.
- [Friedmann et al., 2001] Friedmann, M., Cantero, M. O., and Vidal, J. L. (2001). Visión y fundamentos técnicos de la computación ubicua. *Novatica*.
- [Gallo et al., 1999] Gallo, J. A., Farbiarz, J., and Alvarez, D. L. (1999). Análisis espectral de la variabilidad de la frecuencia cardíaca. *IETRA*.
- [Galán, 2003] Galán, A. M. (2003). Valoración del riesgo cardiovascular. ¿qué tabla utilizar? *Atención primaria*.
- [Gartner, 2010] Gartner, G. (2010). Gartner says android to become no. 2 world wide mobile operating system in 2010. <http://www.gartner.com/newsroom/id/1434613>. [Accesado Junio 2013].
- [Gellersen, 2001] Gellersen, H.-W. (2001). Computación ubicua; el punto de encuentro entre computación y dispositivos. *NOVATICA*.
- [Gerring and Zimbardo, 2005] Gerring, R. J. and Zimbardo, P. G. (2005). *Psicología y vida*. Pearson Education.
- [Girones, 2011] Girones, J. T. (2011). *El gran libro de Android*, chapter Capítulo 1: Visión general y entorno de desarrollo, pages 47–48. Alfaomega, primera edición edition.
- [Gogging, 2006] Gogging, G. (2006). *Cell Phone Culture Mobile technology in everyday life*, chapter ●, pages 1,2. Routedge.

- [Havey and Ferrier, 2011] Havey, R. A. and Ferrier, D. R. (2011). *Biochemistry*, chapter Obesity. Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business.
- [Haya et al., 2001] Haya, P., Alaman, X., and Montoro, G. (2001). Un estudio comparativo de infraestructura de comunicación para la implementación de computación ubicua. *Novatica*.
- [Hilera and Martinez, 1995] Hilera, J. R. and Martinez, V. J. (1995). *Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos, modelos y aplicaciones*. Addison-Wesley Iberoamericana.
- [Kramme et al., 2011] Kramme, R., Hoffmann, K.-P., and Pozos, R. S., editors (2011). *Handbook of Medical Technology*. Springer.
- [Kumar et al., 2008] Kumar, S., Kambhatla, K., Hu, F., Lifson, M., and Xiao, Y. (2008). Ubiquitous computing for remote cardiac patient monitoring: A survey. *International Journal of Telemedicine and Applications*.
- [Labiod et al., 2007] Labiod, H., Afifi, H., and de Santis, C. (2007). *Wi-Fi Bluetooth ZigBee and WiMax*. Springer.
- [Martínez, 2000] Martínez, E. (2000). La actividad física en el control de la hipertensión arterial. *IATREIA*.
- [Ming-Zher et al., 2012] Ming-Zher, P., Kyunghee, K., Goessling, A., Swenson, N., and Picard, R. (2012). Cardiovascular monitoring using earphones and mobile device. *Pervasive Computing, IEEE*.
- [O'Donnell and Elosua, 2008] O'Donnell, C. J. and Elosua, R. (2008). Cardiovascular risk factors. insights from framingam heart study. *Revista Española de Cardiología*.
- [OMG, 2005] OMG (2005). *Evite los infartos de miocardio y los accidentes cerebrovasculares; No sea una víctima, protéjase*.
- [OMG, 2013] OMG (2013). Enfermedades cardiovasculares. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/es/index.html>. [Accesado Diciembre 2012].

- [Pantelopoulos, 2010] Pantelopoulos, A. (2010). A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society*.
- [Philip, 2003] Philip, B. F. (2003). Predicting the potential of wearable technology. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*.
- [Poslad, 2009] Poslad, S. (2009). *Uboquitous Computing: Samart Devices, Enviroments and Interactions*. Wiley.
- [Pressman, 2005] Pressman, R. S. (2005). *Ingenieria de Software; Un enfoque practico*, pages 79–92. Mc Graw Hill, sexta edición edition.
- [Pérez and León, 2001] Pérez, I. and León, B. (2001). *Lógica difusa para principiantes: teoría y practica*. Publicaciones UCAB.
- [Rodas et al., 2008] Rodas, G., Carballido, C. P., Ramos, J., and Capdevila, L. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardíaca: Concepto, medidas y relación con aspectos clínicos. *Archivos de Medicina del Deporte*.
- [Ruiz and Noguera, 2010] Ruiz, A. S. and Noguera, F. A. R. G. J. C. R. (2010). *Guía practica de sensores*. Creaciones Copyright, S. L.
- [Ruiz, 2012] Ruiz, J. S. (2012). *Control global del riesgo cardiometabolico*, volume Volumen 1. Ediciones Dias de Santos.
- [Sampedro et al., 2011] Sampedro, M. T. M., Noriega, E. P., Árcega Dominguez, A., Sotomayor, M. M. S., and Morales, G. A. (2011). Estilo de vida: Precursor de factores de riesgo cardiovascular en adultos sanos. *Revista Mexicana de Enfermería Cardiológica*.
- [Sarumathi and Nithya, 2012] Sarumathi, S. and Nithya, N. (2012). Effective heart disease prediction system using frequent feature selection method. *Internacional Journal of Communication and Engineering*.
- [Schmalbach et al., 2006] Schmalbach, J. E., Cruz, O. G., and Cusnir, P. G., editors (2006). *Semiología quirurgica*. Univcersidad Nacional de Colombia.
- [Shaofeng et al., 2011] Shaofeng, W., Lianying, J., Aiguang, L., and Jiankang, W. (2011). Body sensor networks for ubiquitous healthcare. *J Control Theory Appl*.

- [SINAIS, 2011] SINAIS (2011). Principales causas de mortalidad general. <http://sinais.salud.gob.mx/mortalidad/>. [Accesado Diciembre 2012].
- [SSA, 2001] SSA (2001). *Programa de acción: Enfermedades Cardiovasculares e Hipertensión Arterial*.
- [SSA, 2007] SSA (2007). *Programa Nacional de salud 2007-2012*. Secretaría de salud, primera edición edition.
- [SSA, 2010] SSA (2010). *Detección y estratificación de factores de riesgo cardiovascular*.
- [SSA, 2012] SSA, S. d. I. y. C. (2012). Programa de acción específico 2007-2012; telesalud. <http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/telemedicina/talleresRegionales/PAE-TELESALUD.pdf>. [Accesado Diciembre 2012].
- [Tanenbaum, 2003] Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de computadoras*. Pearson Educación.
- [Thomas and Kotecki, 2007] Thomas, D. Q. and Kotecki, J. E. (2007). *Physical Activity and Health*, pages 85–86. Jones and Bartlett Publishers, Inc, segnda edición edition.
- [Varshney, 2009] Varshney, U. (2009). *Pervasive Healthcare Computing: EMR/EHR, Wireless and Health Monitoring*. Springer, Princeton NJ and London.
- [Warrell et al., 2005] Warrell, D. A., Cox, T. M., and D.Firth, J., editors (2005). *Oxford Textbook of Medicine*, chapter Nutrition. Oxford University Press, fourth edition edition.
- [Warren et al., 2011] Warren, J.-D., Adams, J., and Molle, H. (2011). *Arduino Robotics*. Apress.
- [Weiser, 1991] Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific American*.
- [Wilmore and Costill, 2007] Wilmore, J. and Costill, D. (2007). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*, pages 241–244. Editorial Paidotribo.

