

## **Sistema de monitoreo remoto y detección de anomalías cardiacas en pacientes ambulatorios**

César Enrique Rose Gómez, Luz María Márquez Agúndez,  
Juan Carlos Hernández Cruz, María Trinidad Serna Encinas

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Hermosillo,  
División de Estudios de Posgrado e Investigación,  
México

crose@ith.mx, lucynitzy@hotmail.com, jc23@live.com.mx, tserna@ith.mx

**Resumen.** En el sector salud de nuestro país, como en algunos otros, se tienen diversas problemáticas debido al incremento de la población, lo cual impacta en la demanda de recursos como servicios de atención a la salud, de centros hospitalarios, de médicos, entre otros. Aunado a lo anterior, se tiene la carencia de especialistas o la centralización de los médicos y hospitales en las principales ciudades del país, con lo cual un gran sector de la población no tiene una atención suficiente y de calidad. Actualmente, el incremento de las enfermedades cardiovasculares en el mundo constituye la primera causa de muerte, en nuestro país también se encuentran estas enfermedades en los primeros lugares de la mortalidad. En este artículo se presenta una propuesta de una arquitectura para el monitoreo remoto de pacientes ambulatorios, específicamente aquellos con alguna anomalía cardíaca.

**Palabras clave:** telemedicina, procesamiento ECG, alerta para anomalías cardiacas, redes neuronales.

### **System of Remote Monitoring and Detection of Cardiac Anomalies in Outpatients**

**Abstract.** In the health sector of our country, as in some others, there are various problems due to the increase in population, which impacts on the demand for resources such as health care services, hospitals, physicians, etc. In addition to the above, there is a lack of specialists or the centralization of physicians and hospitals in the main cities of the country, which means that a large sector of the population does not have sufficient quality care. Currently, the increase in cardiovascular diseases in the world is the leading cause of death; in our country these diseases are also in the first places of mortality. In this article we present a proposal of architecture for the remote monitoring of outpatients, specifically those with some cardiac anomaly.

**Keywords:** telemedicine, ECG processing, cardiac anomalies alert, neural networks.

## **1. Introducción**

En México al igual que en otros países en el mundo se ha iniciado la Telemedicina para encontrar diversas soluciones a los problemas inherentes al sector salud. Como se ha definido en [1], la Telemedicina es “El suministro de servicios de atención sanitaria en los que la distancia constituye un factor crítico, por profesionales que apelan a tecnologías de la información y de la comunicación con objeto de intercambiar datos para hacer diagnósticos, preconizar tratamientos y prevenir enfermedades y heridas, así como para la formación permanente de los profesionales de atención de salud y en actividades de investigación y de evaluación, con el fin de mejorar la salud de las personas y de las comunidades en que viven”.

La Telemedicina puede prestar diversos servicios como: Tele-Consulta, Tele-Asistencia médica y sanitaria y Tele-Educación [1]. Entre estos servicios se encuentra la Tele-Cardiología, que desde hace tiempo ha estado presente en nuestro país de diversas maneras. La Tele-Cardiología es la aplicación de la Telemedicina a la prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades cardiovasculares. Una de las aplicaciones de la Tele-Cardiología es el monitoreo remoto de pacientes que tengan alguna anomalía cardíaca, lo cual permite verificar el estado del paciente usando su electrocardiograma (ECG), o la generación de una alerta si se detecta automáticamente una anomalía.

Actualmente, el incremento de las enfermedades cardiovasculares constituyen la primera causa de muerte en el mundo, en nuestro país se encuentran estas enfermedades en los primeros lugares en la estadística de mortalidad [2].

En este artículo se describen los módulos para un sistema de Tele-Cardiología, con los cuales se puede adquirir y pre-procesar la señal ECG, así como la detección de eventos y características que permitan un procesamiento de tipo inteligente y la comunicación de los datos en el sistema.

## **2. Desarrollo**

### **2.1 Antecedentes**

La cantidad de personas con enfermedades cardiovasculares se va incrementando por diversos factores como se indica en varios reportes [3][4], uno de ellos es el estilo de vida de las personas. Por ejemplo, en lugares donde la alimentación está basada en la alta ingesta de carnes rojas y existe una baja actividad física, estos son indicadores que están asociados con las enfermedades cardiovasculares, como se muestra en [5].

