

# Sistema integrador de dispositivos de la salud con conexión BLE para envío de alarmas

Martín Destefano, Leandro Luque, José Luis Vázquez Noguera, and Cynthia Villalba

Universidad Nacional de Asunción, Facultad Politécnica  
San Lorenzo, Paraguay

{destefanopy, lealuque09}@gmail.com  
{jlvazquez, cvillalba}@pol.una.py

**Resumen** Actualmente los sistemas de monitoreo de la salud no tienen centralizada la información entregada por dispositivos que miden parámetros fisiológicos, a su vez no existe una manera fácil de integrar nuevos dispositivos al sistema, acarreado esto un alto costo de desarrollo.

Este trabajo plantea desarrollar un sistema, utilizando el protocolo BLE (Bluetooth Low Energy) y el estándar HDP (Health Device Profile) para solucionar el problema de integración de dispositivos, pudiendo aprovechar los datos en conjunto obtenidos de las mediciones. Las mediciones serán monitoreadas, y en caso de presentar riesgo el paciente, una alarma será enviada a personales de la salud o familiares.

Las pruebas muestran la efectividad del sistema, pudiéndose integrar los datos de varios dispositivos de medición y del envío de alarmas cuando el usuario se encuentre en una situación considerada de riesgo.

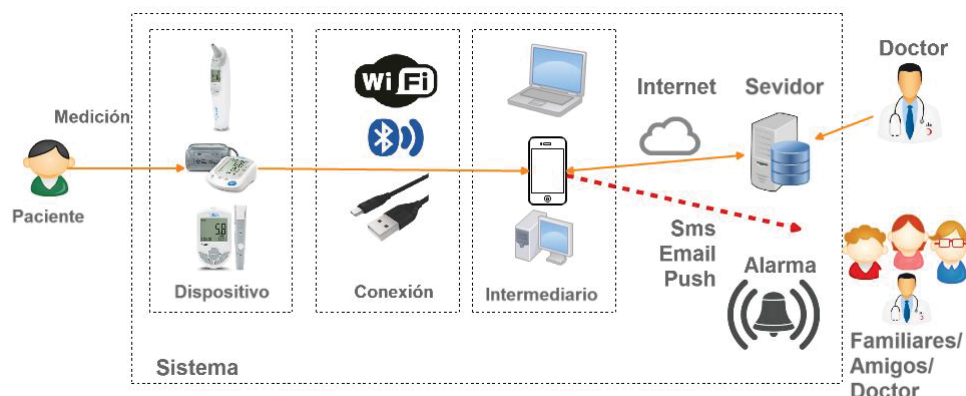
**Keywords:** monitoreo; sistemas; riesgo; alarma; BLE; salud; integración; dispositivos; medición

## 1. Introducción

La salud se pone en riesgo a consecuencia del carácter asintomático de afecciones tales como la presión arterial alta, la diabetes u otras con menos peligros para la salud. Estas afecciones pueden presentar consecuencias a futuro si no se los trata a tiempo [2].

Los controles y el monitoreo generalmente se realizan cuando el paciente tiene una consulta con el doctor [10]. La complicación ocurre cuando el paciente presenta una situación peligrosa para la salud. Esta circunstancia requiere actuar de manera rápida y precisa con el objetivo de determinar el procedimiento a seguir [3].

La gran cantidad de dispositivos que existen poseen protocolos propios diseñados por el fabricante, tales como tensiómetros [8], glucómetros [9], entre otros. Esta situación representa una dificultad en el campo de la medicina a nivel tecnológico tales como [1]: 1) problema en integrar los dispositivos a un



**Figura 1.** Componentes del sistema integrador de dispositivos de la salud

único sistema, debido a que algunos utilizan diferentes medios de conexión, 2) la información se encuentra aislada por falta de utilización de un estándar de intercambio de datos, no pudiendo aprovechar en conjunto con los datos de otras mediciones, 3) tiempo elevado de programación que se requiere para integrar dispositivos que utilizan diferentes tipos de medios de conexión y protocolos de traspaso de información.

Otra dificultad ocurre en el momento de las mediciones con estos dispositivos y afectan tanto a los profesionales de la salud como a los pacientes. La movilización al centro de salud por parte del paciente para la consulta médica resulta un problema de tiempo. La posible saturación de pacientes en el centro de salud y el tiempo de respuesta son factores que dificultan una atención eficiente [5].