- [Yuan, 2011] Yuan, B. (2011). Web-based real-time remote monitoring for pervasive healthcare. *Pervasive Computing and Communications Workshops, 2011 IEEE International Conference on*.

Glosario

A

Actuador es un transductor que produce una fuerza o movimiento.

Ateromatosis Depósito de colesterol y lípidos en la capa media de las arterias.

Aterosclerosis Enfermedad en la que la placa compuesta esencialmente por grasa, colesterol, calcio y otras sustancias se deposita dentro de las arterias.

D

Diástole El relajamiento del corazón, que ocurre cuando se abre la válvula de entrada para permitir que el ventrículo se llene y se cierra la válvula de salida.

E

Ecocardiograma Es una prueba no-invasiva que utiliza técnicas de ultrasonido para producir una imagen, producto de las ondas sonoras que se reflejan en los tejidos u órganos que se están examinando. Para esta prueba se coloca un transductor sobre el pecho.

La máquina produce ondas sonoras de alta frecuencia, las cuales rebotan en las estructuras del corazón, las recibe el transductor y las transforma en una grabación gráfica.

Electrocardiograma Es una prueba no-invasiva en la cual se colocan electrodos en los brazos, piernas y pecho del paciente. Estos electrodos

producen trazos gráficos de la actividad eléctrica del corazón y pueden ayudar a detectar anomalías del ritmo y de la estructura del corazón.

Electrodo Es un transductor que adquiere de manera directa un signo eléctrico sin la necesidad de convertirlo a otra forma, es decir, la entrada y salida del transductor es energía eléctrica.

Enfermedades isquémicas del corazón Angina de pecho, infarto agudo del miocardio, infarto subsecuente del miocardio, entre otras [de la Salud, 1995]

Etario Grupo segmentado según la edad.

Evento fisiológico Entiéndase por evento fisiológico como un episodio relacionado con una condición del paciente, por ejemplo, en una condición relacionada con el corazón, un ataque es un evento fisiológico relacionado.

F

Factor de riesgo Es una característica del individuo o de su entorno que cuando está presente, indica un riesgo más elevado de presentar una enfermedad.

Fibrinógeno Proteína producida por el hígado que ayuda a detener el sangrado favoreciendo a la coagulación.

Fotopletismografía Es el método más usado para calcular el tiempo de relleno venoso, utiliza una fuente de luz sobre un área de piel junto con un sensor adyacente el cual mide la reflexión de la luz [Schmalbach et al., 2006]

G

Gestures Movimiento pregrabado sobre la pantalla táctil, tal que la aplicación puede reconocer.

H

HDL-colesterol Mejor conocido como colesterol bueno.

hipolipemiantes Droga que actúa disminuyendo el nivel de colesterol.

hipercoagulable También llamado trombo el cual puede bloquear parcial o totalmente el flujo de sangre en un vaso sanguíneo.

Hiperinsulinemia Exceso de insulina en la sangre, la insulina es la encargada de regular la cantidad de glucosa en la sangre.

I

Índice de Masa Corporal Método que emplea la relación del peso con el cuadrado de la estatura. Este índice es usado para determinar de una manera indirecta la cantidad de grasa en el cuerpo [Havey and Ferrier, 2011].

Invisible La mínima interacción del ser humano con la computadora para indicarle que debe hacer y cuando hacerlo.

N

Nódulo sinusal Marcapasos natural del cuerpo.

M

mm Hg Abreviatura de milímetros de mercurio. Esta unidad es la utilizada para medir la presión arterial.

O

Omnipresente Que está presente a la vez en todas partes, atributo solo de Dios.

Oxímetro del pulso Es un sensor superficial que se fija en un dedo o en la oreja del paciente para monitorear los niveles de oxígeno de la sangre.

Onda compleja Una onda compleja está compuesta por una suma de ondas más simples que pueden ser identificadas por medio de varias técnicas matemáticas como el análisis espectral.

P

Presión arterial La impulsión de la sangre que requiere la potencia y la energía de un sistema contráctil capaz de generar la presión necesaria a fin de que dicho fluido, que es de naturaleza un tanto espesa se mantenga en continuo movimiento. La presión considerada normal fluctúa entre 80/120 mm Hg.

La presión arterial normalmente se mide en la parte superior del brazo y tiene un valor sistólico, el número más alto, un valor diastólico, el número de menor valor.

Pulso el pulso arterial normalmente se siente en la muñeca se refiere a la sístole.

S

Sensor Es un dispositivo que puede detectar cambios de una magnitud física y adaptarla sistemáticamente a una magnitud física diferente.

Sístole La contracción que abre la válvula de salida del corazón, cierra la válvula de entrada y hace que la arteria se llene de sangre.

T

Tacograma Registro de la frecuencia cardíaca en el tiempo.

Telas inteligentes Término relacionado a “wearable computing” donde la ropa se elabora con materiales especiales que son conductores de impulsos eléctricos [Friedmann et al., 2001].

Telesalud Término que se adopta para hacer referencia a la tele-medicina en un sentido en el que incluye la incorporación de servicios de entrenamiento y capacitación, gestión de servicios y procesos asociados a la atención médica, la prevención de enfermedades, monitoreo en casa, el apoyo en desastres y seguimiento epidemiológico.

Tono parasimpático Encargado de regular la conducta y los procesos internos cotidianos.

Tono simpático Governa los procesos internos y la conducta en las situaciones tensas [Gerring and Zimbardo, 2005].

Transductor Es un dispositivo que convierte una forma de energía a otra.

V

Variaciones circadianas Las variaciones circadianas se refieren a la heterogeneidad en las fases de vigilia y sueño [Fraisse, 1976].

VFC La variabilidad de la frecuencia cardíaca es utilizada como un asociador entre el Sistema Nervioso Autónomo y la mortalidad cardiovascular.

Apéndice A

Configuración del ambiente de trabajo

Entorno de desarrollo

Para el entorno de desarrollo de una aplicación en Android se hace uso de herramientas basadas en software libre. Es necesario para la configuración del entorno de trabajo contar con el siguiente software:

- Java 6.0 o superior
- IDE Eclipse
- Android SDK
- Pluging de Android para Eclipse
o bien de manera alternativa el paquete:
- Android Developer Tools

Instalación de Java

Para la instalación de Java y configuración de variables de entorno en Windows se siguen los siguientes pasos:

1. Se accede a la página oficial de descargas de java:
`http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html`
2. Se elige la plataforma sobre la cual se va a trabajar:
`http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/jdk7-downloads-1880260.html`
3. Descargada la versión se descomprime el archivo y se almacena en la carpeta de *archivos de programa*.
4. Se configuran las variables de entorno JAVA_HOME, CLASSPATH y CATALINA_HOME.

Para hacer la configuración de las variables se accede a:

Panel de control → Sistema y seguridad → Sistema → Configuración avanzada del sistema → Opciones avanzadas → Variables de entorno → Nueva.

La FiguraA.1 muestra la configuración de la variable de entorno CATALINA_HOME en Windows 7.