El diagnóstico, el seguimiento de la terapia y el pronóstico de las enfermedades cardiovasculares, se suele basar en un examen rápido y confiable llamado electrocardiograma (ECG). El electrocardiograma es un registro gráfico de la actividad eléctrica del corazón y proporciona abundante información que puede ser almacenada, transmitida y procesada de diversas maneras. La interpretación de señales electrocardiográficas es una de las muchas ramas de la ciencia médica, que es estudiada por un médico especializado en cardiología, para hacer un diagnóstico de enfermedades

cardíacas o reconocer alguna cardiopatía. El estudio de las características del ECG ayuda al cardiólogo a diagnosticar anomalías; por ejemplo, ataques al corazón, problemas de conducción, embolias, arritmias, hipertrofias, taquicardias y bradicardias, entre otras.

## 2.2 Arquitectura del Sistema de Monitoreo Remoto

El proyecto que actualmente se está desarrollando en el TecNM / Instituto Tecnológico de Hermosillo, considera el uso de dispositivos móviles que permitan la adquisición y procesamiento de la señal ECG y de otros datos biomédicos y de contexto. El resultado de este procesamiento es la generación de una alerta, así como de distintos datos. Estos datos deben ser enviados a una central hospitalaria o a un consultorio médico para su análisis. Asimismo, desde la central hospitalaria o desde el consultorio médico, se requieren datos a los dispositivos móviles para el monitoreo de los pacientes. En la Fig. 1 se muestra un diagrama a bloques del sistema, posteriormente se describen algunos de los componentes del mismo.

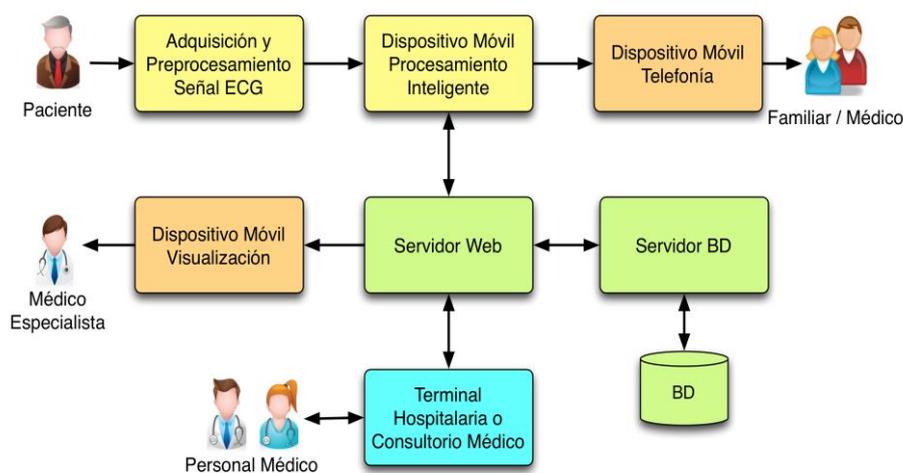


Fig. 1. Diagrama a bloques del sistema.

La arquitectura propuesta permite la comunicación entre los diversos dispositivos para el control de la adquisición de los datos, la transferencia de datos, el almacenamiento de los datos, el requerimiento de tareas y la solicitud de la atención del personal médico o de la propia familia o cuidadores del paciente. En nuestro proyecto se usa una arquitectura SOA (Arquitectura Orientada a Servicios) [6], buscando un mejor rendimiento en cuanto a la comunicación en la estructura que conforma este sistema, cuyas interfaces son realizadas en diversas plataformas y/o lenguajes. En la Fig. 2 se muestran los componentes de esta arquitectura.

