

Monitoreo Remoto de Pacientes con Diabetes Utilizando Tecnologías Móviles Inalámbricas

Remote Monitoring Using Diabetes Patients Wireless Mobile Technologies

Victor Manuel Morales Rocha¹, Luis Felipe Fernández Martínez¹, Jorge Enrique Rodas Osollo¹, Karla Miroslava Olmos Sánchez¹

¹Profesor Investigador del Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (México).

Resumen / Abstract

Resumen. En este artículo se revisa la situación actual de la diabetes y sus complicaciones. Algunas de esas complicaciones son consecuencia de un monitoreo inadecuado de los pacientes. Existen algunas soluciones de auto-monitoreo que permiten al paciente conocer sus niveles de glucosa, sin embargo dichas soluciones pueden ser contraproducentes ya que el paciente puede tomar decisiones erróneas en cuanto a su tratamiento. Se describe un esquema de monitoreo remoto para pacientes con Diabetes. Los niveles de glucosa y presión arterial pueden ser vigilados constantemente por profesionales de salud, a través de un centro de monitoreo y con la ayuda de aplicaciones móviles utilizadas por los médicos responsables de los pacientes.

Abstract. This work reviews the current status of diabetes and its complications. Some of these complications are the result of inadequate monitoring of patients. There are some self-monitoring solutions that enable the patient to know their blood glucose levels; however these solutions can be counterproductive because the patient may make wrong decisions about their treatment. A remote monitoring scheme for patients with diabetes is described. Glucose and blood pressure levels can be constantly monitored by health professionals, through a monitoring center and mobile applications used by physicians in charge of patients.

Introducción

La diabetes es una enfermedad crónica causada por una producción insuficiente de insulina o bien, por el uso deficiente en el organismo de la insulina producida por el páncreas. La consecuencia natural de la diabetes no controlada es la hiperglucemia, que al cabo del tiempo suele dañar gravemente diversos órganos y sistemas. Entre las consecuencias más frecuentes que se generan debido a la falta de tratamiento adecuado en la diabetes se pueden mencionar:

- Riesgo de cardiopatía y accidente vascular cerebral (AVC). Aproximadamente un 50% de los pacientes diabéticos mueren de enfermedad cardiovascular (principalmente cardiopatía y AVC).
- La neuropatía de los pies en combinación con una reducción del flujo sanguíneo incrementan el riesgo de úlceras de los pies y en algunos casos se requiere amputación.
- La retinopatía diabética es una causa importante de ceguera, y es la consecuencia del daño de los vasos sanguíneos de la retina que se va acumulando a lo largo del tiempo. Al cabo de 15 años con diabetes, aproximadamente un 2% de los pacientes sufren ceguera, y alrededor de un 10% sufren un deterioro grave de la visión.
- Insuficiencia renal. Un 10 a 20% de los pacientes con diabetes mueren por esta causa.

Según un informe de la Organización Mundial de la Salud [1] con fecha de Enero de 2011, en el mundo hay más de 220 millones de personas con diabetes. Se calcula que en 2004 fallecieron 3.4 millones de personas

como consecuencia de dicho padecimiento. Casi la mitad de esas muertes corresponden a personas menores de 70 años y un 55% corresponde a mujeres.

De acuerdo a proyecciones de algunos investigadores [2,3], en el transcurso de los próximos 20 años la prevalencia de diabetes mellitus en adultos aumentará 42% en países desarrollados y 70% en países en vías de desarrollo. Debido a esto, se estima que para el año 2025, 75% de la población de diabéticos en el mundo residirá en algún país en vías de desarrollo [4,5]. Se calcula que actualmente 25% de los casos de diabetes del mundo se concentra en residentes de América Latina y el Caribe, y 15% en Estados Unidos de América y Canadá [6].

Necesidad de Monitoreo

Una de las principales causas de muerte en el mundo es la diabetes y sus complicaciones, las cuáles suelen presentarse debido a la falta de un tratamiento adecuado o a descuidos de los pacientes. Generalmente un paciente con diabetes estable no requiere de hospitalización, sin embargo es indispensable llevar a cabo controles periódicos para vigilar su estado de salud y de esta manera prevenir complicaciones.