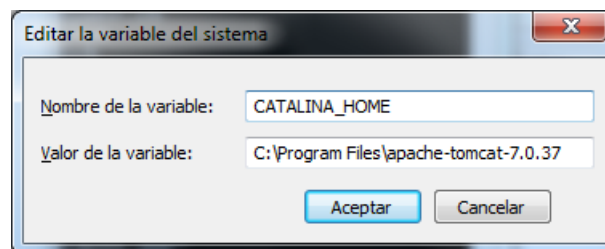


Figura A.1: Configuración variable de entorno CATALINA_HOME.

Apéndice A. Configuración del ambiente de trabajo

La FiguraA.2 muestra la configuración de la variable de entorno CLASSPATH en Windows 7.

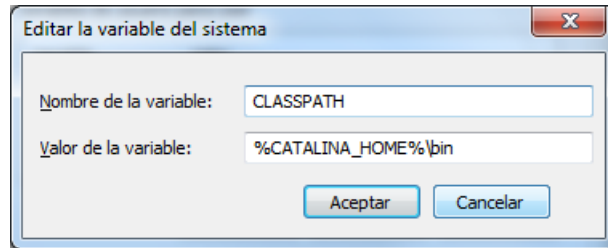


Figura A.2: Configuración variable de entorno CLASSPATH

La FiguraA.3 muestra la configuración de la variable de entorno JAVA_HOME en Windows 7.

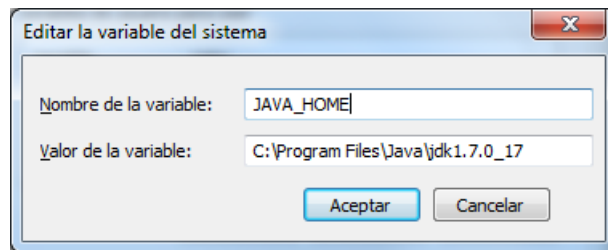


Figura A.3: Configuración variable de entorno JAVA_HOME

Instalación de ADT

Android proporciona un paquete con el software necesario para la establecer el entorno de desarrollo para aplicaciones Android. El software que compone este paquete es el siguiente:

1. SDK de Android.
2. Eclipse.
3. El Plug-in Android para eclipse (ADT).
4. Android Plataform-Tools.
5. La última versión de la plataforma Android.
6. La última imagen del sistema Android para el emulador.

El paquete mencionado es conocido como *Android SDK ADT Bundle* y esta disponible para su descarga en: <http://developer.android.com/sdk/index.html>.

Para el desarrollo del proyecto iCare, se descargó una de las versiones de ADT para sistemas operativos Windows x86.

El archivo descargado es descomprimido y puede ser almacenado en cualquier unidad.

En la carpeta raíz se encuentran dos subcarpetas y un ejecutable, la primera subcarpeta corresponde a eclipse y la segunda al SDK de Android y el ejecutable es un manejador del kit de desarrollo. La Figura A.4 muestra el contenido de la carpeta raíz ADT.

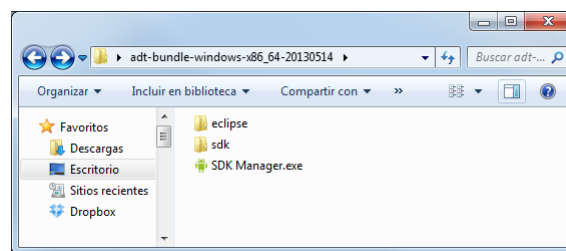


Figura A.4: Contenido de la carpeta raíz ADT

Para iniciar el desarrollo de un proyecto únicamente se accede a la carpeta de eclipse y se doble clic sobre el icono de “*eclipse.exe*”.

Agregar bibliotecas externas

La aplicación iCare utiliza una librería externa que contiene las clases y métodos necesarios para comunicarse con el dispositivo médico portátil que monitorea la frecuencia cardíaca.

Esta librería es proporcionada por la empresa Zephyr para dar soporte en el desarrollo de aplicaciones relacionados con sus productos.

Para agregar esta librería al proyecto en Android se siguen los siguientes pasos:

1. Se descarga y desempaqueta el archivo *.rar* des de la página oficial de Zephyr.
2. Del archivo descargado y descompilado únicamente se extrae el archivo **HxMBT.jar** y puede ser incluido en la carpeta del proyecto en desarrollo.
3. Se da clic derecho sobre la carpeta principal del proyecto y se selecciona la opción propiedades.
4. Se despliega una ventana de propiedades. Del lado izquierdo de la pantalla se selecciona la opción *Java Build Path*.
5. Se despliega una pantalla con diferentes opciones. Se selecciona la pestaña con la opción *Libraries*.
6. Se da clic sobre *Add External JARs...* para añadir una nueva librería.
7. Se despliega una pantalla en la que se selecciona la ruta donde fue colocada la librería y se selecciona.
8. Se da clic sobre el botón aceptar.

Apéndice A. Configuración del ambiente de trabajo

La Figura A.5 muestra la ventana de propiedades del proyecto y de manera particular se muestra la opción para añadir una librería externa a un proyecto.

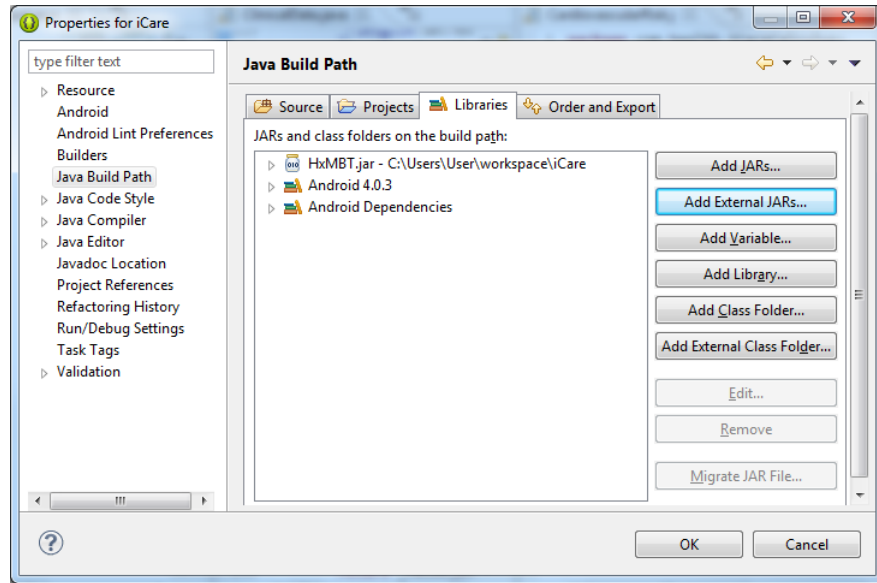


Figura A.5: Agregar una librería externa a un proyecto en Android.

Entorno Web en Eclipse

Es necesario que se cuente con la herramienta Eclipse Web Tools Platform (WTP) en Eclipse, pues permite el desarrollo de aplicaciones Web.

Una manera de instalar las herramientas de desarrollo Web en eclipse es haciendo uso de su manejador de paquetes. Para acceder se siguen los siguientes pasos:

1. Del menú principal se selecciona Ayuda → Instalar nuevo Software.
2. Se despliega una ventana, en ella seleccionamos la opción Agregar.
3. Se despliega una nueva ventana como se muestra en la Figura A.6. El nombre que se le de a la búsqueda del repositorio es opcional, sin embargo, en donde se pide la localización debe colocarse expresamente una dirección válida.

