



Servicio de mHealth para supervisar medidas corporales de glucosa y tensión arterial

M.Sc. Luis L. Camargo Ariza, Ing. Miguel J. Rivera Ospino, M.Sc. Byron Medina Delgado

RESUMEN / ABSTRACT

El artículo presenta una propuesta de servicio de mHealth dirigido a pacientes que requieren o deseen tener un control periódico de las medidas corporales de tensión arterial y glucosa, personas como: hipertensos, diabéticos, hipoglucémicos, deportistas, mujeres embarazadas, entre otras. El servicio permite al usuario utilizar su teléfono móvil celular como instrumento para realizar un diagnóstico previo, tomando en cuenta los valores obtenidos de la lectura de los sensores y los rangos normales para cada medida corporal. Además, el paciente puede enviar la información a una base de datos a través de la red del operador de telefonía móvil y de redes locales no tarifadas, o enviar la medida en un mensaje de texto al teléfono del médico si es un caso de urgencia. Luego de considerar las medidas almacenadas y enviadas por el usuario, el servicio le permite al médico emitir el diagnóstico al paciente por medio de un mensaje de texto.

Palabras claves: Aplicación informática, comunicación móvil, paciente, salud, teléfono móvil.

This paper presents a proposal for mHealth system, for patients who need or wish to have regular monitoring of measurements of blood pressure and glucose; persons with hypertensive, diabetic, hypoglycemic, athletes, pregnant women, among others. The system allows users to use their mobile phone as a tool for a first diagnosis, taking into account the values obtained from the sensors readings and normal ranges for each body scale. Additionally, the patient can send the information to a database through the network mobile operator and free local networks or send a text message to the doctor with the data in case of an emergency. The system allows the doctor to make the diagnosis considering the data stored by the user and advise the patient via a text message.

Keywords: *Computer application, mobile communication, patients, health, mobile phone.*

MHealth service to supervise blood glucose level and blood pressure

INTRODUCCIÓN

El término mHealth se define como la unión de: la computación móvil, sensores médicos y tecnologías de comunicación, para el cuidado de la salud ¹. MHealth es una propuesta tecnológica que en los últimos años ha surgido como un segmento importante de la telemedicina y su objetivo principal es mejorar los servicios de salud, integrando los beneficios de movilidad y ubicuidad, propios de los sistemas móviles, a los tratamientos de cuidados de la salud tradicional, tratando de llevar la atención de salud a la gente y no la gente al sistema de salud.

Las aplicaciones de mHealth actualmente están creando nuevos mecanismos para el intercambio de información relacionada con el cuidado de la salud, incluso en los lugares remotos y de escasos recursos, debido a la gran área de cobertura e influencia social de las redes de telefonía móvil, convirtiéndose en un factor estratégico para salvar vidas en los países en desarrollo ². En la figura 1 se ilustran algunas estadísticas relacionados con la tecnología de comunicación y la salud en los países en desarrollo para el 2009.

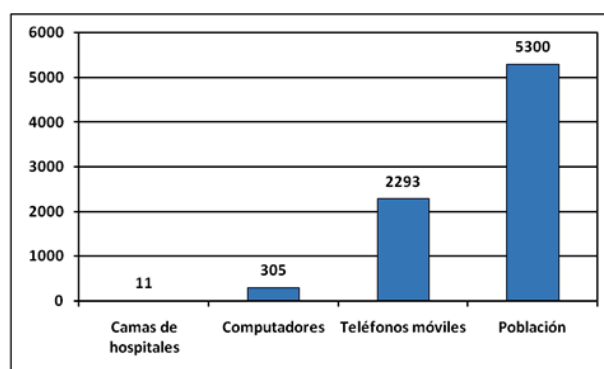


Figura 1. Estadísticas relacionadas con la tecnología y la salud en los países en desarrollo (en millones) ².

En Latinoamérica para el 2011 había en promedio 103 líneas telefónicas móviles por cada 100 habitantes ³, y se espera que para el 2014 se desplieguen comercialmente las redes de 4G (cuarta generación) en casi todo el mundo ⁴, brindando la plataforma para ofrecer servicios de mHealth más interactivos, personalizados y con grandes velocidades de transferencia de información ⁵. Otro avance tecnológico que ayuda al desarrollo de mHealth es la evolución de las redes de área personal de sensores biométricos ⁶.

Este escenario tecnológico dio soporte a la creación e implementación del servicio de mHealth propuesto, el cual en su primera versión solo permite monitorizar y diagnosticar pacientes con enfermedades relacionadas a la glucosa y tensión arterial.