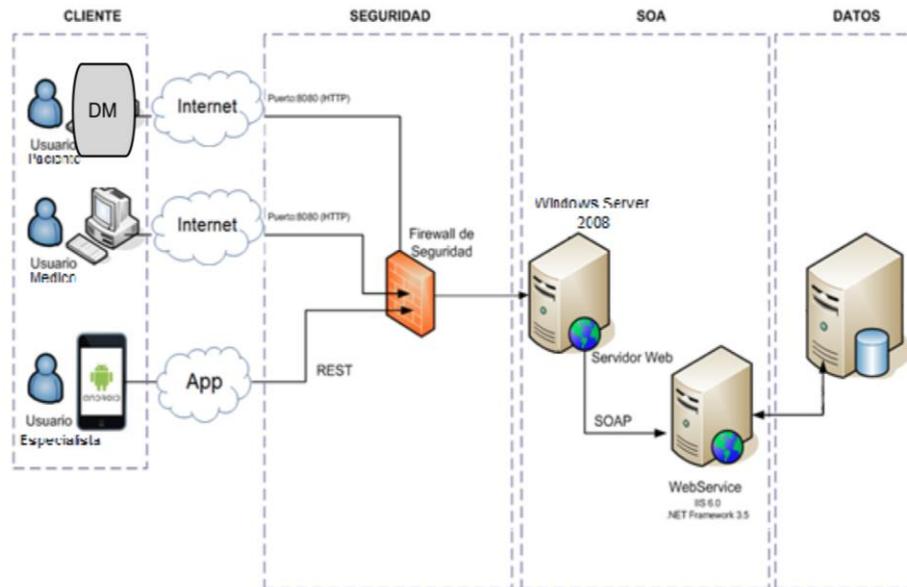


Fig. 2. Arquitectura SOA del sistema.

### Dispositivo médico

Cada paciente tiene un dispositivo médico (DM en la Fig. 2), éste consta de dos componentes, uno de ellos es la tarjeta de adquisición de datos y el otro es una computadora Raspberry para efectuar el procesamiento inteligente. Se diseñó un circuito electrónico para obtener la señal ECG, para ello se ha considerado usar solo la derivación unipolar DI para obtener la señal ECG, este circuito tiene una etapa de amplificación, una etapa de filtrado, una etapa de aislamiento y una etapa de conversión analógica a digital. Una vez que se obtiene la señal de manera digital se envía por comunicación Bluetooth a la computadora Raspberry que es nuestro dispositivo móvil como se muestra en la Fig. 3.



Fig. 3. Adquisición y procesamiento de la señal.

El procesamiento inteligente se lleva a cabo en el dispositivo móvil, para el cual se ha diseñado un algoritmo para controlar los procesos a ejecutar en el dispositivo móvil como se muestra en la Fig. 4 como un diagrama de bloques.

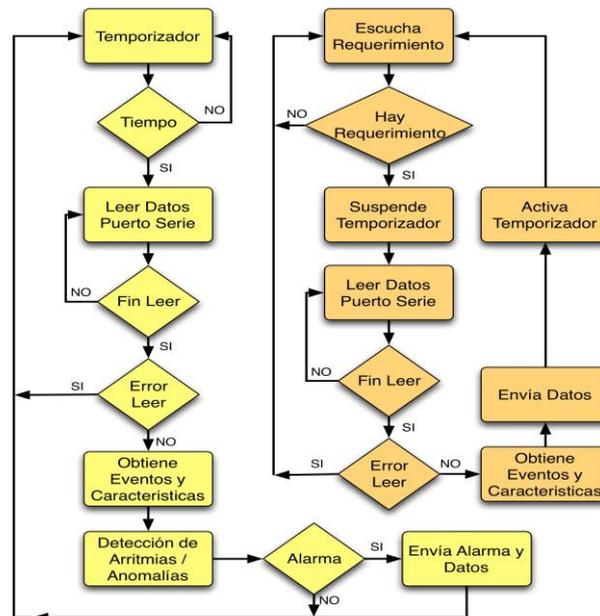


Fig. 4. Algoritmo para el control de procesos, detección de eventos y detección de anomalías cardíacas.

