

Aplicación móvil basada en Internet de las Cosas para el acceso a datos provenientes de la planta del pie en pacientes con diabetes: Pruebas Iniciales

L. F. Moncada-Sánchez, A. Espinoza-Valdez, R. A. Salido-Ruiz

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara, México

Resumen—Una de las enfermedades consideradas de alto riesgo que afectan a millones de mexicanos es la diabetes. En el mundo hay más de 415 millones de adultos que padecen diabetes [1]. La falta de adherencia del paciente al cuidado de su salud conlleva al agravamiento de la enfermedad. A pesar de que constantemente se desarrollan nuevas tecnologías que permiten al paciente involucrarse más en su atención médica, diagnóstico y tratamiento, el cuidado de la salud en México ha seguido un mismo estándar y en los años recientes ha cambiado escasamente. El objetivo principal de la aplicación móvil presentada en este trabajo es servir como herramienta complementaria a un dispositivo médico de monitoreo continuo del pie en personas que padecen diabetes y que permita proporcionar una vía práctica y simple para recolectar, visualizar y analizar la información proporcionada por dicho dispositivo. Al concluir el desarrollo de esta aplicación se pretende que sea utilizada por médicos y pacientes para lograr una mejor comunicación y permitir a ambos conocer el estado de los estudios y monitoreos desde su dispositivo móvil. En este trabajo sólo presentan resultados de la aplicación móvil sin profundizar en el dispositivo médico que será abordada en un trabajo futuro.

Palabras clave—Aplicaciones móviles, diagnóstico, dispositivos médicos, Internet de las Cosas, pie diabético.

I. INTRODUCCIÓN

A pesar del riesgo que implica padecer diabetes en cualquiera de sus variantes, con un buen autocontrol y apoyo profesional sanitario, las personas afectadas por esta enfermedad pueden vivir una vida larga y saludable. Cuando la correcta atención médica no se encuentra a disposición de los pacientes, es posible que ocurran complicaciones que pueden llegar a ser mortales, por ejemplo, se pueden experimentar dificultades por la deficiente circulación de la sangre que se deriva del daño en los vasos sanguíneos [1]. Esto sumado con el daño nervioso que ocasiona la falta de sensibilidad en los pies es lo que desencadena un padecimiento adicional conocido como pie diabético. En esta afección surgen úlceras, ampollas o llagas, que de empeorar pueden llevar a una amputación del miembro, siendo las personas que sufren de diabetes hasta 25 veces más propensas a perder una sección de su extremidad [1] si no se da un seguimiento y vigilancia apropiados, que pueden ser fortalecidos con el uso de las tecnologías cotidianas modernas.

El uso de dispositivos móviles se ha popularizado recientemente no sólo por la portabilidad de estos, sino también porque se han desarrollado las aplicaciones móviles, que son una nueva utilidad que hasta hace poco sólo las

computadoras personales podían tener en forma de software informático, y que gracias a los sistemas operativos modernos su utilidad tiene tanto potencial como la de sus homólogos de escritorio.

Actualmente la medicina moderna permite que la atención médica sea más sencilla pero no necesariamente más práctica o cómoda para el paciente, adicionalmente, los pacientes frecuentemente no pueden consultar los datos proporcionados por los dispositivos médicos por lo que no pueden saber su desempeño en el tratamiento que estén tomando.

Las tecnologías inalámbricas han solucionado parcialmente el problema de comodidad eliminando la necesidad de utilizar cables en los dispositivos médicos, permitiendo movilidad en aparatos que la requieran. Las tecnologías inalámbricas más comunes como *Bluetooth Smart*[®] y *WiFi*[™] están presentes en la mayoría de los dispositivos móviles actuales, denominados popularmente *smartphones*, de los cuales se aproxima que hay alrededor de 60 millones en México [2].