La presión arterial es la fuerza que hace la sangre sobre las arterias, sesenta a cien veces cada minuto, con variaciones según la edad y el sexo de cada paciente ⁷.

La glucosa es un compuesto orgánico monosacárido con fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$ ⁸.

La hipertensión arterial (HTA) es una fuerza aumentada que ejerce la sangre sobre las paredes de las arterias en la medida que el corazón la bombea a través de las arterias del cuerpo ⁹. Esta enfermedad es uno de los principales factores de riesgo de muerte en el mundo, en el año 2012, 1.5 billones de personas sufren la enfermedad y 7 millones mueren cada año ¹⁰.

La diabetes es un trastorno metabólico que se caracteriza por un aumento de los niveles de glucosa en la sangre ¹¹; en el año 2012 más de 371 millones de personas padecieron diabetes, y 4,8 millones de personas murieron a causa de ésta ¹².

Adicionalmente unas de las principales causas de la insuficiencia renal son la diabetes y la presión arterial alta, las personas con estas enfermedades deben someterse a exámenes periódicos para detectar una posible enfermedad renal, en el año 2011 en los Estados Unidos el 37% de las detecciones tempranas de pacientes con daño renal, se produjeron en diabéticos e hipertensos ¹³.

Dadas estas cifras se evidencia la necesidad de mantener un registro del estado de salud de los pacientes con estas patologías, con el objetivo de controlar la HTA y los niveles de azúcar; y así disminuir el riesgo de enfermedad, mejorar la expectativa de vida en la edad adulta y obtener una ganancia efectiva de años de vida saludable.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El servicio de mHealth está soportado por servicios portadores tanto en la red móvil como en la red fija, servicios que garantizan la interconexión de los elementos del sistema de mHealth.

El sistema que implementa el servicio de mHealth está compuesto por cuatro módulos: la aplicación móvil, la aplicación Web, la lógica del servicio y la capa de almacenamiento.

Para el desarrollo del servicio se sigue el patrón de diseño Model View Controller (MVC), porque permite que la aplicación pueda ser ampliada de forma fácil para otras medidas corporales, debido a que se separa la capa de datos de la interfaz de usuario y la lógica del negocio ¹⁴. En la figura 2 se muestra el esquema del servicio propuesto.

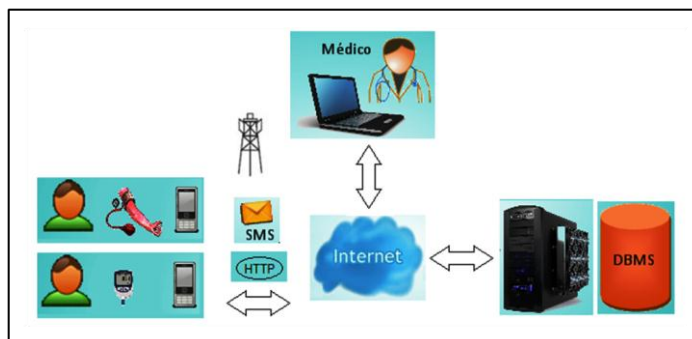


Figura 2. Concepto general del servicio de mHealth.

La aplicación móvil.

Es un software desarrollado en Java para ser ejecutado en dispositivos móviles como teléfonos celulares y tabletas electrónicas. La aplicación tiene dos versiones llamadas DrMovil.jar y DrMovil.apk, con el mismo funcionamiento.

- DrMovil.jar es compatible con varios sistemas operativos pero requiere que el dispositivo tenga como mínimo instalado previamente la máquina virtual de java KVM, la configuración CLDC1.0 y el perfil MIDP 2.0 para su correcto funcionamiento.
- DrMovil.apk es compatible con los dispositivos que tengan sistema operativo Android y la máquina virtual Dalvik.

El software DrMovil permite al usuario utilizar su dispositivo móvil para:

- Ingresar y almacenar los valores de glucosa, tensión arterial sistólica (PAS) y tensión arterial diastólica (PAD) en la memoria del dispositivo.
- Comparar los valores ingresados con los estándares mundiales de las mediciones de estas variables fisiológicas. Para la HTA se clasifican las medidas en: Normal, Pre-hipertensión, HTA1, HTA2 ¹⁵, ver cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de la hipertensión arterial ¹⁵.

Categoría	PAS	PAD
Normal	<120	<80
Pre-hipertensión	120-139	80-89
HTA estado 1	140-159	90-99
HTA estado 2	≥160	≥100

Los niveles de glucosa mg/dl se clasificaron en bajo (<80), normal (>80 y <155) y alto (>155), teniendo en cuenta el cuadro 2 ¹⁶.