El objetivo general de la investigación es desarrollar un sistema donde dispositivos de medición puedan ser integrados a un único sistema. Los dispositivos deberán soportar el protocolo Bluetooth Low Energy y seguir un estándar específico de traspaso de información, Health Device Profile. El doctor podrá configurar en el sistema reglas asociadas a los parámetros fisiológicos estables de salud. El personal de salud, familiares o amigos podrían ser advertidos en caso de que alguna regla disparada represente algún peligro para el paciente.

El documento está organizado como sigue: en la sección 2 se presentan conceptos claves que harán posible comprender la propuesta de solución. En la sección 3 se plantea una arquitectura y la implementación de este para la solución del problema. En la sección 4 se mostrarán los resultados de la evaluación del sistema. Al final, en la sección 6, se dará una conclusión al trabajo realizado.

## 2. Marco Conceptual

En esta sección se van a conceptualizar términos claves para comprender la propuesta de solución al problema planteado.

## 2.1. Componentes del sistema

Los componentes citados a continuación son de sistema similares que existen en el estado del arte, una representación de como se relacionan se puede ver en la Figura 1.

- **Dispositivos Medidores:** Los dispositivos móviles de salud son capaces de extraer los datos relacionados con la salud del paciente (tensiómetro, glucómetro, etc.) [11] [8] [9]. Estos dispositivos pueden asociarse con teléfonos móviles, notebooks o dispositivos. Las aplicaciones que ayudan a la conexión con el dispositivo son facilitadores de vigilancia.
- **Medio de Conexión:** Nexa por el cual los datos medidos por el dispositivo son enviados a un aparato intermediario con el propósito de ser procesados [11] [12].
- **Intermediarios:** Los gateways o intermediarios son los dispositivos cuya función es la de proporcionar conectividad a los hosts individuales a la red [12] [13]. Además, garantiza que los datos fluyan correctamente.
- **Servidor:** Es un ordenador especialmente diseñado con arquitectura de alto rendimiento, el cuál se encarga de proveer diferentes servicios a las redes de datos [15]. Algunos servicios tales como administración de bases de datos o poseer repositorios de archivos.
- **Alarma** La alarma es el componente clave para los sistemas de emergencias debido a que es la encargada de transmitir una señal. La misma informa a los doctores y/o familiares de la presencia real o inminente de una amenaza en la salud del paciente [16].

## 2.2. Perfil del dispositivo de salud - HDP

Las implementaciones en general se han basado en Bluetooth Serial Port Profile (SPP) y protocolos específicos del fabricante. Por lo tanto, diferentes implementaciones han tenido un bajo nivel de interoperabilidad entre sí. Esta es la razón por la cual el Special Interest Group (SIG) de Bluetooth formó el Medical Device Working Group. El mismo estableció un objetivo para desarrollar un perfil que introdujera la interoperabilidad entre diferentes sensores médicos y dispositivos de recolección de diferentes fabricantes. El trabajo dio como resultado el Multi-channel Adaptation Protocol (MCAP) y el Bluetooth Health Device Profile (HDP).

El perfil HDP proporciona sincronización de reloj opcional entre los dispositivos y la identificación del tipo de dispositivo.

**Source:** Actúa como fuente de los datos médicos.

**Sink:** Recibe los datos médicos a partir de fuentes individuales o múltiples

HDP está especializado en aplicaciones de salud y, por lo tanto, tiene las siguientes ventajas sobre otros perfiles más genéricos:

- Proporciona una fuerte interoperabilidad a nivel de aplicación al operar con el Protocolo de intercambio de datos de salud personal ISO/IEEE 11073-20601
- Las disposiciones para un método estandarizado mediante el cual el tipo de dispositivo y los tipos de datos de aplicación admitidos de un dispositivo se pueden determinar de forma inalámbrica, utilizando el Bluetooth Service Discovery Protocol (SDP).
- Orientado a la conexión para garantizar un comportamiento más confiable cuando el Source se mueve fuera del alcance o se desconecta (involuntariamente o involuntariamente), lo que permite que el dispositivo reconozca el estado y tome las medidas apropiadas.

### 3. Arquitectura Propuesta

La propuesta consiste en diseñar e implementar un sistema con una arquitectura capaz de dar solución al problema previamente descrito.

#### 3.1. Diseño

La vista general de la arquitectura propuesta se puede observar en la Figura 2, donde se muestran grupos importantes de personas. El primero es el paciente, que mediante distintos dispositivos puede monitorear ciertos parámetros fisiológicos o signos vitales tales como la temperatura, pulso, nivel de glucosa, presión arterial, etc.