Se han considerado dos funcionalidades generales:

a) Un proceso que cada cierto tiempo adquiera la señal ECG, la procese y en caso de detectar alguna anomalía, genere la alerta correspondiente, envíe el mensaje SMS y envíe a la central hospitalaria los datos de la señal y los datos de ritmo, frecuencia cardíaca, intervalos, entre otros.

b) Un proceso que permita un requerimiento por parte de la central hospitalaria para obtener los datos de la señal y los datos de ritmo, frecuencia cardíaca, intervalos, etc. y los envíe a la central hospitalaria.

Como se puede apreciar en la Fig. 4, una parte fundamental para el procesamiento inteligente es la obtención de los eventos y características de la señal ECG, un latido normal en un ECG tiene la forma de onda que muestra en la Fig. 5, la cual nos permite apreciar las ondas y eventos que la constituyen.

El algoritmo que se ha desarrollado para obtener las anteriores características usa el algoritmo Pan-Tompkins [7] para la identificación de la magnitud de los picos de la onda R, de la onda Q y de la onda S. Posteriormente la detección del complejo QRS, esto es, el inicio del complejo QRS y el final del complejo QRS, así como la onda P y la onda T son detectados usando la transformada Wavelet. Ya que el objetivo de este artículo es presentar sólo la arquitectura del sistema, en [8] se puede encontrar el algoritmo realizado para obtener las características del ECG.

Asimismo, el algoritmo de nuestra propuesta para la detección de anomalías cardíacas está basado en la sugerencia presentada en [9], está compuesto por un conjunto de reglas, las cuales usan diversos eventos extraídos de la señal ECG, tales

como el intervalo PQ, el intervalo QT, intervalo PR, etc. y de un clasificador implementado con una red neuronal.

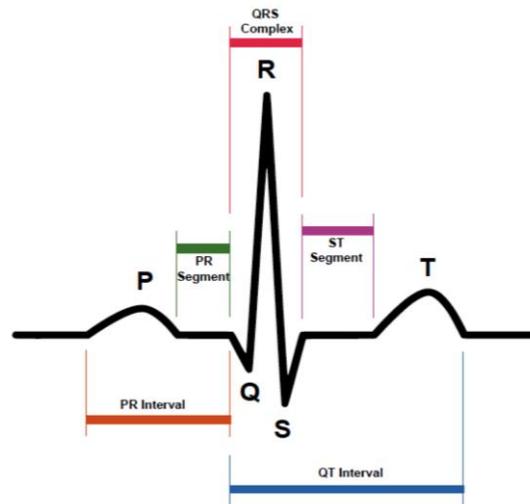


Fig. 5. Ondas y eventos en una señal ECG.

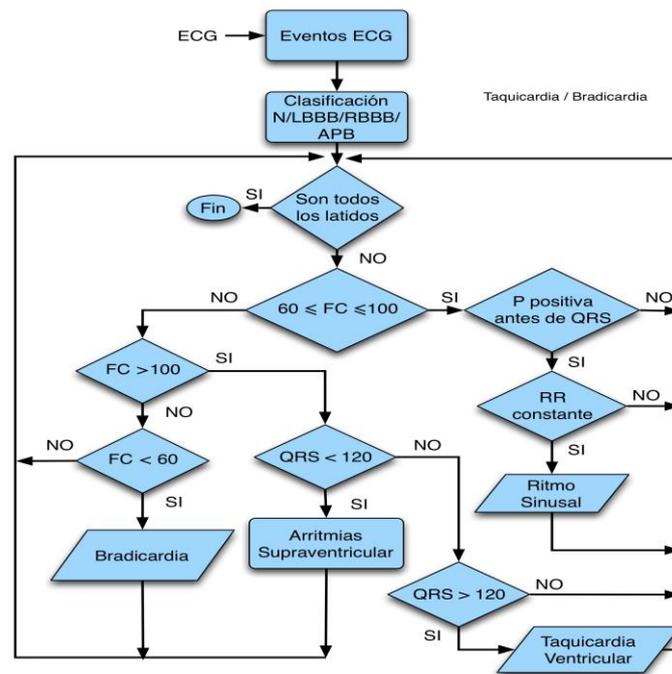


Fig. 6. Algoritmo para la detección de arritmias, bradicardia y taquicardia.

