

# Aplicación móvil para la gestión de una red inalámbrica de sensores corporales biomédicos

A. Talaminos Barroso<sup>1</sup>, D. Naranjo Hernández<sup>1,2</sup>, G. Barbarov Rostan<sup>1</sup>, L.M. Roa Romero<sup>1,2</sup>, J. Reina Tosina<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Ingeniería Biomédica, Universidad de Sevilla

<sup>2</sup> Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN)

<sup>3</sup> Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Universidad de Sevilla

## Resumen

*En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un primer prototipo de una aplicación móvil para la gestión de una red personal de sensores inalámbricos (WPAN) dentro del contexto de e-Salud y siguiendo una perspectiva de arquitecturas interoperables, abiertas, modulares y extensibles. La aplicación móvil está constituida por una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) que incluye una serie de módulos funcionales interconectados que se encargan de la comunicación inalámbrica con los sensores, la gestión de los datos, el almacenamiento de forma local en el móvil y la transmisión hacia una ubicación externa. De esta forma se pretende que el terminal móvil actúe como un concentrador de información, facilitando la adaptación para la comunicación con sensores biomédicos de distintos fabricantes que hagan uso de la familia de estándares ISO/IEEE 11073.*

## 1. Introducción

El paradigma de e-Salud [1] ha surgido en los últimos años como una alternativa a los sistemas clásicos de telemedicina donde el paciente era considerado como un elemento pasivo en la asistencia sanitaria [2]. En oposición a esto, e-Salud pretende un cuidado continuo de la salud, por el que la ciudadanía pasa de tener un papel pasivo a convertirse en un consumidor activo de la industria de la salud. Este nuevo cambio asistencial está extendiendo también el área de actuación del proceso de cuidado, que tradicionalmente ha estado ubicado exclusivamente en centros hospitalarios y clínicos, y lo está ampliando también hacia un escenario de computación ubicua.

Desde el punto de vista tecnológico, este nuevo cambio en el modelo asistencial que se está imponiendo, abre nuevas líneas de investigación relacionadas con el estudio de nuevos métodos y técnicas que permitan una monitorización continua y un seguimiento constante de las variables fisiológicas. Una supervisión constante, personalizada y de carácter preventivo puede ayudar a mejorar el bienestar y la calidad de vida del ciudadano, reduciendo también ingresos hospitalarios innecesarios y disminuyendo los altos costos asociados.

En este sentido, actualmente existe un creciente interés por el desarrollo de sensores portables biomédicos dada la disminución de costes, la miniaturización electrónica y la rápida evolución de las comunicaciones inalámbricas. La gran proliferación de estos dispositivos por parte de distintos fabricantes está dando lugar a una gran

heterogeneidad de semánticas y protocolos de comunicación propietarios completamente cerrados y no interoperables, lo que está propiciando una carga adicional de trabajo en el despliegue de plataformas de sensores de este tipo. Esto está contribuyendo al aumento de la complejidad en los sistemas sanitarios implicados en la gestión e integración de los datos entre distintas fuentes de información heterogéneas. Para afrontar estos problemas de interoperabilidad que demanda el paradigma e-Salud, se propuso la adopción, por parte de los fabricantes de dispositivos biomédicos, de la familia de estándares ISO/IEEE 11073 (también referido como X73), que fue inicialmente definido para describir el intercambio interoperable de señales vitales entre dispositivos médicos (agentes) y equipamiento central (managers) en el Punto de Cuidado (PoC). Aunque actualmente ya existen diversas iniciativas en cuanto a la interoperabilidad entre dispositivos biomédicos mediante X73 [3], todavía existen problemas de integración [4].

Dentro de este contexto de heterogeneidad de sensores y ausencia de interoperabilidad, en este trabajo se presenta una aplicación móvil diseñada e implementada con el objetivo de proveer de un medio de gestión sencillo para la comunicación con sensores biomédicos portables compatibles con la norma X73 a través de un dispositivo concentrador, por ejemplo, un teléfono móvil. La aplicación se ha investigado, diseñado y desarrollado desde un punto de vista modular y extensible, facilitando la escalabilidad y la integración de nuevos sensores, así como la agregación de otras funcionalidades adicionales.