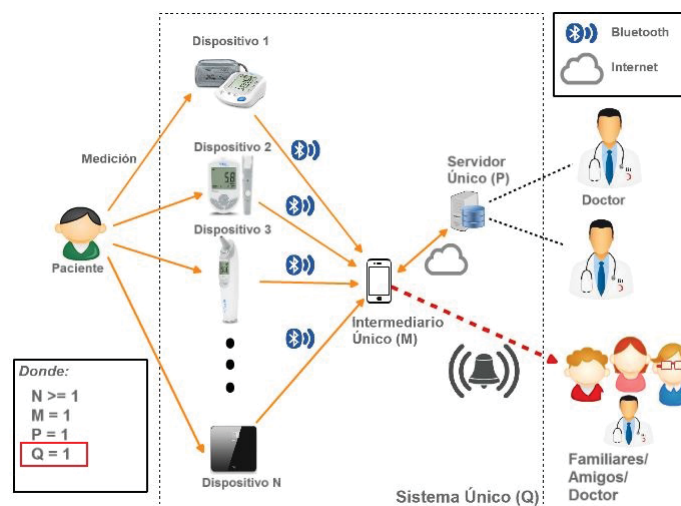


Figura 2. Arquitectura propuesta

Los dispositivos se conectaran a un intermediario cuya función principal será la de leer los datos de los dispositivos y recolectarlos para mantener un registro centralizados de las mediciones captadas. El segundo grupo corresponde a los médicos cabecera que deberán analizar los datos recolectados, y según estos establecer reglas de monitoreo. Las reglas serán analizadas desde el intermediario. El último grupo corresponde a los familiares, a quienes se les notificará, mediante SMS, que el paciente está pasando cierto umbral configurado por el médico.

A continuación se explica más detalladamente cada entorno de la arquitectura:

- **Entorno paciente:** corresponde a los dispositivos propicios para las mediciones de cada caso. Estos estarán configurados para lograr la comunicación entre el dispositivo de medición y el intermediario. El paciente al realizar una medición desde su dispositivo, y los datos no se encuentre dentro de los parámetros estables de salud, por lo cual se constituya en una situación riesgosa, el intermediario la captará y actuará en consecuencia.
- **Entorno servidor:** en este entorno se centralizará la información proveniente de cada escenario de monitorización almacenando la información asociada en base de datos [4]. Éstos serán enviados por el paciente, transmitidos por medio del intermediario, que se comunicarán, a través de internet con un servidor remoto que gestionará los diferentes intermediarios [6].
- **Entorno alarma:** se lanzará una alerta para las personas cercanas al paciente que en esos momentos se encuentra con niveles de salud diferentes a los establecidos en las reglas. Una vez detectado el peligro de salud por medio de los dispositivos, enviado el mensaje, esto generará una alerta también a los especialistas de la salud, para que tomen nota y sepan cuándo el paciente presenta signos anormales en sus controles de salud.
- **Entorno doctor:** una interfaz adecuada se desarrollará para que cada usuario y cada profesional médico puedan disponer de los elementos necesarios para trabajar. Este contará con una interfaz web en la cual el doctor podrá realizar la modificación y actualización de las reglas para cada paciente, que según su criterio, le parecen adecuados para evitar una situación de emergencia [4].
- **Entorno administrador:** este entorno contará una la interfaz web para el mantenimiento del sistema y se podrán realizar las gestiones de usuarios. Cuando un nuevo dispositivo deba ser usado para el control del paciente, como por ejemplo un termómetro, puede ser incluido dentro del sistema. En otras palabras, cada dispositivo de medición que soporte el protocolo BLE y el estandar HDP puede ser registrado al sistema. En la Figura 3 se observa un ejemplo de la configuración de un nuevo dispositivo al sistema.

### 3.2. Implementación de la arquitectura

En la Figura 4 se muestran todos los componentes implementados para dar soporte a la arquitectura planteada.

Datos Dispositivo			
Nombre	Codigo Data Type	Tipo de Atributo	
Blood Pressure	1007	a75	

Parametros Asociados			
Orden	Descripcion	Unidad de Medida	Eliminar
1	systolic	mmHg	
2	diastolic	mmHg	

Agregar Parámetro Guardar

Lista de Dispositivos

COD	Nombres	Tipo Atributo	Parametros	Opciones
100F	Body Weight Scale	a75	peso	
1004	Pulse Oximeter	a75	porcentaje oxigeno, frecuencia pulso	

Figura 3. Configuración de un nuevo dispositivo.