Apéndice A. Configuración del ambiente de trabajo

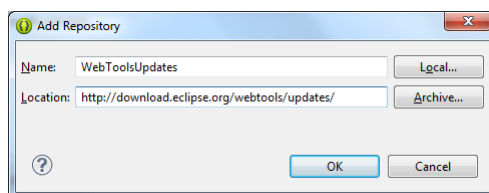


Figura A.6: Agregar un repositorio para la instalación de software.

4. Una vez en la pantalla inicial se despliegan las versiones de software que pueden ser instaladas, asociadas al repositorio. Como lo muestra la Figura A.7 se selecciona la versión 3.1.1 y se clic en siguiente.

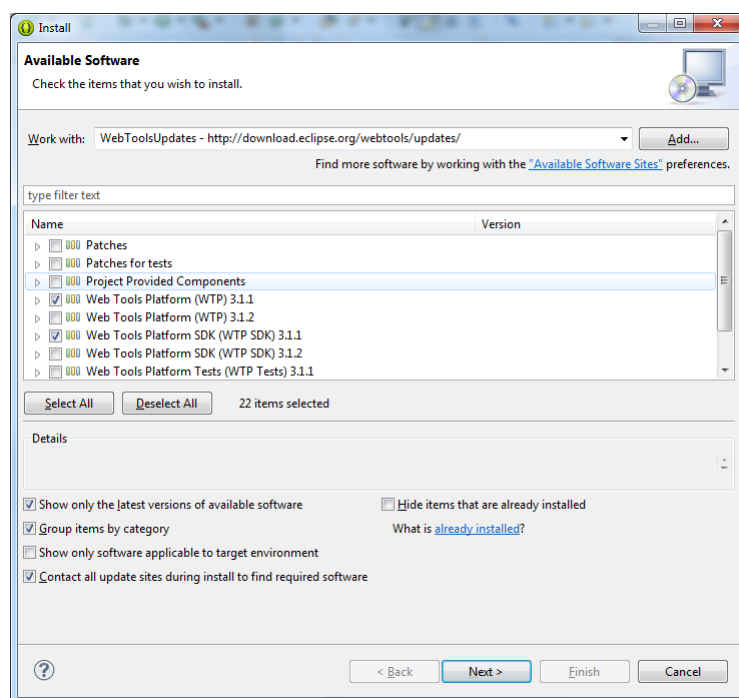


Figura A.7: Software disponible para ser instalado

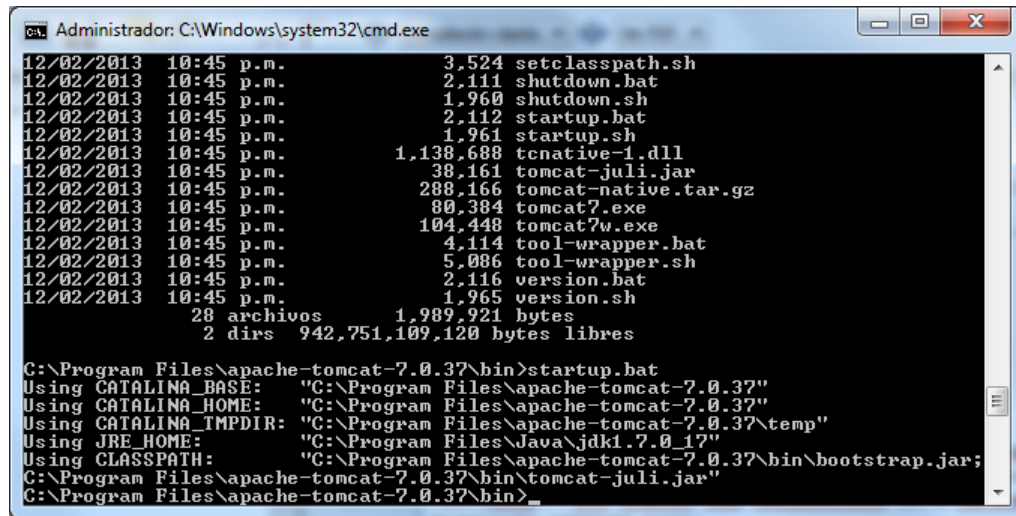
5. Una vez que se ha terminado la descarga del software seleccionado se da clic en finalizar.

Apache Tomcat

Apache Tomcat es ocupado como contenedor de servlet. Este contenedor puede ser descargado, para ello accedemos a la página Web <http://tomcat.apache.org/index.html>, en la sección de *descargas*, se elige la versión que se desea descargar. Para el desarrollo de esta aplicación se descargó la version 7.0 para Windows.

El archivo descargado se descomprime y se almacena en el directorio de *archivos de programa*.

Para arrancar el servidor se puede abrir una ventana de comandos y acceder hasta la carpeta bin de Apache Tomcat y ejecutar el archivo **startup.bat** como lo muestra la Figura A.8.



```
Administrador: C:\Windows\system32\cmd.exe
12/02/2013  10:45 p.m.      3,524 setclasspath.sh
12/02/2013  10:45 p.m.      2,111 shutdown.bat
12/02/2013  10:45 p.m.      1,960 shutdown.sh
12/02/2013  10:45 p.m.      2,112 startup.bat
12/02/2013  10:45 p.m.      1,961 startup.sh
12/02/2013  10:45 p.m.    1,138,688 tcnative-1.dll
12/02/2013  10:45 p.m.      38,161 tomcat-juli.jar
12/02/2013  10:45 p.m.     288,166 tomcat-native.tar.gz
12/02/2013  10:45 p.m.      80,384 tomcat7.exe
12/02/2013  10:45 p.m.     104,448 tomcat7w.exe
12/02/2013  10:45 p.m.       4,114 tool-wrapper.bat
12/02/2013  10:45 p.m.      5,086 tool-wrapper.sh
12/02/2013  10:45 p.m.       2,116 version.bat
12/02/2013  10:45 p.m.       1,965 version.sh
          28 archivos      1,989,921 bytes
          2 dirs  942,751,109,120 bytes libres

C:\Program Files\apache-tomcat-7.0.37\bin>startup.bat
Using CATALINA_BASE:  "C:\Program Files\apache-tomcat-7.0.37"
Using CATALINA_HOME:  "C:\Program Files\apache-tomcat-7.0.37"
Using CATALINA_TMPDIR: "C:\Program Files\apache-tomcat-7.0.37\temp"
Using JRE_HOME:       "C:\Program Files\Java\jdk1.7.0_17"
Using CLASSPATH:      "C:\Program Files\apache-tomcat-7.0.37\bin\bootstrap.jar;
C:\Program Files\apache-tomcat-7.0.37\bin\tomcat-juli.jar"
C:\Program Files\apache-tomcat-7.0.37\bin>
```

Figura A.8: Arrancar servidor Apache Tomcat.

Finalmente para comprobar que se ha instalado correctamente, se puede abrir un explorador Web y escribir la siguiente dirección: <http://localhost:8080>.

Configuración de Tomcat en eclipse

Una vez que se han instalado las herramientas para el desarrollo web y se ha instalado correctamente el contenedor de servlets Apache Tomcat, se procede a la configuración de Tomcat en Eclipse.

Para hacerlo se selecciona de la barra de menú principal, Window→ Preferencias→ Server→ Runtime environmet.