Los dos mayores sistemas operativos utilizados son iOS de Apple, Inc. y Android de Alphabet, Inc. [3] por lo cual se ha optado por un desarrollo compatible con ambos sistemas permitiendo mayor cobertura. Aplicaciones móviles de salud comunes en estos sistemas operativos son las proporcionadas por la misma compañía encargada del desarrollo de estos últimos, en el caso de iOS se tiene Apple Health y en Android es Google Fit la aplicación correspondiente, aunque estas aplicaciones se enfocan más en el propio dispositivo móvil que en dispositivos médicos externos y utilizan información de aptitud física más que información clínica [4]. Estas aplicaciones son mostradas en la Fig. 1.

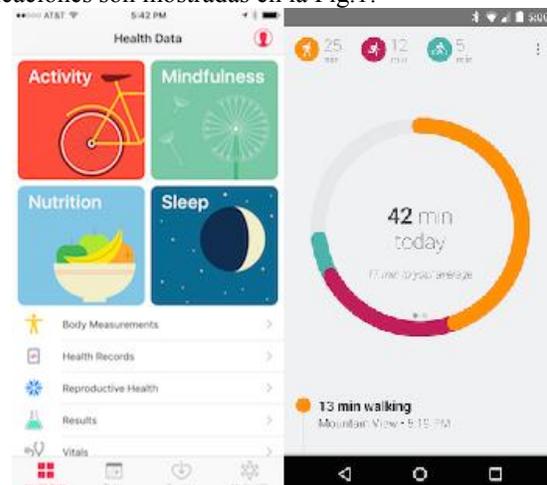


Fig. 1. Aplicaciones Apple Health y Google Fit.

Las aplicaciones actuales de información clínica permiten almacenar y desplegar datos que un doctor actualiza o crea manualmente mediante una computadora, por ejemplo, en el caso de la diabetes con cada cita médica el doctor llena las lecturas de glucosa y otros datos que visualiza directamente de sus instrumentos [4]. Un nivel superior de este tipo de modelos lo ejemplifica la aplicación comercial mySugr que se describe como un compañero inteligente para la diabetes, aunque está enfocada en informar solamente al paciente y mantenerlo al tanto de su estado [5]. Más recientemente se ha concebido una nueva modalidad de red conocida como *Internet of Things* o Internet de las Cosas (IoT), que es el modelo en el cual existe una interconexión de objetos cotidianos en una red, equipados generalmente con inteligencia omnipresente [6], generalmente se utilizan aplicaciones móviles para administrar las interconexiones y controlar dispositivos externos por la facilidad de conexión y manejo que estas tienen.

La aplicación presentada aporta una herramienta importante en el monitoreo de pacientes, complementándose el modelo de IoT anteriormente mencionado, teniendo los datos disponibles en todo momento. La aplicación mySugr, al tratarse de estadísticos, tendencias y patrones obtenidos y calculados en el propio teléfono [7], no es considerada como modelo de IoT, impidiendo que el médico directamente vea y analice dichos estadísticos.

II. METODOLOGÍA

Para integrar la aplicación dentro del modelo de conectividad de Internet de las Cosas se optó por el esquema básico mostrado en la Fig. 2.

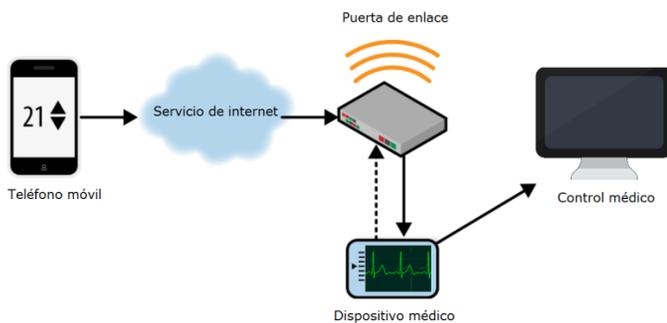


Fig. 2. Esquema básico de Internet de las Cosas. Modificado de <https://iot.do/rowland-ux-and-iot-fig-8>