## 2. Materiales y métodos

La metodología seguida en la construcción de la aplicación móvil está sustentada en el denominado ciclo de vida de desarrollo de sistemas (SDLC) [5], un proceso clásico de desarrollo de software en ingeniería de sistemas e ingeniería del software. SDLC está constituido de una serie de etapas entre las que se incluyen: análisis de requisitos y definición de especificaciones tecnológicas, diseño, implementación, pruebas y evaluación. Desde un punto de vista de diseño, para la construcción de la aplicación se ha utilizado una metodología de arquitectura modular, definiendo todos los elementos funcionales de la aplicación como componentes escalables y reutilizables.

En este primer prototipo de la aplicación móvil únicamente se ha considerado el escenario del punto de cuidado. En este sentido, los posibles actores o roles encargados de interactuar con la aplicación son los siguientes:

- Usuario/paciente: es el portador de los dispositivos sensores que monitorizan sus variables fisiológicas.
- Cuidador no profesional: es el actor asociado a un determinado paciente/ciudadano y que recibe eventos de interés, tales como sugerencias, alarmas, preguntas, tests o recordatorios.

La aplicación móvil desarrollada va a ser la encargada de la gestión de la red de sensores portables de los usuarios. Entre las características deseables que deberían incluir estos sensores se encuentran un modo de personalización automática, bajo consumo energético, compatibilidad con estándares y mínimo coste económico. Respecto a las comunicaciones estos dispositivos sensores transmiten habitualmente los datos de forma inalámbrica vía Bluetooth [6].

La arquitectura de la aplicación propuesta está diseñada bajo una perspectiva modular a través de una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) que provee una capa de abstracción para facilitar la comunicación con los sensores y el acceso a los datos que se monitorizan. A nivel de programación, la API proporciona instancias hacia los sensores que se pretenden controlar, donde cada instancia está constituida por un conjunto de módulos con sus respectivas interfaces. Cada módulo provee dos tipos de servicios: unos de carácter público, que son las interfaces utilizadas en las capas superiores, y otros de naturaleza privada, que propagan internamente los eventos generados hacia el resto de módulos.

Respecto a las comunicaciones, el elemento concentrador en esta red WPAN es el terminal móvil, que se encarga principalmente de recibir los datos procedentes de los sensores, almacenarlos localmente y enviarlos a una ubicación externa. En la actualidad, la mayoría de terminales móviles disponibles en el mercado son compatibles con la versión 4.0 de Bluetooth (Bluetooth LE o de bajo consumo), que ofrece ventajas significativas respecto al consumo energético y soporta un mayor número de conexiones simultáneas respecto a versiones anteriores del estándar.

Para garantizar la comunicación entre cualquier tipo de sensor y la aplicación móvil, se ha empleado el estándar ISO/IEEE11073 (X73) [7] de interoperabilidad entre dispositivos médicos. Más específicamente a través del estándar X73PHD, una evolución del X73 para satisfacer las necesidades actuales centradas en los nuevos dispositivos personales o portables en el escenario del punto de cuidado.

Actualmente la aplicación desarrollada se ejecuta bajo el sistema operativo Android. Sin embargo, el diseño modular de la aplicación permite que pueda portarse de forma sencilla a otras plataformas móviles como iOS y Windows Phone. Algunas librerías de programación móvil en Android que han sido utilizadas en la implementación de la aplicación, con el fin de agilizar el desarrollo de determinadas tareas, son las siguientes:

- **GraphView**: para la creación de forma programática de gráficas sencillas en dos dimensiones.
- **Gson**: permite la conversión de tipos entre objetos de programación y objetos JSON, y viceversa.
- **Java-Websocket**: proporciona un canal de comunicaciones bidireccional y full-duplex a un servidor externo utilizando la tecnología Websocket, estandarizada por el IETF (Internet Engineering Task Force).
- **OrmLite**: permite la conversión de tipos entre objetos de programación y registros de tablas en una base de datos, y viceversa.
- **Eventbus**: se encarga de disparar los eventos en un determinado módulo de forma asíncrono y propagarlo hacia el resto de módulos.
- **Antidote**: es una librería que implementa el stack IEEE 11073. Sus principales características son la portabilidad, sencillo uso y la fácil integración con aplicaciones desarrolladas en el sistema operativo Android.