En este artículo para tener una comprensión general del procesamiento inteligente sólo se presenta en la Fig. 6 el algoritmo que permite la detección de bloqueos (LBBB, RBBB, AV) y de detección de bradicardia o taquicardia. En [10] se puede encontrar a mayor detalle los otros algoritmos implementados y los resultados de su experimentación.

### **2.3 Implementación del sistema**

Los escenarios que maneja nuestro sistema como se muestra en la Fig. 2 son los siguientes:

1. Programa desarrollado en el lenguaje ANSI C (bajo el paradigma de programación estructurada) en la computadora Raspberry para las siguientes tareas:
  - a. Control de procesos
  - b. Detección de eventos y características de la señal ECG.
  - c. Detección de anomalías cardíacas con la implementación de los algoritmos:
    - i. Detección de arritmias usando una red neuronal de retropropagación con una capa oculta.
    - ii. Detección de bradicardia y taquicardia.
    - iii. Detección de intervalos de conducción.
    - iv. Detección de arritmias supraventriculares.
2. Programa en lenguaje C para la conversión de la señal ECG a digital y su envío usando comunicación serial Bluetooth en la tarjeta de adquisición de datos.
3. Aplicación Móvil (Médico o Especialista) para visualización de la señal de alarma en Android.
4. Aplicación en C# para PC (Interfaz Central Hospitalaria).
5. Web Service en C# (Servidor Web).
6. Servidor para Base de Datos (Windows Server).

Estos son inicializados cuando el usuario paciente se conecta con el dispositivo médico y comienza el envío de la señal para su procesamiento en una computadora Raspberry, el cual realiza la comunicación con el Servidor y el Web Service por medio del protocolo SOAP el cual por seguridad está respaldado por un Firewall y un Proxy que nos ayuda a mantener la seguridad de nuestro servidor. La aplicación móvil será ejecutada por el usuario especialista cuando requiera visualizar la señal-alarma, así realiza la comunicación con el Web Service por medio del protocolo REST con la misma seguridad. La terminal hospitalaria tendrá el mismo protocolo SOAP y la misma seguridad para el acceso correcto hacia el Web Service.

## **3. Experimentación y resultados**

Por cuestiones de espacio se describe en esta sección la experimentación de la comunicación de los datos desde el dispositivo médico hacia el servidor, se generaron

de manera aleatoria los datos de entrada con respecto a las variables; presión sistólica, presión diastólica, spo2 y caída, entre otros, las cuales se están considerando a ser incluidas en desarrollos futuros, asimismo se usaron los datos correspondientes a la señal ECG para generar la alerta de anomalía cardíaca, se uso la base de datos de arritmias MIT-BIH [11], la cual es un conjunto de archivos que contienen diversas señales ECG, esta base de datos ha sido la usada en la experimentación de los algoritmos presentados en [8, 10].

Para generar las alertas se usan reglas, en la Fig. 7 se muestra un diagrama del flujo donde se tienen los procesos que se realizan para generar las alertas codificadas. La alerta general que incluye las alertas de los sensores biomédicos, así como las variables de contexto. En el bloque denominado Codificación Alerta se codifican las alertas derivadas de los sensores biomédicos; oximetría, presión arterial y ECG. Asimismo, se incluye la variable de contexto de caída.

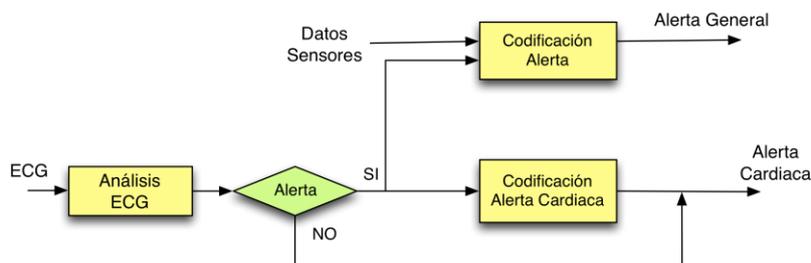


Fig. 7. Diagrama de flujo para la codificación de alertas.