Este nuevo esquema permite mejorar las características de movilidad que la medicina moderna requiere, con ayuda de las aplicaciones móviles ahora el médico puede tener acceso a información sin necesidad de trasladarse hacia sus pacientes. Como parte de sus elementos básicos el esquema tiene un medio de conectividad a Internet como cimiento principal, haciendo alusión al concepto de IoT, mediante este es posible mandar y recibir información entre los demás elementos, en el caso propuesto, un teléfono móvil y el dispositivo médico encargado de medir los parámetros

mediante sensores. El instrumento clínico de igual forma se conecta remotamente al control médico y le envía la información obtenida para su posterior observación, recopilación y análisis (ver Fig. 3).

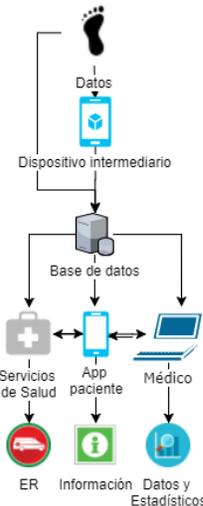


Fig. 3. Esquema de la propuesta metodológica basada en IoT.

En el diseño de aplicaciones móviles el espacio es muy importante debido al tamaño que tienen los dispositivos en los que se muestra, los elementos elegidos para aparecer en pantalla deben ser meticulosamente estudiados para optimizar el uso de la aplicación y hacer que esta tenga una utilidad elevada. Con base en esto, como estructura principal se planteó el uso de gráficas debido a la eficiencia y conveniencia al momento de representar información de forma significativa.

Al igual que los sistemas de software y aplicaciones móviles actuales, se propuso integrar la aplicación con tres elementos:

- 1) *Base de datos*: Donde se almacenarán los datos de forma remota garantizando su fácil clasificación, registro y modificación.
- 2) *Capa de acceso de datos*: Para obtener y procesar la información contenida en las bases de datos, autorización de accesos y seguridad.
- 3) *Capa de presentación*: La capa en la cual el usuario final, en este caso el médico y el paciente, visualiza la información en forma gráfica mediante la interfaz de usuario.

La base de datos se estructuró para componerse de cuatro tablas, para pacientes, médicos, registros de información y una tabla adicional para control interno. Se ha propuesto utilizar el lenguaje de consulta estructurada MySQL para la base de datos. Dentro de la base de datos también se ha propuesto utilizar datos sencillos para identificar a cada paciente registrado en el sistema: su nombre, género, fecha de nacimiento y el tipo de padecimiento que tiene.

En la capa de acceso de datos ha sido modelada de forma sencilla de modo que solo acceda a la información para transferirla de la base de datos a la capa de presentación, donde será procesada para mostrarse en la interfaz de usuario.

Para capa de acceso se ha pretendido el lenguaje PHP debido a su facilidad de conexión con el sistema MySQL para la base de datos, aunque se consideraron otras dos alternativas tecnológicamente superiores, NodeJS y MongoDB, que fueron finalmente descartados por la incompatibilidad y condiciones que se requieren para reestructurar todo el concepto de la aplicación.

Las gráficas en la capa de presentación se han propuesto con la condición de que sean visualmente adecuadas a fin de que puedan ser interpretadas de manera sencilla por cualquier usuario.

III. RESULTADOS

Se desarrolló la aplicación móvil y su correspondiente módulo de recepción de datos utilizando las tecnologías más recientes a fin de optimizar en todo momento el funcionamiento del sistema. El producto final se implementó utilizando MathWorks MATLAB® para la parte de procesamiento serial de datos para el dispositivo, siendo capaz de soportar microcontroladores en configuración personalizada u otras alternativas como Arduino.

Se diseñó un módulo que emplea la capacidad de MATLAB® de utilizar el método de variables POST, permitiendo al programa conectarse a una base de datos externa y de ese modo completar el esquema de IoT.