Cuadro 2. Criterios de control para la diabetes mellitus ¹⁶.

Categoría	Bueno	Límite	Malo
Glucemia basal (mg/dl)	80-100	<140	>140
Glucemia después de comer (mg/dl)	80-144	<180	>180
Glucemia antes de comer (mg/dl)	100-140	<120	>140 <100

- Visualizar de forma gráfica la evolución histórica de los valores de las mediciones almacenadas.

- Enviar la información sobre las mediciones realizadas a una base de datos en Internet para ser analizada por un médico. El envío se realiza a través de la red de datos del operador de telefonía móvil celular del usuario o por medio de redes inalámbricas de áreas locales no tarifadas conectadas a Internet, si el dispositivo cuenta con este tipo de conexión.
- Enviar un mensaje de texto corto SMS con la información de la medida corporal al teléfono móvil del médico de forma automática.

Los procesos de ingresar, almacenar, comparar y visualizar, pueden ejecutarse en el dispositivo móvil de forma desconectada, pero se requiere establecer conexión en algún momento para terminar el proceso, para enviar datos al médico o, para sincronizar el teléfono con el servidor o la aplicación central.

En las figuras 3 y 4 se aprecian algunas de las pantallas de la aplicación móvil ejecutándose en un teléfono con soporte J2ME y un teléfono con sistema operativo Android.

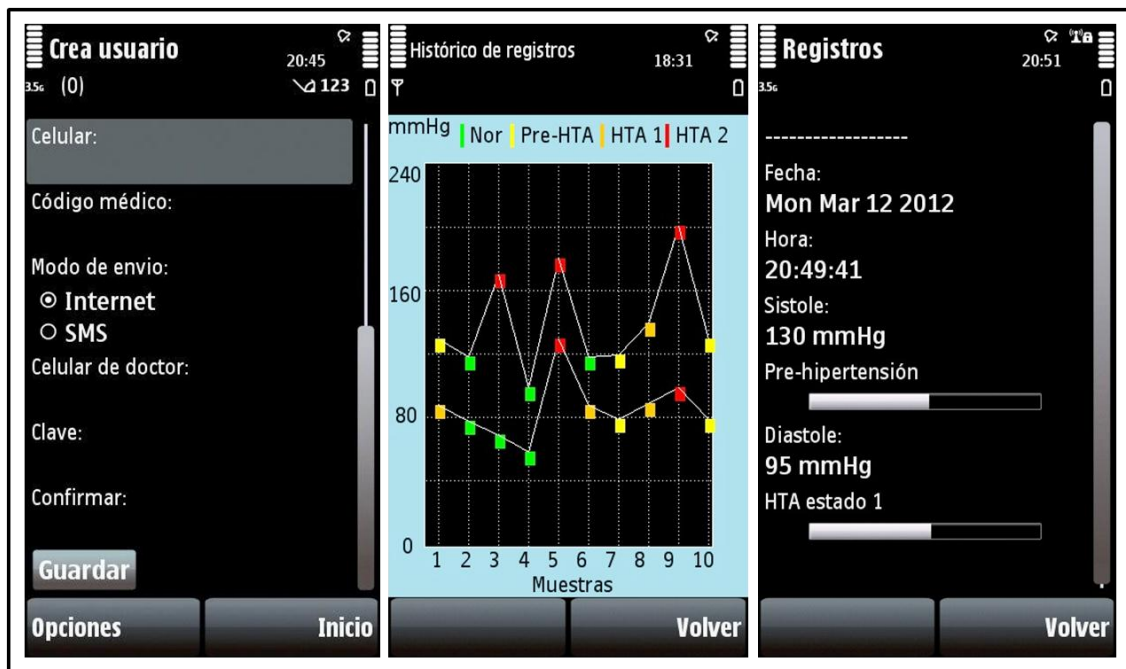


Figura 3. Algunas pantallas de la aplicación DRMOVIL.JAR.