En la Tabla 1 se muestran algunos códigos para las alertas de anomalías cardíacas consideradas en los algoritmos previamente mencionados, los cuales se usan en el proceso Codificación Alerta Cardíaca.

Tabla 1. Códigos para algunas alertas de anomalía cardíaca.

Tipo alerta	Código Binario	Código Decimal
Bloqueo Rama Izquierda	000000001	1
Bloqueo Rama Derecha	000000010	2
Bloqueo APB	000000100	4
Bradicardia	000001000	8
Bradicardia Extrema	0000010000	16

En la tabla 2 se muestran los códigos para la existencia de alerta de los diversos datos. Por ejemplo si hay alertas por anomalía cardíaca, caída e hipoxia, entonces se genera el valor 28, de tal manera que en el código de la alerta se puede saber que alertas sucedieron.

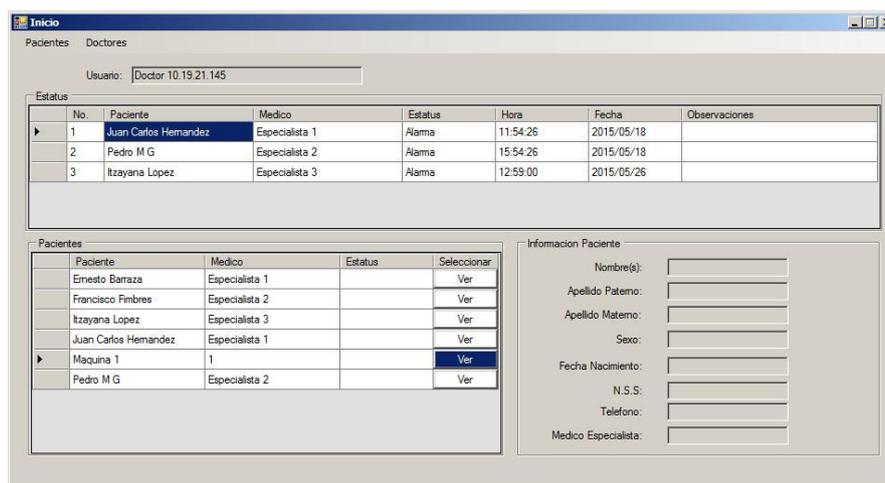
**Tabla 2.** Códigos para alerta general.

Tipo alerta	Código Binario	Código Decimal
Hipertensión	00001	1
Hipotensión	00010	2
Hipoxia	00100	4
Caída	01000	8
Anomalia Cardíaca	10000	16

En la tabla 3 se muestran algunos valores generados aleatoriamente para probar la comunicación de los datos, asimismo se muestra el registro y tipo de latido de la señal ECG, la cual se selecciona también aleatoriamente de la base de datos MIT-BIH para generar la alerta en el caso que se encuentre una anomalía, asimismo, se puede apreciar el resultado de la codificación en la columna denominada Alerta General.

**Tabla 3.** Datos generados aleatoriamente y la alerta general codificada.

Registro	Tipo Latido	Presión sistólica	Presión diastólica	Oximetría	Caída	Alerta cardíaca	Alerta General
109	LBBB	103	66	12	1	1	28
111	LBBB	166	129	34	0	1	20
101	NOR	71	32	5	0	0	4
122	NOR	157	121	80	0	0	4
115	NOR	166	131	83	0	0	12
100	NOR	237	201	76	0	0	5



**Fig. 8.** Interfaz para la central hospitalaria o consultorio médico.

Cuando sucede una alerta, se realiza el envío de los datos en una estructura. Ya que la arquitectura usada para el sistema es orientada a servicios, se ha construido un servidor de servicios bajo el protocolo SOAP, el cual usa documentos XML para el envío de los datos.

Una vez recibidos los datos se procesan en el servidor. En la Fig. 8 se muestra la interfaz para el equipo en la central hospitalaria o consultorio médico. En la Fig. 9 se muestra la señal ECG en el dispositivo móvil del médico o especialista.