La segunda parte, que compone la aplicación móvil, desarrollada bajo el nombre de AppBeta, ha sido diseñada mediante el uso de PHP para consultas y procesamiento de datos y MySQL para almacenamiento, mantenimiento y manejo de información dentro de las bases de datos.



Fig. 4. Pantalla de acceso a la aplicación mediante un usuario y contraseña.

Aunque en recientes años el avance tecnológico ha permitido almacenar todo tipo de datos en la nube, el campo de la medicina aún se opone a este tipo de prácticas, ya que el ámbito médico es conocido por requerir un nivel de confidencialidad alto por las implicaciones clínicas y la naturaleza de la información manejada, al ser también un aspecto clave de la relación entre profesionales de la salud y pacientes [8]. Por esta razón se ha diseñado como estructura

básica de la aplicación un sistema de acceso controlado por contraseña que protegerá la información contenida dentro de las bases de datos. Además, se pretende cumplir lo estipulado por la ley de protección de datos, garantizando la privacidad de las personas físicas, así como sus derechos de seguridad informativa. Adicionalmente se proporcionará el correspondiente Aviso de Privacidad para dar a conocer a los involucrados en la aplicación el uso que se le dará a los datos recopilados y almacenados. De este modo se puede asegurar al paciente que su información se encuentra protegida de otros usuarios de la aplicación. En la Fig.4 se puede apreciar este portal de acceso que se muestra al abrirse la aplicación, permitiendo el acceso.

Para la interfaz de usuario se han seguido estándares de diseño que garantizan una interacción humano-máquina efectiva [9] que optimice tiempo y proporcione las características necesarias para asegurar la calidad de la aplicación como herramienta médica.

La aplicación se compone de dos módulos, el de médicos y el de pacientes para proporcionar a ambos el acceso a la información, al médico para que sea capaz de ver los registros y datos de sus pacientes en todo momento y al paciente para permitirle ver su progreso, conocer resultados y tener un medio de contacto con su médico.

Al ingresar un médico a la aplicación se ha propuesto desplegar la lista de pacientes para facilitar la alternancia con cada registro de datos que haga, de modo que pueda seleccionar con que paciente se dispone a trabajar. Lo anterior es mostrado en la Fig.5, con ejemplos de prueba.



Fig. 5. Lista de pacientes de prueba que el médico observa en la aplicación.

Al seleccionar algún paciente, se han esquematizado a manera de tarjetas las gráficas que mostrarán la información correspondiente, siguiendo nuevamente los estándares de diseño de interfaces [9].

Las gráficas pueden presentarse de la manera que resulte más apropiada para el médico, la Fig.5 muestra un ejemplo de esto, proporcionando la información de 8 sensores de temperatura colocados en plantillas integradas en un calzado especial.

En la primera gráfica se aprecia el concentrado de datos por cada día de la semana permitiendo visualizar promedios de temperatura en cada pie. La segunda gráfica permite obtener información en vivo de cada uno de los 8 sensores mediante una representación visual de cada pie, posibilitando así el monitoreo puntual por zonas, acrecentando la precisión del diagnóstico. La actualización en vivo de los datos se desarrolló basándose en consultas a la base de datos que se ejecutan cada segundo, por parte del dispositivo médico se manda la lectura de temperatura y por parte de la aplicación se obtienen los resultados y se actualizan conforme a la información, permitiendo un despliegue sincrónico de los datos entre aplicación móvil e instrumento médico.

Con base al monitoreo continuo de los valores de temperatura que la aplicación recibe, tanto el médico como el paciente pueden recibir notificaciones cuando se supere el umbral del rango normal de temperatura en base a datos experimentales [10].

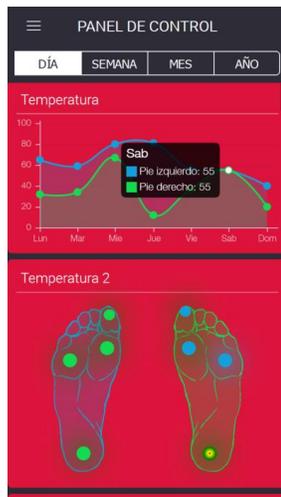


Fig. 6. Vista principal de las gráficas por paciente.