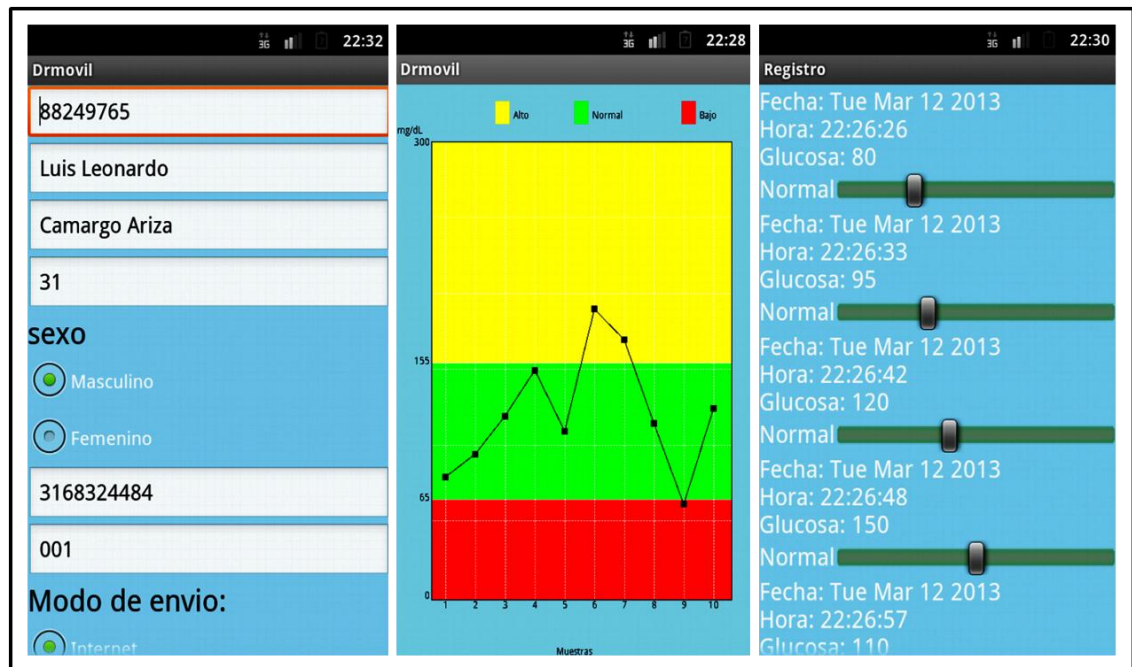


Figura 4. Algunas pantallas de la aplicación DRMOVIL.APK.

La aplicación Web.

Es un aplicativo orientado a Internet, desarrollado con tecnología Java, compuesto por una serie de JSP (Java Server Pages). La aplicación tiene dos tipos de acceso, usuario administrativo y usuario médico. Las funciones básicas de la aplicación Web son:

- Permite a los médicos del sistema acceder desde la Web a la información de las medidas fisiológicas de sus pacientes (glucosa, tensión arterial sistólica y tensión arterial diastólica), por medio de una autenticación de usuario.
- Permite a los médicos del sistema enviar desde la Web el diagnóstico al teléfono móvil del paciente, por medio de un mensaje de texto SMS, según la evolución de sus medidas.
- Permite al administrador del sistema crear y editar el perfil de los médicos del sistema.
- Permite al administrador del sistema asignar y modificar la lista de pacientes que atenderá cada médico adscrito al sistema.

En la figura 5 se muestran algunas pantallas de la aplicación ejecutándose en un explorador Web.