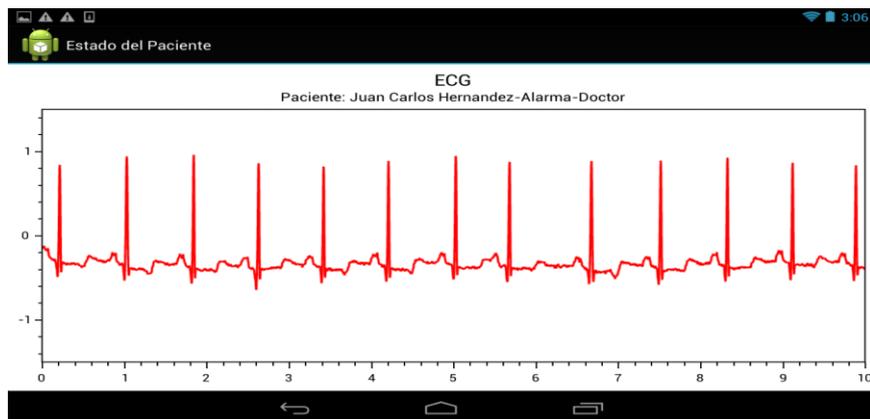


Fig. 9. Visualización de la señal ECG en el dispositivo móvil del médico o especialista.

#### 4. Conclusiones

En este artículo se ha presentado una propuesta para un sistema de Tele-Cardiología, donde los pacientes ambulatorios pueden ser monitoreados en cualquier momento por el personal médico sin realizar el traslado de las personas hacia la unidad hospitalaria, asimismo, se puede tener la generación de alertas cuando se tenga una detección automática de una cardiopatía, con lo cual el paciente puede ser auxiliado por el personal médico o por sus familiares y/o cuidadores.

El artículo muestra solo una parte del proyecto que actualmente se desarrolla, ya que como se ha descrito previamente, se usan tanto variables biomédicas, como variables de contexto, dentro de las primeras se ha mostrado que el ECG es una señal que permite procesarla para detectar las anomalías y se puede visualizar la señal por el médico de manera remota para realizar un diagnóstico, las variables de contexto permiten obtener información del paciente tales como la postura del cuerpo, si sufrió una caída, en donde se encuentra, información que resulta de gran valor para auxiliar en caso necesario al paciente.

Aún se sigue trabajando en este proyecto, donde se están analizando otros tipos de sensores para las variables biomédicas y de contexto, también se están diseñando algoritmos para detectar arritmias mas peligrosas como las fibrilaciones y un algoritmo para predecir infartos y asistolias.

Como trabajo futuro se considera que esta arquitectura permite almacenar una gran cantidad de información que puede analizarse con tecnología “Big Data” para obtener información o conocimiento relevante a las enfermedades cardíacas.

## **Referencias**

1. Secretaría de Salud, Subsecretaría de Innovación y Calidad, Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud, Telemedicina, Serie Tecnologías en Salud, Volumen 3 (2007)
2. Instituto Nacional de Salud Pública, Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. Resultados nacionales (2012)
3. INEGI, Estadísticas a Propósito del Día Mundial del Corazón, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2007)
4. SSA, Sistema Epidemiológico y Estadístico de las Defunciones, Secretaría de Salud, (2009)
5. ISSSTE, Sonora (2014)
6. Erl, T.: *Service-Oriented Architecture: Concepts, Technology, and Design*. 1st edn. Pearson, USA (2009)
7. Pan, J., Tompkins, W.J.: A Real Time QRS Detection Algorithm. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 32(3), 230–236 (1985)
8. Rose, C., Serna, M.: *Procesamiento del Electrocardiograma para la Detección de Cardiopatías*. Encuentro Nacional de Computación, Ocotlán, Oaxaca (2014)
9. The ECG Course. <http://en.ecgpedia.org>
10. Rose, C., Serna, M.: Generación de Alertas de Anomalías Cardíacas usando un Algoritmo Inteligente Híbrido. *Electro* 37, 274–279 (2015)
11. Moody G.B., Mark, R.G.: The MIT-BIH Arrhythmia Database on CD- ROM and software for use with it. *Computers in Cardiology* 17, 185–188 (1990)