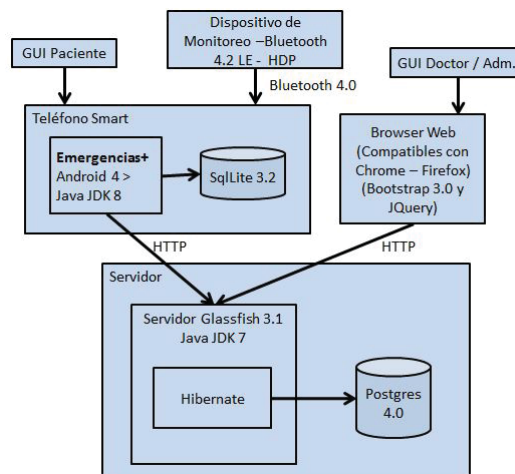


Figura 4. Diagrama de Componentes

A continuación se hace una breve descripción de los componentes del diagrama:

- **Servidor:** se implementó una aplicación Java, que disponibiliza una Api Rest con todos los servicios necesarios para la aplicación móvil y las interfaces web para los doctores y usuarios administradores.
- **Teléfono Smart (intermediario):** está compuesta de una aplicación móvil. Este posee una interfaz de Login para el ingreso a las demás opciones de la aplicación, se puede visualizar el historial de mediciones realizadas. Se posee un módulo de lectura de mediciones, donde se debe seleccionar la afección que se posee y luego establecer una conexión Bluetooth entre el intermedia-

rio y el dispositivo para capturar las mediciones. Las mediciones obtenidas del módulo anterior, pasan al módulo de reglas, donde se compara con las reglas obtenidas de la base de datos del teléfono smart, esta comparación se realiza con JEXL (Java Expression Language) [17] que es una librería que facilita las comparaciones de expresiones lógicas. En el punto que los datos recolectados por la medición del paciente es analizada por el módulo de reglas, y de ser necesario pasa al módulo SMS. Existe una módulo que permite configurar las personas a quienes les llegará el mensaje de alarma.

- **GUI Doctor/Administrador:** se disponibiliza una interfaz web para la gestión de reglas por parte del doctor para cada paciente, un ejemplo de esto es posible ver en la Figura 5. El doctor tiene la posibilidad de ver el historial de mediciones de cada paciente. El Administrador posee una interfaz web donde se encarga de la gestión de los doctores, pacientes y nuevos dispositivos que se ingresan al sistema Figura 3.

Regla Generada  
(diastolica > 180 AND sistolica > 100 AND peso > 120 AND (diastolica < 70 OR sistolica < 60 OR peso > 120))

AND • Agregar Condición • Agregar Grupo • Remover Grupo

diastolica > 180

sistolica > 100

peso > 120

OR • Agregar Condición • Agregar Grupo • Remover Grupo

diastolica < 70

sistolica < 60

peso > 120

Agregar

Figura 5. Ejemplo de configuración de una regla

#### 4. Evaluación y resultados

El objetivo principal es comprobar que la arquitectura propuesta es capaz de satisfacer las necesidades que competen a diferentes situaciones de emergencia, donde para este caso de estudio serán relacionadas a la presión arterial y a la glucosa en la sangre.

Las pruebas de campo se realizó en un entorno real, con pacientes que se encuentran en su hogar y pacientes del hospital Materno Infantil de San Lorenzo con un tensiómetro. Además se emuló otros dispositivos de medición con un smartphone que envía los mismo datos que envía un dispositivo con HDP, y este, simulara un termómetro, glucómetro, etc.

#### 4.1. Evaluación de componentes

A continuación se citan las evaluaciones de los componentes que comprobarán el funcionamiento del sistema.

- Verificar la recepción correcta de los datos del dispositivo de medición al intermediario.
- Verificar la recepción/envío correctos de los datos del intermediario al servidor.
- Verificar la recepción/envío correctos de los datos enviados por el módulo de alarma.
- Verificar y evaluar el correcto funcionamiento de las reglas en un entorno simulado y uno real con la supervisión de un profesional de la salud.

#### 4.2. Resultados

Los resultados se plasman en las siguientes tablas 1, 2 y 3, donde se valida si el caso de uso funciona o no como se espera. Las evaluaciones se realizan sobre tres grupos usuarios del sistema: doctores, administradores y pacientes.