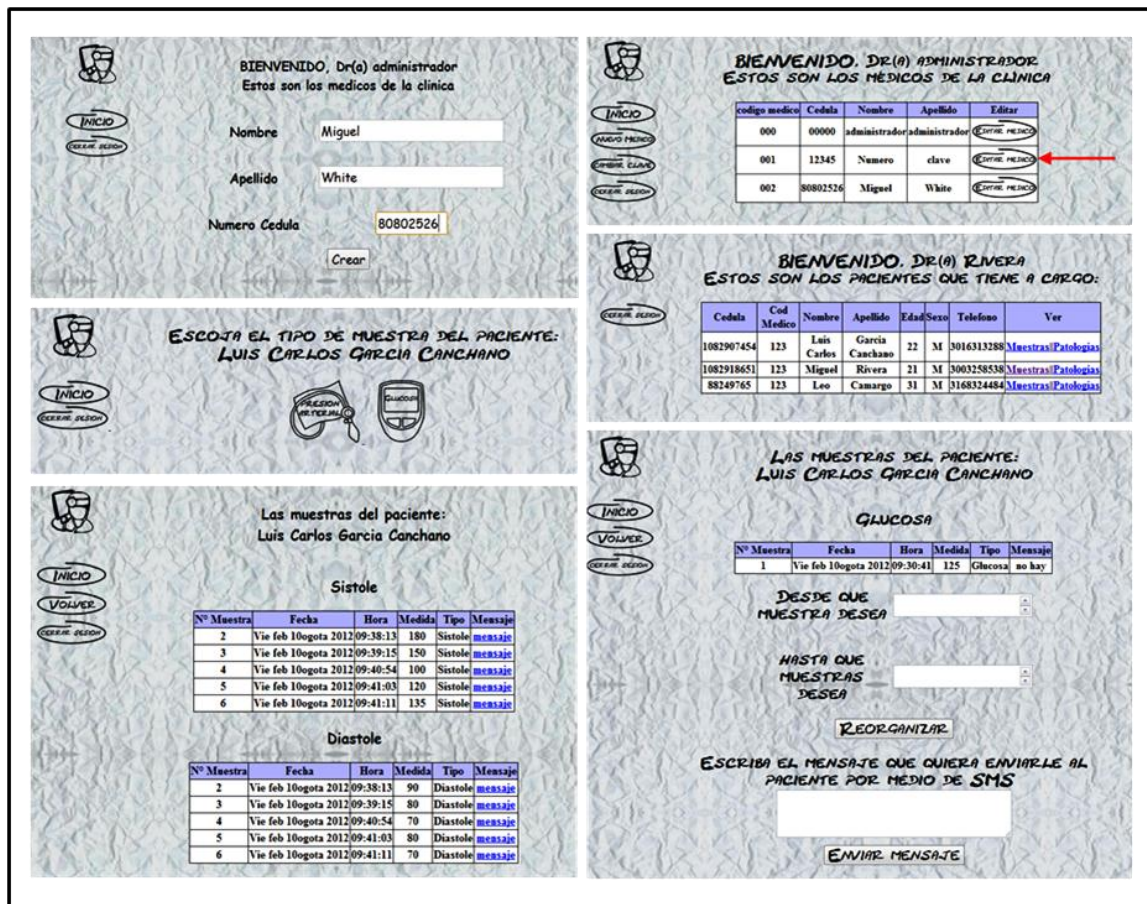


Figura 5. Algunas pantallas de la aplicación Web.

La lógica del servicio.

La lógica del servicio es implementada por un conjunto de programas en Java, estas clases interactúan con el código de interfaz y son las encargadas de gestionar la base de datos del sistema, recibir, procesar y almacenar la información enviada por la aplicación móvil y la aplicación Web según políticas de funcionamiento. En la figura 6 se muestra el diagrama de clases del API desarrollado.

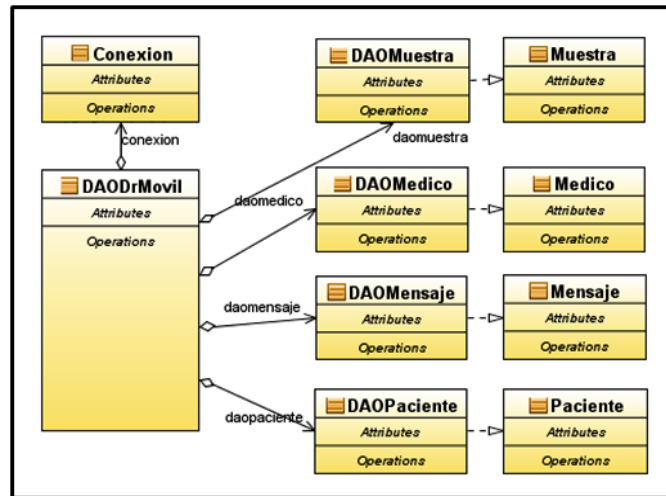


Figura 6. Diagrama de clases del API desarrollado.

La lógica y la aplicación Web del sistema se diseñaron para ser soportadas por servidores de contenedores de Servlets y JSP como Tomcat (sugerido).

La capa de almacenamiento.

El sistema de almacenamiento de información del servicio, se implementó en el sistema manejador de base de datos MySQL. En la figura 7 se aprecia el modelo entidad relación (MER) de la base de datos implementada, en ella se muestra que la base de datos la conforman cuatro tablas relacionadas entre sí, que contienen datos de los pacientes, los médicos, las muestras tomadas y los mensajes enviados por los médicos a los usuarios.

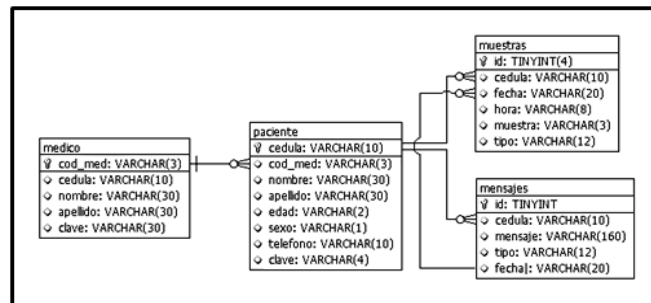


Figura 7. Modelo entidad relación de la base de datos relacional.