Del lado derecho de la ventana se accede a la opción añadir en la pantalla que se despliega se elige la versión de Apache Tomcat con la que se trabajará y se da clic en siguiente.

En la ventana que se despliega se solicita que se introduzca el directorio con en donde se encuentran los archivos del contenedor Apache. Después de introducir la ruta se da clic en finalizar.

La Figura A.9 muestra los servidores que han sido agregados.

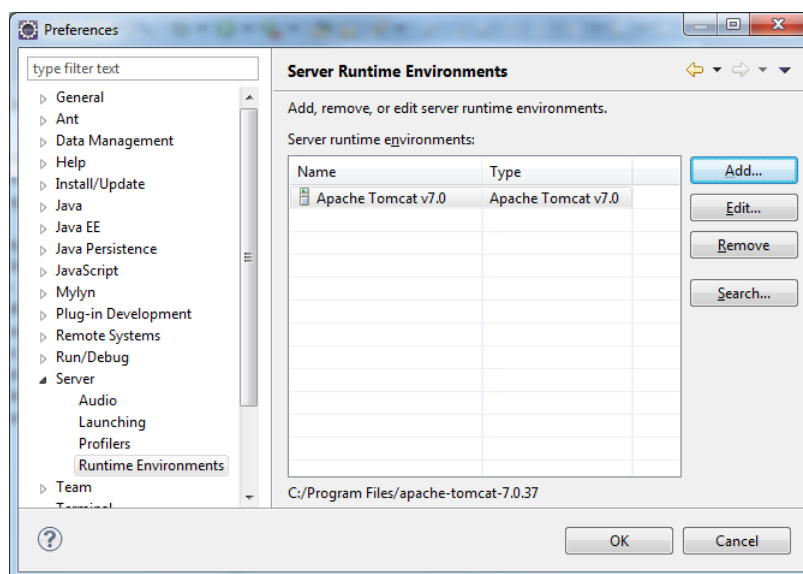


Figura A.9: Configuración del servidor Apache Tomcat en Eclipse.

Configuración del gestor de la base de datos

El gestor de base de datos que se eligió fue MySQL. Este gestor puede ser descargado desde su página oficial o bien desde las direcciones:

`http://dev.mysql.com/downloads/installer/` o
`http://dev.mysql.com/downloads/mirror.php?id=412168`

1. Se inicia la descarga de :

`mysql-installer-community-5.6.10.1.msi`

2. Se ejecuta el archivo descargado. Para la creación de una nueva base de datos nos apoyamos del editor MySQL Workbench.

Se crea la base de datos y sus respectivas tablas usando las herramientas que ofrece el entorno al usuario.

3. Una vez que se ha modelado y creado la base de datos podemos crear el script para ser ejecutado por MySQL, esto se consigue mediante la siguiente ruta:

File → Export → Forward Engineer SQL CREATE Script → SQL Export Options

4. Escribe la ruta en donde se guardará.

Output SQL Script File: `C:\icare-db\icareweb.sql`

5. Dar clic en Siguiente.

Filter Objects → Export MySQL Table Object → Show Filter → Next → Finish.

MySQL Workbench ofrece la opción de un manejador del servidor de base de datos MySQL, para utilizarlo se debe crear un nuevo perfil de instancia en el servidor.

6. Para la creación del perfil se siguen los siguientes pasos:

Server Administration → New Server Instance → Create New Server Instance Profile → Specify Host Machine → Localhost → Database Connection → Next → Password

Apéndice A. Configuración del ambiente de trabajo

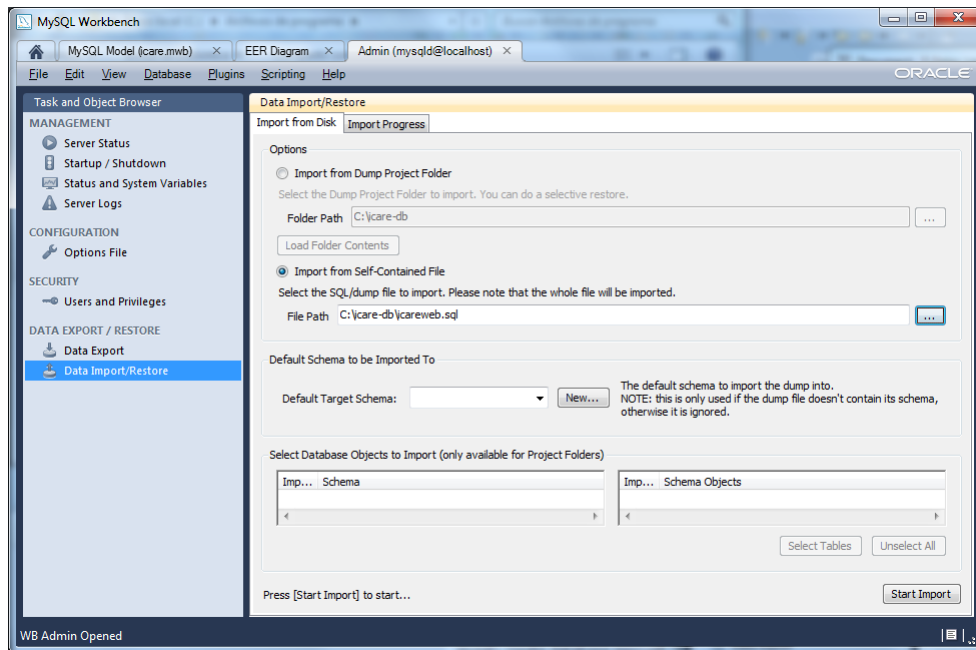


Figura A.10: Importar el script SQL para la generación de la base de datos MySQL.

- Después de crear la instancia correctamente se puede acceder a una pantalla como la que muestra la Figura A.10 en donde se realiza la importación del script generado anteriormente.
- Para verificar que la instalación de la base de datos fue correcta se puede escribir en las siguientes líneas de código:

```
1 c:\Archivo de programa\MySQL\MySQL Server 5.6\bin>mysql -u root -p
2 password: *****
3 mysql>show databases;
```

Código fuente A.1: Verifica la instalación de MySQL

Apéndice B

Diagramas de Casos de uso

La Tabla B.1 describe el caso de uso “*sincronizarPerfil*”, donde se expone la manera de cómo la aplicación obtiene el perfil del usuario y los datos clínicos necesarios para el cálculo del riesgo cardiovascular.

Nombre del caso de uso:	<i>sincronizarPerfil(relación extendida)</i>
Actores participantes	Iniciado por: iniciarAplicacion
Condición inicial	1. El caso de uso sincronizarPerfil extiende al caso de uso iniciarAplicacion cuando iCare no tiene registrado el perfil del usuarioPaciente .
Flujo de eventos	2. iCare inicia la recepción de los datos, enviados por el dispositivoMedico . 3. iCare inicia la escritura de los datos en un archivo temporal.
Condición de salida	4. iCare envía un mensaje al usuario confirmando el estado del monitoreo.
Requerimiento especiales	El mensaje de estado es mostrado al usuario en menos de 10 segundos de haber iniciado la función “Iniciar monitoreo”.

Tabla B.1: Caso de uso extendido: *sincronizarPerfil*

Apéndice B. Diagramas de Casos de uso

La Tabla B.2 describe el flujo de eventos del caso de uso “*configurarPerfil*”. El usuario autorizado puede editar los datos personales que componen su perfil.