**Cuadro 1.** Casos de uso del Doctor

Casos de Uso	Datos entrada	Resultado	Resultado Esperado	Tiempo transcurrido	Aprobado
Ingreso al sistema	Usuario y Contraseña	Ingreso al sistema	Ingreso al sistema	5 segundos	SI
Creación de reglas	Se configuró un regla que compara el parámetro sistólico y diastólico con valores que se consideran peligrosos para la salud del paciente	Se sobrepaso intencionalmente estos valores configurados y se activo la regla	Se activo la alarma	1 minuto	SI
Ver el historial de mediciones del Paciente	Se selecciona un paciente	Se pudo observar las nuevas mediciones tomadas en el caso de uso anterior	Se lista las nuevas mediciones	2 segundos	SI
Comparar parámetros fisiológicos en el tiempo	Se selecciona un paciente, uno o más parámetros fisiológicos que se desea comparar su variación en el tiempo y el rango de fecha que se desea utilizar para el filtro	Se ve la variación en el tiempo de los parámetros fisiológicos seleccionados		5 segundos	SI

## 5. Conclusiones

Se ha diseñado una arquitectura que hace posible que los pacientes puedan tener centralizada las mediciones entregadas por dispositivos que miden parámetros fisiológicos. Para solucionar el problema de integración se optó que los dispositivos se comuniquen mediante bluetooth con los intermediarios y se utilizó el estándar HDP para poder leer las mediciones.

**Cuadro 2.** Casos de uso de paciente

Casos de Uso	Datos entrada	Resultado	Resultado Esperado	Tiempo transcurrido	Revisado-Aprobado
Ingreso al sistema	Usuario y Contraseña	Ingreso al sistema	Ingreso al sistema	5 seg	SI
Agregar contacto de emergencia	Se agrega un Contacto o se selecciona de la lista de Contactos	Contacto agregado	Contacto agregado	15 seg	SI
Eliminar contacto de emergencia	Contacto existente	Contacto eliminado	Contacto eliminado	15 seg	SI
Escenario real: Medición de la presión arterial con tensiómetro	Datos de la presión sistólica y diastólica enviados por el Tensiómetro	Datos obtenidos y evaluados adecuadamente	Datos obtenidos y evaluados adecuadamente	30 seg	SI
Escenario simulado: Medición de la glucosa en la sangre	Datos de la cantidad de glucosa enviado por el Glucómetro	Datos obtenidos y evaluados adecuadamente	Datos obtenidos y evaluados adecuadamente	120 seg	SI
Ver el historial de mediciones	Mediciones nuevas	Se visualizan las últimas mediciones	Se visualizan las últimas mediciones	2 seg	SI

**Cuadro 3.** Casos de uso del Administrador

Casos de Uso	Datos entrada	Resultado	Resultado esperado	Tiempo transcurrido	Aprobado
Ingreso al sistema	Usuario y Contraseña	Ingreso al sistema	Ingreso al sistema	5 segundos	SI
Creación de pacientes	Se completó todo los datos solicitados en el formulario	Se ve en la base de datos que existe el nuevo paciente		1 minuto	SI
Eliminación de pacientes	Se selecciona el paciente a eliminar	Se elimina el paciente de la base de datos		5 segundos	SI
Modificación de los datos del pacientes	Se modifican algunos datos del paciente	Se verifica en la base de datos que los datos fueron actualizados		5 segundos	SI
Creación de doctores	Se completó todo los datos solicitados en el formulario	Se ve en la base de datos que existe el nuevo doctor		1 minuto	SI
Eliminación de doctores	Se selecciona el doctor a eliminar	Se elimina el doctor de la base de datos		5 segundos	SI
Modificación de los datos del doctores	Se modifican algunos datos del doctor	Se verifica en la base de datos que los datos fueron actualizados		5 segundos	SI
Asociación de pacientes a un doctor	Se asocia varios pacientes a un doctor	Se verifica en la base de datos que la relación se haya realizado	Se ve en la web los pacientes asociados al doctor		SI
Eliminar asociación entre paciente y doctor	Se selecciona y elimina un paciente asociado a un doctor	Se verifica en la base de datos que la relación se haya eliminado	Se ve en la web que ya no existe el paciente asociado al doctor	5 segundos	SI
Agregar nuevos dispositivos	Se completó todo los datos solicitados en el formulario	Se verifica en la base de datos que se haya insertado el nuevo dispositivo	Se ve en la web el nuevo dispositivo listado	45 segundos	SI
Asociar los parámetros fisiológicos al dispositivo	Se asociaron parámetros fisiológicos al tensiómetro	Se verifica en la base de datos que se haya realizado la asociación	Se ve en la web los parámetros fisiológicos asociados al dispositivo	30 segundos	SI