EVALUACIÓN DEL SERVICIO

Se realizaron pruebas del sistema y se evaluaron tres requerimientos no funcionales básicos: estabilidad, portabilidad y conexión. Es necesario que la aplicación sea estable, esto implica que no ocurran errores (excepciones) en tiempo de ejecución. La portabilidad permite que se pueda ejecutar en diferentes teléfonos móviles sin importar la marca y el sistema operativo. La conexión es el acceso a la red de datos para el envío de las mediciones al servidor. La verificación de estos parámetros evidenció un sistema a punto para ser evaluado en su funcionamiento por usuarios reales.

Se realizó una jornada de utilización del servicio en el campus de la Universidad del Magdalena; en esta jornada algunos estudiantes se tomaron muestras de glucosa o presión arterial, acompañados de estudiantes de enfermería de últimos semestres, utilizando la aplicación móvil instalada en sus teléfonos personales, con el propósito de registrar, comparar y enviar la información de las medidas tomadas al servidor para ser analizadas. De igual manera, se solicitó a los usuarios diligenciar una encuesta sobre el servicio (ver figura 8).



Figura 8. Fotos de la jornada de utilización del servicio.

Además, se envió el aplicativo por internet a una serie de personas con problemas de diabetes e hipertensión y se les solicitó diligenciar una encuesta del servicio.

Los próximos profesionales de enfermería realizaron pruebas de funcionamiento a la aplicación Web, revisando en el servidor las muestras almacenadas por los voluntarios y enviando los diagnósticos de prueba a los usuarios.

La muestra de los usuarios se enmarca en las figuras 9 y 10.

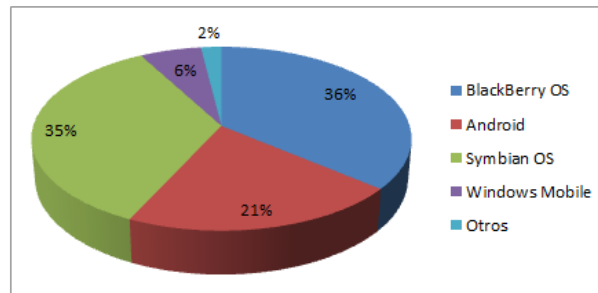


Figura 9. Población de sistemas operativos móviles.

Los usuarios con sistema operativo Windows Mobile y otros no pudieron instalar, ni evaluar el servicio.

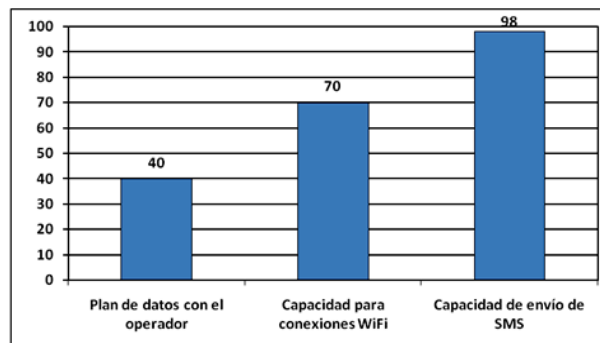


Figura 10. Tipos de servicio de envío de datos.

Los resultados de la encuesta se utilizaron para valorar el servicio, teniendo en cuenta la evaluación del potencial de éxito para servicios de tercera generación denominada 6 M's.

De la 6 M's se extrae la concepción de que las aplicaciones móviles deben garantizar el cumplimiento de las necesidades de los usuarios y al mismo tiempo generar ingresos. La 6 M's debe su nombre a los seis atributos que se miden para evaluar el éxito del servicio propuesto: Movement (Movimiento), Moment (Momento), Me (Yo), Multi-user (Múltiples usuarios), Money (Dinero) y Machines (Máquinas)¹⁷.

La evaluación del servicio se muestra en el cuadro 3, en donde a cada atributo se le asignó un valor entre 0 y 5, dependiendo que tan bien el servicio cumplió con cada uno de ellos.

Cuadro 3. Evaluación de las 6 M's del servicio.