Nombre del caso de uso:	<i>configurarPerfil</i>
Actores participantes	Iniciado por: usuarioMedico /usuarioPaciente/usuarioTutor
Condición inicial	1. El caso de uso usuarioMedico/usuarioPaciente/usuarioTutor debe estar autenticado.
Flujo de eventos	2. El usuarioMedico/usuarioPaciente/usuarioTutor, selecciona la función para editar los datos de su perfil. 3. iCareWeb le muestra al usuarioMedico/usuarioPaciente/usuarioTutor un formulario con los campos que puede editar según su perfil. 4. La validación de los datos de cada uno de los campos del formulario se va realizando conforme los datos van siendo ingresados. 5. Si la validación de los campos del formulario es correcta, se habilita la opción para que el formulario sea aceptado. 6. Si la validación de los campos del formulario es incorrecta, el sistema muestra los campos en donde se produjo el error.
Condición de salida	7. iCareWeb envía un mensaje en pantalla al usuarioMedico/usuarioPaciente/usuarioTutor con el estado de la petición.
Requerimiento especiales	La respuesta de iCareWeb a la petición de configuración no debe exceder los cinco segundos, después de haber sido enviado el formulario.

Tabla B.2: Caso de uso: *configurarPerfil*

Apéndice B. Diagramas de Casos de uso

La Tabla B.3 describe el caso de uso “*configurarAplicacion*”, el cual muestra el flujo de eventos para la obtención y edición de los parámetros y umbrales en la aplicación.

Nombre del caso de uso:	<i>configurarAplicacion(relacion extendida)</i>
Actores participantes	Iniciado por: iniciarMonitoreo Se comunica con: iCareWeb
Condición inicial	1. El caso de uso configurarAplicación extiende al caso de uso iniciarMonitoreo, cuando el sistema iCare no tiene establecidos los parámetros que configuran las actividades relacionadas con el monitoreo.
Flujo de eventos	2. iCare envía la petición de conexión con la base de datos mediante el servidor web. 3. El servidor solicita a iCare el usuario y contraseña para acceder a la base de datos. 4. iCare envía el usuario y contraseña al servidor. 5. El servidor valida el usuario y contraseña. 6. El servidor realiza la transacción con la base de datos. 7. el servidor envía de regreso la información solicitada por iCare.
Condición de salida	8. No hay condiciones de salida
Requerimiento especiales	El tiempo de respuesta del servidor no debe exceder los 30 segundos después de haber enviado la petición.

Tabla B.3: Caso de uso: *configurarAplicacion*

Apéndice B. Diagramas de Casos de uso

La Tabla B.4 describe el caso de uso “*analizarDatos*”. Aquí se detalla el flujo de eventos para llevar a cabo el análisis de los datos recolectados.

Nombre del caso de uso:	<i>analizarDatos (relación de inclusión)</i>
Actores participantes	Iniciado por: iniciarMonitoreo
Condición inicial	1. El caso de uso analizarDatos se incluye en el caso de uso iniciarMonitoreo cuando pasa un periodo de tiempo predefinido en la recepción de los datos del dispositivoMedico .
Flujo de eventos	2. iCare presenta un formulario con opciones para el manejo de la recepción de datos. En el formulario se incluyen las opciones para iniciar o parar el monitoreo de la frecuencia cardíaca. 3. Cuando se inicia el monitoreo, iCare de manera automática inicia la escritura de los datos recibidos en un archivo temporal. 4. iCare revisa los parámetros establecidos por el usuarioMedico mediante el formulario de configuración de perfil en donde se determina el lapso de tiempo en el que el sistema debe hacer un análisis. 5. iCare implementa un algoritmo de clasificación que permite determinar los posibles estados normal o anormal. 6. El resultado del análisis puede ser normal o anormal, si es anormal se realiza el caso de uso enviarAlarma.
Condición de salida	7. No hay condiciones de salida
Requerimiento especiales	El algoritmo a implementar da los resultados del análisis en menos de un segundo, después de haber recibido los datos necesarios para su ejecución.

Tabla B.4: Caso de uso: *analizarDatos* para dispositivo móvil

Apéndice C

Especificaciones del dispositivo médico

Dispositivo HxM Zephyr

Características

1. SDK disponible lo que facilita la integración del hardware y protocolos.
2. Monitores simultáneos de frecuencia cardíaca y velocidad en un solo dispositivo.
3. Conectividad con teléfonos móviles vía Bluetooth.
4. Tamaño compacto con dimensiones de 6.5 x 3.2 cm.
5. El peso del dispositivo es de 30 gramos.

Especificaciones

1. Batería es recargable y con una duración aproximada de 26 horas.
2. La versión Bluetooth usada es la 2.0 + EDR.
3. Opera en la frecuencia 2.4 a 2.4835 GHz
4. Su rango de alcance es de hasta 10 metros.
5. Su modo de operación es esclavo.

Apéndice C. Especificaciones del dispositivo médico

6. El rango de frecuencia que entrega es de entre 30 lpm mínimo y 240 lpm máximo.
7. La temperatura máxima bajo la que opera es de 50°C.
8. El perfil Bluetooth que adopta es SPP

Apéndice D

Datos clínicos

Los datos clínicos recolectados del usuario son:

- Nombre
- NSS
- Edad (Y)
- Genero (G)
- Estatura (H)
- Peso (W)
- Presión arterial sistólica (SP)
- Presión arterial diastólica (DP)
- Estilo de vida (LS)
- Diabético (D)
- Fumador (S)
- Colesterol (C)
- Colesterol HDL (HDL)
- Hipertensión (HAS)

Apéndice D. Datos clínicos

- Antecedentes familiares(ANT)
- Nivel de Ejercicio Físico(AF)

Básicamente son extraídos del expediente clínico del usuario. En la Figura D.1 se muestra el expediente clínico de un usuario que padece de hipertensión arterial. La Figura D.2 y la Figura D.3 muestran el expediente clínico de un usuario que padece diabetes.

 INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL SEGURIDAD Y SOLIDARIDAD SOCIAL		NSS : 1581-46-0196 A. MÉDICO : 5M1946PE NOMBRE DEL PACIENTE NARCISO PONCIANO LOPEZ DELEGACIÓN: MORELOS UNIDAD : UMF NO. 20 CVE. PTAL. 180101252110 CONSULTORIO : 7 TURNO: MATUTINO	
DIRECCIÓN DE PRESTACIONES MÉDICAS			
ATENCIÓN INTEGRAL DEL DERECHOHABIENTE CON FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS A HIPERTENSIÓN ARTERIAL			
ANTECEDENTES			
NOMBRE: NARCISO PONCIANO LOPEZ FECHA INICIO: 22/02/2013		Edad: 66 años 5 meses E.CIVIL: SEPARADO Sexo: MASCULINO ESCOLARIDAD: PRIMARIA	
CONFIRMACION DEL DIAGNÓSTICO: CUADRO CLINICO POR: OBESIDAD		DIAGNÓSTICO: Insuficiencia renal Hipertension arterial	
PADECIMIENTOS: Obesidad abdominal, Sobrepeso, Insuficiencia renal, has 2011		COMPLEMENTO DE Dx: SEC A HIPERTENSION ARTERIAL	
FACTORES: estres, Carga genética positiva (padres, abuelos), Sobrepeso, Hipertrigliceridemia, Obesidad abdominal, Hábitos inadecuados de alimentación			
EXPLORACIÓN FÍSICA Peso: 85.0 Kg. Talla: 1.61 m. Tensión Arterial: 120/70 mmhg.			
SOMATOMETRÍA			
EGO-PH: 6.0 DENSIDAD: 1015.0 O.HALLAZGOS: LEUCOCITOS: 2-4 XC, BACT X. COLESTEROL: 185.0		UROCULTIVO: 0.0 UREA: 95.0 RAYOS X: CREATININA: 2.6	
		GLUCEMIA: 89.0 A. ÚRICO: 6.9 FONDO OJO:	
SÍNTOMAS: NARCISO DE 65 AÑOS ACUDE A CONTROL HAS DE 2 AÑOS E IRC DE UN AÑO DE EVOLUCION EN CONTROL POR NEFROLOGIA, TOMA LOSARTAN 1X2, AMLODIPINO 1X1, METOPROLOL .5X2, FUROSEMIDA .5X1, ALOPURINOL 1X1, ASA SOL .5X1, COMPLEJO B 1X1 Y ACIDO FOLICO 1X1. SE REFIERE ESTABLE, NIEGA SÍNTOMAS DE VASOESPASMO, ACTUALMENTE . LABORATORIO DEL 19/10/2012 REPORTA HB 14, HCTO 43, LEUCOS 8900. GLUCOSA 89, UREA 95, CREATININA 2.6, ACIDO URICO 6.9, COLESTEROL 185, TRIGLICERIDOS 244, EGO NORMAL.			
EXPLORACIÓN FÍSICA: BUEN ESTADO GENERAL, OBESO, CARDIOPULMONAR SIN COMPROMISO, ABDOMEN NORMAL, NO EDEMA DE MS IS.			
INDICACIONES DIETÉTICAS: DIETA HIPOSODICA, EJERCICIO ISOEMTRICO, CITA EN UN MES.			
NOMBRE Y FIRMA DEL MÉDICO JOSE PONCIANO LOPEZ REYES		MATRÍCULA 5144191	

Figura D.1: Expediente clínico de un usuario con hipertensión arterial.

Apéndice D. Datos clínicos



INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
SEGURIDAD Y SOLIDARIDAD SOCIAL

DIRECCIÓN DE PRESTACIONES MÉDICAS

**ATENCIÓN INTEGRAL DEL
DERECHOHABIENTE CON FACTORES DE
RIESGO ASOCIADOS A DIABETES
MELLITUS E HIPERTENSIÓN ARTERIAL**

NSS : 1588-69-2894 A. MÉDICO : 4M19430R

NOMBRE DEL PACIENTE
AMADOR OCHOA GARCIA

DELEGACIÓN: MORELOS

UNIDAD : UMF NO. 20 CVE. PTAL. 180101252110

CONSULTORIO : 14 TURNO : VESPERTINO

ANTECEDENTES		
DATOS GENERALES		
Fecha: Jueves, 20 de Diciembre del 2012	Edad: 69 años 9 meses	Sexo: MASCULINO
PADECIMIENTOS ASOCIADOS dm 2 desde 1999, HAS DX 2006, GASTRITIS EROSIVA,	ORIGEN DEL DIAGNÓSTICO EDAD EN AÑOS DEL DIAGNÓSTICO VALORES DE GLUCEMIA AL DX AÑO EN QUE SE DIAGNOSTICO TIEMPO DE EVOLUCIÓN(AÑOS)	Detección 45 a 64 200 1999 igual o mayor a 10
FACTORES DE RIESGO Sobrepeso, Estrés, Hábitos inadecuados de alimentación,		
DIAGNÓSTICO		
CATEGORÍA	CRITERIO	MES Y AÑO DE CONFIRMACIÓN
Diabetes Mellitus 2	Hemoglobina glucosilada mayor a 7%. Glucosa en ayunas en más de 2 ocasiones mayor a 126 mgs/dl. Intolerancia a la glucosa a las 2 horas, mayor a 140 pero no mayor a 200 mgs/dl.	Se Ignora 1999
MONITOREO DE ATENCIÓN INTEGRAL		
EXPLORACIÓN FÍSICA		
Peso: 83.0 kgs	Talla: 1.66 m	Tensión Arterial: 110/60 mmHg
Exploración de Pie		
	Pie Derecho	Pie Izquierdo
TRATAMIENTO		
NO FARMACOLÓGICO		
Plan Alimentario:	No Favorable	Actividad Física: Nivel 1
Actividad Educativa:	Inicio	Grupo de Autoayuda: Regular

Figura D.2: Expediente clínico de un usuario con diabetes

Apéndice D. Datos clínicos

FARMACOLÓGICO		
TOMAR	CADA	DURANTE
RECETA INDIVIDUAL. Hipromelosa al 0.5% (metilcelulosa). solucion oftálmica. cada ml contiene: hipromelosa 5 mg. gotero integral con 15 ml. 1 Gota (s)	12 Hora (s)	30 Día(s)
RECETA INDIVIDUAL. Glibenclamida tabletas. cada tableta contiene: glibenclamida 5 mg. 1 Tableta (s)	12 Hora (s)	30 Día(s)
RECETA INDIVIDUAL. Acido folico. tabletas ranuradas. cada tableta ranurada contiene: acido folico 5 mg. 1 Tableta (s)	24 Hora (s)	30 Día(s)
RECETA INDIVIDUAL. Complejo b. tabletas. cada tableta contiene: mononitrato o clorhidrato de tiampina 100 mg. clorhidrato de piridoxina 5 mg. cianocobalamina 50 microgramos. 1 Tableta (s)	24 Hora (s)	30 Día(s)
RECETA INDIVIDUAL. Fumarato ferroso. tabletas cada tableta contiene: fumarato ferroso 200 mg equivalente a 65.74 mg de hierro elemental. 1 Tableta (s)	24 Hora (s)	30 Día(s)
RECETA INDIVIDUAL. Miconazol, crema, 20 miligramos / gramo, tubo con 20 gramos. 1 Aplicación (es) tópica (s)	24 Hora (s)	30 Día(s)
RECETA INDIVIDUAL. Sucralfato, tabletas con 1 gramo. 1 Tableta (s)	12 Hora (s)	30 Día(s)
RECETA INDIVIDUAL. Metoprolol. tabletas cada tableta contiene: tartrato de metoprolol 100 mg. 1 Tableta (s)	24 Hora (s)	30 Día(s)
PADECIMIENTO ACTUAL O MOTIVO DE LA CONSULTA		
6TA SESION. PAC MASCULINO CON DM2 NO INSULINORREQUIRIENTE. DX OFTALMOLOGICO PENDIENTE. DAÑO RENAL CON FG ALTA. CON NEUROPATIA. SIN PERDIDA PONDERAL SIGNIFICATIVA HASTA EL MOMENTO. FALTA DE ADHERENCIA AL PLAN DE ALIMENTACION Y EJERCICIO. NIEGA POLIS. SOLO RINORREA Y ODINOFAGIA YA ESTA CON TX ANTIBIOTICO. A LA EF CONCIENTE. ORIENTADO. ADECUADA COLORACION E HIDRATACION DE TEGUMENTOS, FC 70/MIN, FR 17/MIN, CARDIORRESPIRATORIO SIN COMPROMISO EN ESTE MOMENTO, ABDOMEN ASIGNOLOGICO, PIES SIN LESIONES. LABS DEL DIA 17/12/12. CREAT 1.0. VALORACION OFTALMOLOGICA PENDIENTE. MISMO TX. YA FUE VALORADO POR DERMA REALIZANDO EXERESIS DE NEVO. CITA ABIERTA A URGENCIAS PRN.		
DIAGNÓSTICO CLÍNICO		
Diagnóstico: Diabetes mellitus no insulino dependiente sin complicaciones Gastritis	Complemento de Dx:	
PARAMETROS DE CONTROL		
Parámetro	Valor	Valor Optimo
Glucosa plasmática en Ayunas o Antes de las Comidas:	152.0 Mg/dl	80 - 110 Mg/dl
Glucosa Plasmática o CapilarPostprandial(1 hora):	0.0 Mg/dl	80 - 140 Mg/dl
Hemoglobina Glucosilada(Hba 1c):	6.4 %	Menor 7%
Colesterol Total:	147.0 Mg/dl	Menor o igual a 180 Mg/dl
Triglicéridos en Ayuno:	76.0 Mg/dl	Menor o igual a 150 Mg/dl
Indice de Masa Corporal:	30.12 kg/m^2	Menor o igual a 25 kg/m^2
NOMBRE Y FIRMA DEL MÉDICO		MATRÍCULA
MA GUADALUPE DIAZ GARCIA		99182954