Por último, respecto a la metodología seguida para las pruebas de usabilidad a realizar por los usuarios en un futuro, está previsto la aplicación de la norma ISO 9241, enfocada al análisis de la calidad en usabilidad y ergonomía, tanto del hardware como del software. Aspectos relevantes como la estructura de los menús, la navegación, las opciones de selección y los componentes de la interfaz gráfica serán analizados a partir de las interacciones del usuario con el sistema conforme a unas tareas específicas previamente establecidas. La finalidad fundamental será la de conseguir que la aplicación móvil se ajuste lo máximo posible a las necesidades de los usuarios y resulte efectiva, eficiente y satisfactoria para los mismos. En este primer prototipo de aplicación móvil que se presenta en este trabajo no se incluyen los resultados de estas pruebas de usabilidad puesto que la interfaz gráfica de usuario todavía no se encuentra suficientemente madura, sin embargo, para la API sí se ha realizado una validación técnica basada en la ejecución de tests unitarios.

### 3. Resultados

La aplicación desarrollada se ha construido desde una perspectiva modular por medio de una API que provee una serie de módulos dependientes de la instancia del sensor que se va a utilizar. Respecto a la naturaleza de los módulos, existen tres tipos diferentes: módulos obligatorios, módulos opcionales y módulos específicos.

Los módulos obligatorios son el núcleo de la aplicación y están presentes en todas las instancias de cualquier dispositivo sensor. Los cuatro módulos obligatorios son:

- **Módulo de comunicaciones**: se encarga de la transmisión y recepción de los datos con el dispositivo sensor vía Bluetooth, abstrayendo toda la complejidad de la comunicación a las capas superiores. Entre los servicios que proporciona este módulo se encuentra el de conocer el estado actual de la conexión con el sensor, así como la intensidad de la señal con el dispositivo, entre otros aspectos. Este módulo

implementa un mánager X73 que es el encargado de simular la FSM (Máquina de Estados Finita) conforme al estándar X73PHD. X73PHD optimiza la arquitectura del modelo de comunicaciones entre los MD (Medical Manager) y el CE (Compute Engine), y especifica una FSM que define el procedimiento de sincronización MD-CE. Esta FSM se ha implementado en este módulo de Bluetooth considerando cada uno de los diferentes estados que están definidos en la norma X73.

Por otra parte, las tasas de transmisión de datos soportadas por el estándar Bluetooth permiten la comunicación con la gran mayoría de los sensores biomédicos existentes en la actualidad [8] (Tabla 1).

Sensor	Medida	Tasa de bits
ECG	Actividad cardíaca	72 Kb/s
EEG	Actividad cerebral	86.4 Kb/s
EMG	Actividad muscular	1536 Mb/s
Pulsioxímetro	Saturación de O <sub>2</sub>	<10 Kb/s
Termómetro	Temperatura corporal	<10 Kb/s
Glucómetro	Glucosa en sangre	<10 Kb/s
Báscula	Peso	<10 Kb/s
Bioimpedanciómetro	Composición corporal	<10 Kb/s
GSR	Nivel de transpiración	<10 Kb/s
Acelerómetro y giroscopio	Tipo de actividad física	<10 Kb/s

**Tabla 1.** Tipos de sensores biomédicos, medidas y tasa de bits.

- Módulo de base de datos: almacena de forma interna en el teléfono todos los datos recogidos de los sensores, así como las configuraciones de los mismos y registros de auditoría.
- Módulo de auditoría: monitoriza toda la actividad y eventos que se producen en la API y lo almacena en registros de log (información, errores o advertencias).
- Módulo de configuración: provee una interfaz de acceso para configurar algunos aspectos de la API relativos a la base de datos, las comunicaciones, las auditorías u otras cuestiones.

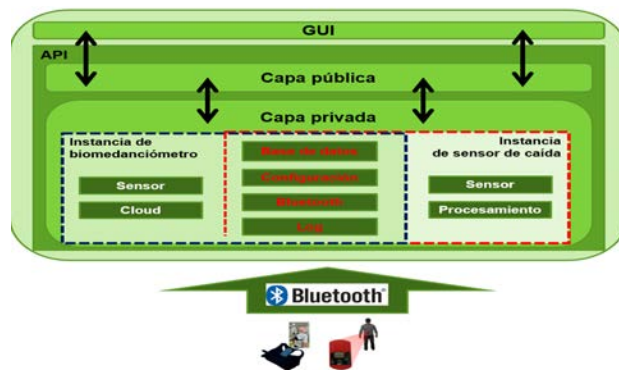
Módulos opcionales: son módulos que pueden integrarse o no en la instancia del sensor, en función de las necesidades de la aplicación que se esté desarrollando. Actualmente se han definido dos módulos de este tipo:

- Módulo de sensor: informa acerca de aspectos relacionados con el dispositivo sensor asociado a la instancia, por ejemplo, la calibración, una mala colocación, un bloqueo del dispositivo o el estado actual de la batería.
- Módulo de cloud: es el encargado de la comunicación de los datos hacia una ubicación externa. Básicamente transforma los datos almacenados en la base de datos local a objetos JSON (JavaScript Object Notation).

Por último, los módulos específicos son aquellos exclusivos a un determinado tipo de sensor. Un ejemplo de

módulo de este tipo es el módulo de procesamiento asociado al sensor de caída, que se encarga de discriminar si un determinado impacto producido es una caída o no.

En la Figura 1 se muestra la arquitectura de capas de la API desarrollada donde se presentan dos instancias de sensores y los módulos que engloban. Tal y como puede apreciarse, los módulos obligatorios están presentes en las dos instancias y se encuentran resaltados en rojo, mientras que los opcionales y específicos son de color blanco.



**Figura 1.** Arquitectura de capas de la aplicación móvil desarrollada.

Para la comunicación de eventos entre los diferentes módulos se ha implementado un mecanismo basado en el paradigma de publicación/suscripción. En este sentido, un determinado módulo puede estar suscrito a uno o más eventos y recibir las publicaciones de estos eventos generadas por otros módulos de forma asíncrona. De esta forma se garantiza la reusabilidad de componentes, así como la fácil inclusión de nuevos módulos que aporten otras funcionalidades y aprovechen las ya existentes del resto de módulos. En la Figura 2 se presenta un ejemplo de comunicación entre el módulo de comunicaciones (publicador) y los módulos de procesamiento y almacenamiento (suscriptores), considerando un evento de caída y otro de baja batería.

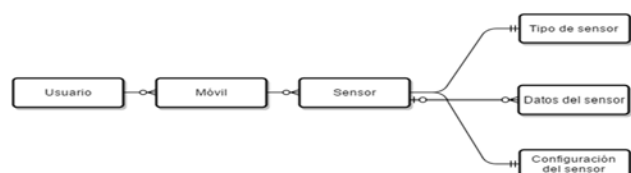


**Figura 2.** Modelo de comunicación entre módulos de la aplicación.

A nivel más técnico, el módulo publicador registra inicialmente el evento en el bus de comunicaciones. Cada evento es identificado inequívocamente como una clase de Java especial denominada Javabeans que encapsula varios objetos de diferentes tipos de datos y que provee unas interfaces públicas de tipo *getters* y *setters*. El publicador crea una instancia de esta clase Javabeans antes de la publicación y posteriormente notifica al bus de comunicaciones el envío de nueva información. El suscriptor o suscriptores pueden recibir el objeto con los

datos en el mismo hilo de ejecución o en uno alternativo, en función de si va a realizar cambios en la interfaz gráfica o no. Este tipo de comunicaciones entre módulos es ideal para la generación de alarmas cuando ocurre una situación de emergencia. Sin embargo, dada la limitada tasa de bits necesaria por la mayoría de los sensores (Tabla 1), se ha obviado la inclusión de un sistema de priorización de eventos.

Desde el punto de vista del almacenamiento de la información, una de las cuestiones fundamentales de la aplicación móvil es el modelo de datos empleado. En la Figura 3 se propone un diagrama entidad-relación simplificado del modelo de datos utilizado mediante el uso de la notación crow's foot [9]. Tal y como puede observarse en la figura, un usuario puede tener asociado varios teléfonos móviles y a su vez, un teléfono móvil puede controlar varios dispositivos sensores (que están identificados por su dirección física). A cada dispositivo sensor se le vincula un tipo de sensor, una configuración y un conjunto de datos (que varía en función del tipo de sensor).