Entre los tratamientos de la diabetes que son factibles y económicos se encuentran:

- Control moderado de la glucemia
- Control de la presión arterial
- Cuidados podológicos

Con un control adecuado de la glucemia y la presión arterial, se pueden prevenir muchas de las complicaciones derivadas de la diabetes. Existen sin embargo algunas complicaciones de emergencia que se presentan cuando el paciente llega a tener niveles altos de glucemia. Las complicaciones de emergencia abarcan [7]:

- Coma diabético hiperosmolar hiperglucémico
- Cetoacidosis diabético

Los factores que causan estas complicaciones severas pueden ser consecuencia de errores, omisiones o ausencia de tratamiento, infecciones (urinarias, respiratorias, gastrointestinales), cambios en hábitos alimenticios o de actividad física, cirugías o traumatismos, entre otros.

Por otro lado, una de las complicaciones agudas de la diabetes es la hipoglucemia, que consiste en una concentración baja de glucosa en la sangre. La hipoglucemia generalmente se presenta como consecuencia de una inadecuada administración de insulina o de medicamento oral antidiabético y es especialmente peligrosa en niños pequeños, ya que puede afectar al desarrollo cerebral.

A fin de evitar la mayoría de los riesgos descritos previamente, es importante monitorear de forma constante los niveles de glucemia y presión arterial en pacientes diabéticos. Debido a que en la gran mayoría de los casos los pacientes no requieren permanecer en un hospital, resulta apropiado implementar controles de monitoreo remoto.

Soluciones Actuales al Monitoreo

Actualmente se cuenta en el mercado con diversos dispositivos que permiten realizar el automonitoreo del nivel de glucosa en cualquier lugar en que se encuentre el paciente. Estos dispositivos de medición son conocidos como glucómetros. El procedimiento común consiste en generar una pequeña muestra de sangre haciendo uso de una lanceta. La sangre es entonces aplicada sobre una tira reactiva que se encarga de analizar la muestra y los valores son mostrados en una pequeña pantalla integrada al glucómetro.

Recientemente se encuentran en proceso de pruebas algunos glucómetros no invasivos basados en pequeñas descargas eléctricas o bien en infrarrojos para captar el nivel de glucosa.

Estas soluciones de auto-monitoreo presentan algunos inconvenientes. Por ejemplo, si una medición resulta en niveles de glucosa anormales, es posible que el paciente decida simplemente automedicarse o aplicar una dosis específica de insulina, cuando en algunos casos se requerirá además de atención médica urgente.

En el caso de la medición de la presión arterial, actividad esencial para pacientes diabéticos, existen dispositivos portátiles llamado baumanómetros o esfigmomanómetros. De estos derivan los mismos inconvenientes que se presentan en los glucómetros. El automonitoreo en ocasiones no es suficiente para que el paciente reciba el cuidado médico oportuno.

En el campo de la telemedicina se han propuesto diferentes esquemas de atención a pacientes con diabetes. La mayoría de estas soluciones se basan en un entorno Web y tratan más el tema de las consultas remotas que un monitoreo constante del paciente. Entre estos trabajos se pueden destacar los descritos en [8 y 9].

Monitoreo Remoto con Tecnología Inalámbrica

En los últimos años, los sistemas de comunicación inalámbrica han evolucionado de tal manera que las personas pueden estar conectadas a una red en cualquier momento y en cualquier lugar. Entre estos sistemas se encuentran las tecnologías de comunicación inalámbrica de largo alcance como son las redes de telefonía móvil así como los enlaces satelitales.

Las redes de comunicación inalámbrica puedan proporcionar ventajas importantes al monitoreo remoto

de pacientes. El paciente puede ser monitoreado desde cualquier lugar en donde se cuente con algún tipo de cobertura celular o satelital. Además, la transmisión de información no solamente se dirige hacia unidades médicas sino que dicha información también puede llegar directamente a los médicos pertinentes a través de dispositivos comunes como son los teléfonos móviles.

Las herramientas empleadas para llevar a cabo el telemonitoreo deben ser accesibles en todos los sentidos, es decir, deben ser herramientas comunes para el paciente y fáciles de adquirir y utilizar. El esquema de monitoreo remoto propuesto consta de dos partes: el entorno del paciente y el entorno de monitoreo, como se muestra en la figura 1.

un receptor localizado en el propio entorno del paciente. Esta comunicación se puede realizar a través de los estándares de comunicación inalámbrica de corto alcance como WiFi, Bluetooth o Zigbee. Los dispositivos de medición considerados son el glucómetro y el baumanómetro.