Atributo	Definición	Valor	Justificación
Momento	El servicio debe estar disponible en cualquier instante de tiempo.	4	El paciente registra la medida en el momento requerido, pero el diagnóstico del médico depende del horario de atención.
Movilidad	El servicio debe ser móvil por naturaleza.	4	El usuario puede desplazarse y registrar la medida desde cualquier lugar, condicionado por la cobertura del operador. La atención médica está sujeta al área de cobertura del operador.
Dinero	El servicio debe tener un fin lucrativo, que favorezca al operador, al proveedor del servicio y/o al usuario.	5	La descarga de la aplicación es gratuita, pero se paga al operador por usar la red de datos. La entidad prestadora de servicios de salud (EPS) reduce costos por la atención de pacientes. El paciente reduce los costos de traslado a la EPS.
Yo	El servicio debe tener un nivel de personalidad.	3	El usuario selecciona: el médico, la interfaz de los registros almacenados y el tipo de conexión para enviar los datos.
Máquina	El servicio debe considerar las prestaciones tecnológicas (terminales y/o redes) a nivel de hardware y software.	4	El servicio sólo es soportado por celulares de gama media con tecnología Java o Android, y conexión a la red de datos. La buena interacción del usuario con la aplicación no depende de la resolución de la pantalla y tampoco del tipo de teclado del dispositivo móvil.
Múltiples usuarios	El servicio debe extenderse dentro de la comunidad y permitir la interacción de múltiples usuarios de manera simultánea.	1	La aplicación permite una comunicación en dos direcciones, pero no permite que el paciente y el médico interactúen.

CONCLUSIONES

El sistema desarrollado representa un beneficio en tiempo y costo a los pacientes que lo utilicen, brindado la posibilidad de llevar un autocontrol de su salud y evitando el desplazamiento hacia un consultorio médico en el caso que no lo necesite. De esta forma no incurren en gastos de transporte, de cuota moderadora y, les ahorra tiempo, además de guardar un histórico de valores representativos para su salud.

Con la utilización del prototipo se puede generar un diagnóstico provisional que permite agilizar el trabajo del médico. Es decir, si un paciente sufre alguna anomalía en una de las medidas tomadas del nivel de glucemia en la sangre o presión arterial, el doctor tiene la posibilidad de conocerla antes de recibir su visita; de esta manera tomará una medida correctiva oportuna cuando vea al paciente y si es el caso, realizar una consulta de emergencia si la situación lo amerita.

El uso del servicio permite identificar pacientes críticos con diabetes e hipertensión, para su atención médica oportuna, porque registra la evolución de las medidas corporales de glucosa y presión sanguínea.

El uso de herramientas libres disminuye el costo de implementación del sistema. Esto permite ofrecer a las empresas prestadoras del servicio de salud (EPS), en especial el área de promoción y prevención (PyP), un servicio eficiente, de calidad y a un costo inferior, comparado con el precio del mismo sistema implementado con herramientas propietarias y ortodoxas.

El servicio mHealth no pretende ser el reemplazo de los médicos, solo busca ser una ayuda para éstos, además de brindar beneficios a los pacientes que necesitan monitorizar constantemente su estado de salud.

El sistema desarrollado puede adaptarse para registrar cualquier medida corporal. El prototipo propuesto en este documento está diseñado para pacientes con problemas de presión arterial, hipoglucemia o diabetes. Sin embargo, con algunas modificaciones no representativas puede servir para llevar el control de otras medidas corporales, tales como, la temperatura corporal, la saturación de oxígeno en la sangre, el ritmo cardiaco, entre otras.

Para obtener una mayor compatibilidad con los sistemas operativos, la aplicación debe realizarse para Windows Mobile e iOS.