**Figura 3.** Diagrama entidad-relación simplificado del modelo de datos utilizado en la base de datos de la plataforma.

Para un testeo preliminar de la aplicación desarrollada se ha utilizado un sensor de detección de caída inteligente [10]. Para el diseño de la interfaz gráfica de la aplicación, se han realizado diversos cuestionarios y entrevistas a los usuarios finales con el objetivo de detectar posibles necesidades o requisitos. Bajo esta perspectiva de diseño, las interfaces gráficas se han construido para que puedan ser adaptadas a cualquier tipo de dispositivo, pantalla y resolución, considerando además las capacidades y conocimientos tecnológicos de los usuarios finales, así como las posibles limitaciones físicas o psíquicas de los mismos, facilitando de esta forma la accesibilidad y usabilidad de la aplicación. En la Figura 4 se observa una captura de pantalla donde se muestra la gestión de la detección de caída.



**Figura 4.** Captura de pantalla de la aplicación móvil desarrollada para la detección de caída.

## 4. Conclusiones

Se ha diseñado e implementado un primer prototipo de aplicación para la gestión de una WPAN que hace uso del estándar ISO/IEEE 11073. El diseño de la aplicación parte de unas especificaciones que garantizan la reusabilidad, interoperabilidad y escalabilidad de los módulos funcionales que ofrecen, formando un sistema que cumple con las características propias de las arquitecturas abiertas. Actualmente se están trabajando en un segundo prototipo que integrará nuevos sensores en la aplicación desarrollada, e incluirá las mejoras necesarias teniendo en cuenta la validación de usuario.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado en parte por la Fundación Progreso y Salud (Junta de Andalucía), bajo los proyectos PI-0010-2013 y PI-0041-2014, en parte por el Fondo de Investigaciones Sanitarias, Instituto de Salud Carlos III, bajo los proyectos PI15/00306 y, DTS15/00195, en parte por el CIBER-BBN bajo los proyectos INT-2-CARE, NeuroIBC, y ALBUMARK.

## Referencias

- [1] G. Drosatos, P. S. Efraimidis, G. Williams, y E. Kaldoudi, «Towards Privacy by Design in Personal e-Health Systems», 2016, pp. 472-477.
- [2] A. Townsend, P. Adam, L. C. Li, M. McDonald, y C. L. Backman, «Exploring eHealth Ethics and Multi-Morbidity: Protocol for an Interview and Focus Group Study of Patient and Health Care Provider Views and Experiences of Using Digital Media for Health Purposes», *JMIR Res. Protoc.*, vol. 2, n.º 2, p. e38, 2013.
- [3] H. G. Barrón-González, M. Martínez-Espronceda, J. D. Trigo, S. Led, y L. Serrano, «Lessons learned from the implementation of remote control for the interoperability standard ISO/IEEE11073-20601 in a standard weighing scale», *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 123, pp. 81-93, ene. 2016.
- [4] F. Khodadadi, A. V. Dastjerdi, y R. Buyya, «Simurgh: A framework for effective discovery, programming, and integration of services exposed in IoT», en *2015 International Conference on Recent Advances in Internet of Things (RIoT)*, 2015, pp. 1-6.
- [5] A. Sharma, M. Kumar, y S. Agarwal, «A Complete Survey on Software Architectural Styles and Patterns», *Procedia Comput. Sci.*, vol. 70, pp. 16-28, ene. 2015.
- [6] «Bluetooth Technology Website». [En línea]. Disponible en: <https://www.bluetooth.com/>. [Accedido: 27-oct-2016].
- [7] Y. F. Lee, «An Interoperability Solution for Legacy Healthcare Devices», *IT Prof.*, vol. 17, n.º 1, pp. 51-57, ene. 2015.
- [8] P. J. Soh, G. A. E. Vandenbosch, M. Mercuri, y D. M. M. P. Schreurs, «Wearable Wireless Health Monitoring: Current Developments, Challenges, and Future Trends», *IEEE Microw. Mag.*, vol. 16, n.º 4, pp. 55-70, may 2015.
- [9] A. Paz, N. Veeramisti, I. Khanal, J. Baker, y H. de la Fuente-Mella, «Development of a Comprehensive Database System for Safety Analyst», *Sci. World J.*, vol. 2015, p. e636841, jun. 2015.
- [10] D. Naranjo-Hernandez, L. M. Roa, J. Reina-Tosina, y M. A. Estudillo-Valderrama, «Personalization and adaptation to the medium and context in a fall detection system», *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed. Publ. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, vol. 16, n.º 2, pp. 264-271, mar. 2012.