- *Receptor-transmisor*, que tenga la capacidad de recibir como entrada la información proveniente de los dispositivos de medición, y que transmita dicho valor de una manera segura a una base de datos controlada por el centro de monitoreo hospitalario. El dispositivo también podrá recibir y desplegar recomendaciones médicas específicas. La comunicación entre el receptor-transmisor y el centro de monitoreo se puede llevar a cabo a través de una red de telefonía móvil o bien con el uso de un enlace satelital. Este dispositivo debe ser fácilmente portable a fin de que el paciente pueda llevarlo consigo de un lugar a otro.

Para fines prácticos, el dispositivo receptor-transmisor puede ser un teléfono móvil con las características descritas.

El equipo debe tener capacidad de recepción de señales vía inalámbrica compatible con el dispositivo de medición. Por ejemplo, debe contar con bluetooth para poder recibir información proveniente de un dispositivo de medición que utiliza la misma tecnología de comunicación inalámbrica.

Además, el teléfono móvil debe tener la capacidad

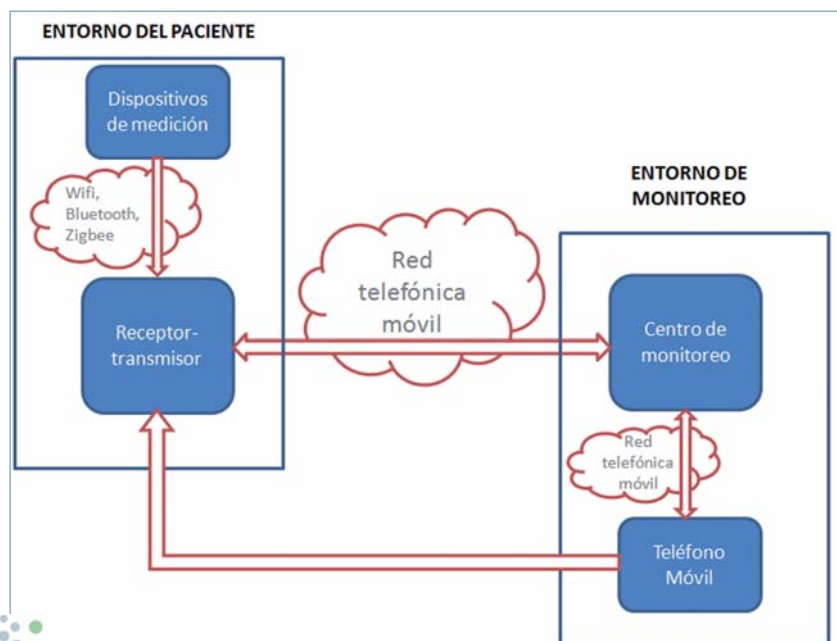


Fig. 1. Ejemplo de esquema de monitoreo remoto

Entorno del Paciente

Éste puede ser el hogar o el lugar de trabajo del paciente. El esquema considera los siguientes elementos:

- *Dispositivos de medición*, capaces de adquirir y transmitir los valores a través de una comunicación inalámbrica hacia

de ejecutar aplicaciones de manera nativa o a través de un navegador Web.

Entorno del Monitoreo

Por su parte, en el entorno de monitoreo se debe contar con los siguientes elementos:

- *Servidor de Base de datos*, que registra los valores recibidos del entorno del paciente, así como recomendaciones y prescripciones médicas.
- *Software instalado en el centro de monitoreo* que recibe los valores transmitidos y los despliega. El software además emite alarmas en caso de que un valor recibido se encuentre fuera de lo que se considera normal. Estas alarmas pueden ser además enviadas al teléfono móvil del médico a cargo del paciente y/o a los padres en el caso de pacientes infantiles, a fin de que puedan recibir la información de una manera oportuna.
- *Aplicaciones móviles*, para llevar a cabo el monitoreo a través de teléfonos móviles así como la recepción de alertas cuando algún parámetro salga de los límites especificados. Los médicos también tendrán la capacidad de enviar a los pacientes diversas recomendaciones por este medio de comunicación. Estas aplicaciones pueden ser nativas, es decir, instaladas y ejecutadas directamente en los teléfonos móviles, o bien, aplicaciones web/wap en cuyo caso el teléfono celular interactúa con la información a través de un navegador.

La figura 1 muestra un ejemplo de esquema de mo-

nitoreo remoto, en donde la comunicación entre el dispositivo de medición y el receptor-transmisor se lleva a cabo a través del protocolo Bluetooth y la comunicación hacia el centro de monitoreo se realiza utilizando una red telefónica móvil.