REFERENCIAS

1. ISTEPANIAN, R. S. H.; JOVANOV, E.; ZHANG, Y. T.. "Guest editorial introduction to the special section on m-health: Beyond seamless mobility for global wireless healthcare connectivity". *IEEE Transactions on information technology in biomedicine*. 2004, vol. 8, núm. 4, p. 405-412.
2. Vital Wave Consulting. *MHealth for Development: The Opportunity of Mobile Technology for Healthcare in the Developing World*. [Washington, D.C. and Berkshire, UK]: United Nations Foundation - Vodafone Foundation Partnership, 2009. 70 p.
3. ITU. *World Telecommunication ICT Indicators Database, Mobile cellular subscriptions, 2012* [en línea]. ITU World Telecommunication, 2012 [ref. de 23 de enero 2013]. Disponible en Web: <http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/material/excel/Mobile-cellular2000-2011.xls>.
4. 3G Américas. *Transition to 4G: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced* [En línea]. Rysavy Research, septiembre 2010 [ref. de 2 de febrero de 2013]. Disponible en Web: <http://www.3gamericas.org>.
5. ISTEPANIAN, R. S. H.; ZHANG, Y. T.. "Guest Editorial Introduction to the Special Section: 4G Health—The Long-Term Evolution of m-Health". *IEEE Transactions on information technology in biomedicine*. 2012, vol. 16, núm. 1, p. 1-5.
6. ZHANG, Y. T.; et al. "Cardiovascular health Informatics: Wearable intelligent sensors for e-health (WISE)". *Technologies Beyond 2020 (TTM), 2011 IEEE Technology Time Machine Symposium on, (Hong Kong 1-3 de junio de 2011)*, 2011. E-ISBN: 978-1-4577-0416-1.
7. CROMBET, Joaquín; et al. Hipertensión arterial: diagnóstico, tratamiento y control. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. La Habana: Editorial Universitaria. 2009, vol. 28, n. 1, p. 1-18.
8. DEVLIN, Thomás. *Bioquímica*. 4ª edición. Barcelona: Editorial Reverté S. A., 2006. 1219 p. ISBN: 84-291-7208-4.
9. GARCÍA, Paola; et al. Hipertensión arterial: diagnóstico y manejo. *Revista Universitas Médica*. 2004, vol. 45, núm. 2, p. 77-84. ISSN: 2011-0839.
10. International Society of Hypertension. *Healthy Lifestyle Healthy Blood Pressure* [En línea]. World Hypertension Day 2012 National Society Reports, 2012 [ref. de 22 de enero de 2013]. Disponible en Web: <http://www.worldhypertensionleague.org/Documents/WHD/2012/WHD%202012%20brochure.pdf>.
11. TIERNEY, Lawrence; MCPHEE, Stephen; PAPADAKIS, Maxine. *Current medical Diagnosis & Treatment*. International 41st edition. New York: Lange Medical Books/McGraw-Hill, 2001. 1880 p. ISBN: 978-0071376884.
12. International Diabetes Federation. *Datos IDF Diabetes Atlas Update 2012* [En línea]. Quinta edición, 2012 [ref. de 1 de marzo de 2013]. Disponible en Web: http://www.idf.org/sites/default/files/5E_IDFAtlasPoster_2012_EN.pdf
13. United States Renal Data System. *USRDS 2013 Annual Data Report, Atlas of Chronic Kidney Disease in the United States*. [USA]: National institutes of health, National institute of diabetes & digestive & kidney diseases, Division of kidney, urologic, & hematologic diseases, 2013.
14. CURRY, E.; Grace, P.. "Flexible Self-Management Using the Model-View-Controller Pattern". *IEEE Software Published by the IEEE Computer Society*. 2008, vol. 25, núm. 3, p. 84-90.
15. CHOBANIAN, Aram; et al. Seventh Report of the Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure. *Special Report, issue of Hypertension*. 2004, 104 p.

16. ALFARO, J.; SIMAL, A.; BOTELLA, F.. Tratamiento de la diabetes mellitas. Revista Información Terapéutica del Sistema Nacional de Salud, 2000. vol. 24, núm. 2. p. 33-43.
17. AHONEN, Tomi; BARRET, Joe; GOLDING, Paul. Services for UMTS, creating killer applications in 3G. West Sussex: John Wiley & Sons, 2002. 373 p.

AUTORES

Luis Leonardo Camargo Ariza, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia, lcamargo@unimagdalena.edu.co
Ingeniero electrónico de la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS) en el año 2003, Magíster en Ingeniería electrónica de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) en el año 2009, es docente del programa de ingeniería electrónica de la Universidad del Magdalena y actual director encargado del Grupo de Investigación en Desarrollo Electrónico y Aplicaciones Móviles (GIDEAM) de la misma universidad.

Miguel José Rivera Ospino, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia, gideam@unimagdalena.edu.co
Ingeniero electrónico de la Universidad del Magdalena en el año 2012, es Joven Investigador e Innovador 2013 en la modalidad Universidad – Colciencias del Grupo de Investigación en Desarrollo Electrónico y Aplicaciones Móviles (GIDEAM) de la misma universidad.

Byron Medina Delgado, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia, byronmedina@ufps.edu.co
Ingeniero electrónico de la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS) en el año 2003, Magíster en Ingeniería electrónica de la Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) en el año 2009, docente del Programa de Ingeniería Electrónica de la UFPS, investigador del Grupo de Investigación y Desarrollo en Telecomunicaciones (GIDT) de la misma universidad.