Se ha implementado un sistema para gestionar la integración de nuevos dispositivos de medición, para la gestión de pacientes y doctores, dotándoles de opciones muy útiles. El sistema implementado permite que el doctor pueda gestionar reglas para cada paciente y así se pueda monitorear el estado de salud, y en caso de que haya alguna parámetro fuera de lo normal avisar al centro médico y familiares.

Se ha testeado cada caso de uso citado, obteniendo muy buenos resultados. Entre los objetivos más importantes cumplidos se pueden citar, agregar nuevos dispositivos de medición, configurar reglas sobres estos y lanzar alarmas.

Con este trabajo se pretende alentar el uso de este tipo de sistemas, colaborando a la prevención de situaciones de riesgo en pacientes con afecciones diversas.

## Referencias

1. Organización Panamericana de la Salud. “*La hipertensión arterial como problema de salud comunitario*”. En: (1990).
2. American Heart Association. “*Health Threats From High Blood Pressure*”. En: (2018).
3. Dr Nicolás Stavile, Dr Raúl F. Echeverría . “*Hipertensión arterial severa en salas de guardia (Crisis Hipertensivas)*”. En: (2007), Págs. 5-7.
4. Jad Noueihed, Robert Diemer, Samarjit Chakraborty, Stefanie Biala. Institute for Real-Time Computer Systems, TU, Munich . “*Comparing Bluetooth HDP and SSP for Mobile Health Devices*”. En: (2008).
5. Instituto de Bioética Facultad de Medicina Universidad de Buenos Aires. “*Impacto de la tecnología en la práctica de la medicina*”. (2013), Págs. 38-40.
6. Fareed ud din, Atta-ur-Rehman Shah, Muhammad Ibrahim. Superior University, Lahore, Pakistan. “*Mobile-Phone-Based Remote Patient’s Vital Signs Monitoring and Automated Alerts*”. En: (2013).
7. Elkstein M, ”Learn REST: A Tutorial”. blogger.com. Retrieved 16 April 2015.
8. Ben-Jeng Wang, Tzu-An Chiang, Fu-Chiang, Yung-Chieh Chien. “*Applying RFID Technology to develop a distant medical care service platform*”. En: (2010).
9. Giordano Lanzola, Davide Capozzi, Giuseppe D’Annunzio, Pietro Ferrari, Riccardo Bellazzi, Cristiana Larizza. “*Going Mobile with a Multiaccess Service for the Management of Diabetic Patients*”. En: (2007).
10. Registros Médicos Electrónicos de América Latina y el Caribe. “*Análisis sobre la situación actual y recomendaciones para la Región*”. En: (2016).
11. Jad Noueihed, Robert Diemer, Samarjit Chakraborty, Stefanie Biala. Institute for Real-Time Computer Systems, TU, Munich. “*Comparing Bluetooth HDP and SSP for Mobile Health Devices*”. En: (2008).
12. Osama Salameh, Faculty of Engineering and Information Technology, Arab American University, Palestine. “*A Mobile Phone SMS-Based System For Diabetes Self Management*”. En: (2011).
13. Victor Manuel Morales Rocha, Luis Felipe Fernández Martínez, Jorge Enrique Rodas Osollo, Karla Miroslava Olmos Sánchez. “*Monitoreo Remoto de Pacientes con Diabetes Utilizando Tecnologías Móviles Inalámbricas*”. En: (2012).
14. I. Martínez, J. Fernández, M. Galárraga, L. Serrano, P. de Toledo, J. García. “*Implementación Integrada de una Plataforma Telemática Basada en Estándares para Monitorización de Pacientes*”. En: (2007).
15. Paolo Giudici, Faculty of Economics, University of Pavia, Italy. “*Applied Data Mining, Statical Methods for Business and Industry*”. En: (2003).
16. Fareed ud din, Atta-ur-Rehman Shah, Muhammad Ibrahim. Superior University, Lahore, Pakistan. “*Mobile-Phone-Based Remote Patient’s Vital Signs Monitoring and Automated Alerts*”. En: (2013).
17. Apache commons, “*Commons JEXL*”, <http://commons.apache.org/proper/commons-jexl/>