Figura D.3: Expediente clínico de un usuario con diabetes (continuación)

Datos clínicos obtenidos

N	Nombre	NSS	Y	G	S	LS	D	C	HDL	H	W	HAS	SIS	DIS	ANT	AF
01	Gloria	1575-55-0437	58	F	No	Sedentario	Si(117)	193	173	1.54	104	Si	100	60	-	I
02	Eleazar	1597-77-1357	63	M	No	Normal	Si(216)	254	195	1.74	91	Si	110	80	-	I
03	Cecilia	1507-70-0221	42	F	No	Normal	Si(185)	282	-	1.48	63	Si	120	60	-	I
04	J. Bulmaro	1587-71-0713	73	M	Si	Normal	Si(70)	-	-	1.57	61	Si	130	80	-	I
05	Patricia	0159-35-3565	52	F	No	Activa	No	-	-	1.51	63	No	130	83	-	-
06	Catalina	0173-57-3815	55	F	No	Normal	No	-	-	1.53	67	Si	130	85	Si	-
07	Lourdes	1590-60-0875	53	F	No	Sedentario	Si	-	-	1.61	76	Si	100	60	Si	I
08	Agustina	1592-76-1720	59	F	No	Sedentario	Si(84)	183	-	1.48	58	Si	100	60	-	I
09	Tomasa	1505-82-1282	64	F	No	Sedentario	Si(117)	-	-	1.46	59	Si	120	60	-	I
10	Amador	1588-69-2894	69	M	No	Sedentario	Si(152)	147	76	1.66	83	Si	110	60	-	I
11	Rosa	4281-61-5075	52	F	No	Sedentario	Si(175)	-	-	1.47	45	Si	140	80	-	I
12	Rosalinda	3098-78-2575	34	F	No	Sedentario	Si(102)	195	-	1.54	73	Si	120	80	-	I
13	Guadalupe	1085-67-1435	43	F	No	Sedentario	No	175	-	1.56	57	Si	130	80	-	-
14	Guadalupe	1506-83-1118	58	F	No	Sedentario	No	-	-	1.53	75.5	Si	120	70	-	-
15	Angel	1167-49-3696	63	M	No	Normal	No	-	-	1.67	89.9	No	100	70	-	-
16	Martha	1569-51-1121	62	F	Si	Sedentario	Si(142)	281	-	1.47	54	Si	120	60	-	I
16	Beatriz	1179-57-1992	53	F	No	Sedentario	No	-	-	1.57	64.5	Si	110	70	-	I
17	Roberta	1578-52-0033	50	F	No	Sedentario	Si(98)	200	-	1.56	70.5	Si	100	60	-	I
18	Francisco	1577-52-0292	60	M	No	Sedentario	Si(115)	-	-	1.52	74	Si	130	80	-	I
19	Alejandro	1574-55-1079	57	M	No	Normal	Si(105)	-	-	1.68	84.5	Si	140	90	-	I
20	Praxedis	1558-33-1010	68	F	No	Sedentario	Si(164)	-	-	1.55	66	Si	110	60	-	I
21	Narciso	1581-46-0196	66	M	No	Activo	No	185	-	1.61	85	Si	120	70	-	I

Tabla D.1: Datos clínicos

Documento de consentimiento informado

La Figura D.4 muestra el documento de consentimiento informado que fue entregado a los usuarios antes de iniciar con el muestreo de su frecuencia cardíaca.

Consentimiento informado

Noviembre 2012, Instituto Mexicano del Seguro Social, Unidad de Medicina Familiar No.20, Cuernavaca, Morelos.

Se le invita a participar en un estudio de investigación médica, titulado "iCare sistema ubicuo de monitoreo y cuidado personal". Siéntase con absoluta libertad para preguntar sobre cualquier aspecto de esta investigación de la cual se le entregará una copia firmada y fechada, de su consentimiento de aceptación.

- Justificación del estudio:** En México las enfermedades cardiovasculares ocupan el segundo lugar en las causas de mortalidad en adultos, además de que en México existen un déficit en los servicios de salud en todas sus escalas, siendo las zonas rurales las más afectadas.
- Objetivo del estudio:** Recopilar información sobre los factores de riesgo para enfermedades cardiovasculares. Recopilar grabaciones sobre la frecuencia cardíaca y correlacionar las variables anteriores con ésta.
- Beneficios del estudio:** Reducir las desventajas del monitoreo tradicional frente a un monitoreo de la salud del paciente continuo o intermitente: como las detecciones de eventos anormales en el paciente pero que son de profunda importancia diagnóstica, capturar la respuesta fisiológica durante periodos de actividad.
- Procedimiento del estudio**
 - El paciente se coloca un sensor de frecuencia cardíaca a la altura del pecho haciendo éste contacto con la piel.
 - Se le proporciona al paciente un dispositivo móvil inteligente como parte del equipo que monitoreará sus signos vitales por un periodo no mayor a 30 minutos.
 - Se le pedirá al paciente que durante ese periodo realice actividades como; caminar, sentarse, pararse.
 - Una vez transcurrido el tiempo estimado se le solicitará el equipo prestado.
- Riesgos asociados al estudio:** No existe ningún tipo de riesgo al participar en la investigación.
- Aclaraciones**
 - Su decisión de participar en el estudio es completamente voluntaria,
 - No hay consecuencias adversas en caso de decidir no participar,
 - La información para identificarle como paciente, será mantenida en estricta confidencialidad por el investigador,
 - No recibirá pago por su participación.
- Carta de consentimiento informado**

Yo, _____ he leído y comprendo la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos. Estoy de acuerdo en participar en este estudio de investigación.

Firma y fecha

Investigador Principal
Dr. Guzmán-Lugo José Giovanni

Investigador Adjunto
Vianney Tambohero Xixilla.

Figura D.4: Documento de consentimiento informado para la extracción de datos clínicos y toma de muestras.