El médico puede fácilmente registrar nuevos pacientes en el sistema permitiendo iniciar registros de información de manera instantánea. Para concluir la conexión entre todas las partes del sistema, la aplicación móvil fue dotada con la capacidad de activar remotamente el monitoreo tanto en MATLAB como en la modalidad de Bluetooth, permitiendo un acceso más sencillo a los componentes y mediciones del dispositivo. Dado que la característica POST no es exclusiva de MATLAB, la interfaz entre la información proveniente de la planta del pie puede llevarse a cabo sin necesidad de este software, lo que reduce considerablemente el costo del sistema y aumenta su practicidad. Una alternativa es el Bluetooth que comunica directamente con el teléfono, pero otra alternativa planteada a futuro es mediante un módulo *WiFi*TM que conecte directamente con la base de datos.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Hasta el momento las aplicaciones móviles se han enfocado más en estar activamente conectadas con

dispositivos de uso cotidiano en los hogares de las personas, permitiendo controlar electrodomésticos, accesos e incluso dispositivos de seguridad, sin embargo, en lo que respecta al cuidado especial de la salud, que excluye actividades deportivas y recreación física, aún son escasas las aplicaciones móviles que monitorean activamente los estados de salud de pacientes en alto riesgo, como lo son aquellos que padecen diabetes. Lo anterior representa un dato alarmante si se toma en cuenta que se ha demostrado exitosamente que el seguimiento remoto de pacientes previene riesgos mayores.

Hasta el momento solo ha avanzado al modelo de análisis de información mediante aplicaciones móviles, esto implica practicidad pero carece de planteamientos dinámicos, por lo cual la aplicación denominada AppBeta que aquí se presenta resulta un instrumento conveniente en vista de las múltiples ventajas que ofrece, como proporcionar datos en vivo y que gracias a su diseño y estructura modular puede integrarse para recibir información de cualquier dispositivo médico que siga el esquema de Internet de las Cosas, proyectando así un enfoque prometedor al control, prevención y tratamiento de enfermedades mortales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Atlas de la Diabetes de la Federación Internacional de la Diabetes, IDF (7ª edición), 2015.
- [2] INEGI. *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2016*. Segundo trimestre de 2016 [en línea].
- [3] Paul Moore, (2014, Jun 1). Smartphone OS market share (29th ed.) [en línea].
- [4] Zeltia, O. *The app intelligence: Informe 50 mejores apps de salud en español* (2014).
- [5] <https://mysugr.com/> [en línea].
- [6] Mandl, Kenneth D., Joshua C. Mandel, and Isaac S. Kohane. "Driving innovation in health systems through an apps-based information economy." *Cell systems 1*, no. 1 (2015): pp. 8-13.
- [7] Xia, Feng, Laurence T. Yang, Lizhe Wang, and Alexey Vinel. "Internet of things." en *International Journal of Communication Systems 25*, núm. 9, 2012, p.1101.
- [8] Antomas, J. y Huarte del Barrio, S.. Confidencialidad e historia clínica: Consideraciones ético-legales. *Anales Sis San Navarra* [online]. 2011, vol.34, n.1 [citado 2017-07-26], pp.73-82. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272011000100008&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1137-6627.
- [9] Shneiderman, Ben. Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction. *Pearson Education India*, 2010.
- [10] Nikolaos Papanas, Konstantinos Papatheodorou, Dimitrios Papazoglou, Stamatia Kotsiou, and Efstratios Maltezos. "Association between Foot Temperature and Sudomotor Dysfunction in Type 2 Diabetes". *Journal of Diabetes Science and Technology* Vol. 4, Issue4, 2010, pp.803-807.