Actualmente, en la Universidad de afiliación de los autores se está iniciando el desarrollo de un sistema de monitoreo como el descrito en esta sección. Siguiendo las directrices mencionadas, el sistema se compone de varios elementos y aplicaciones cuyas características se describen a continuación.

1. **Dispositivos de medición.** Se utilizará un glucómetro digital comercial con capacidad de transmisión vía Bluetooth. El baumanómetro posee las mismas características de transmisión.
2. **Aplicación móvil del paciente.** Se desarrollará una aplicación para ser instalada en teléfonos móviles con plataforma Android y con conexión Bluetooth. La aplicación captará los valores de glucosa y presión arterial en cada medición, provenientes de los dispositivos de medición. Estos valores se almacenarán localmente y se enviarán automáticamente a través de la red de telefonía móvil a la base de datos central para ser explotados por las demás aplicaciones. A través de esta aplicación el paciente podrá recibir recomendaciones médicas. Se seleccionó la plataforma Android por contar con teléfonos móviles de bajo costo comparado con otros smartphones.
3. **Base de datos.** Utilizando el manejador de bases de datos MySQL, se diseñará la base de datos que recogerá y

almacenará toda la información del sistema.

4. Aplicación Web. El centro de monitoreo contará con una aplicación Web desde la que se podrá estar consultando en tiempo real los valores medidos y transmitidos desde el entorno del paciente. De manera muy gráfica y a través de alertas se visualizará cuando existen valores fuera de rango a fin de poner atención a ellos. En la misma aplicación se podrán realizar consultas de valores históricos.

5. Aplicaciones móviles para los médicos. Se desarrollarán aplicaciones para diferentes plataformas, incluidas Android, BlackBerry y iOS. La intención es que los médicos puedan tener acceso, desde cualquier lugar, a la información de los pacientes desde sus dispositivos móviles. En cualquier momento el médico a cargo de un paciente puede consultar los valores históricos de los pacientes. El médico recibirá también alertas cuando algún valor exceda los límites considerados normales de glucosa y presión arterial. Además, el médico puede a través de la aplicación enviar recomendaciones o prescribir medicamentos o dosis específicas al paciente cuando lo considere pertinente, las cuáles podrán ser vistas por el paciente en su aplicación móvil. Toda la información enviada por el médico será registrada en la base de datos a fin de conservar evidencia de la misma.

El conjunto de elementos descritos constituye un en-

torno de monitoreo de pacientes con diabetes de una manera eficiente. El mismo concepto puede ser fácilmente aplicable al monitoreo de pacientes con otras necesidades de atención.

Seguridad en la Información Clínica

Un tema que no se puede dejar de lado es la importancia de mantener segura la información clínica. En el caso de la información generada y transportada a través de medios electrónicos debe ser tratada cuidadosamente a fin de cumplir diferentes objetivos de seguridad como los descritos en [10]. Dichos objetivos se explican en la tabla 1.

Las comunicaciones inalámbricas pueden presentar serias deficiencias para mantener la información segura, ya que aún cuando los protocolos comunes de comunicación implementan sus propios mecanismos de seguridad, éstos no previenen algunos tipos de ataques.

Objetivo	Descripción
1. Autenticación	Es el proceso de identificar al cliente de la aplicación o servicio. Los clientes pueden ser tanto personas, como otros servicios, procesos y dispositivos.
2. Confidencialidad	Consiste en asegurar que a la información solo accede quien está autorizado para ello.
3. Integridad	Conjunto de acciones que garantizan que la información no se ha transformado durante su procesado, transporte o almacenamiento.
4. Disponibilidad	Forma parte de la seguridad el poder disponer de la información cuando se necesite. Por ello se deben proteger los sistemas de forma que se mantengan en funcionamiento y se pueda acceder a la información en cualquier momento.
5. Auditoría	Es la posibilidad de rastrear los accesos realizados a la información y las operaciones hechas sobre ella por cada usuario.

Para cumplir con dichos objetivos de seguridad en un esquema de monitoreo remoto como los descritos previamente, es necesario implementar mecanismos eficientes que contribuyan a mantener la información segura en cada aspecto. El uso de técnicas de control de acceso facilitará el hecho de que solamente intervengan usuarios y dispositivos autorizados en el esquema. Por su parte, la implementación adecuada de protocolos criptográficos permitirá mantener protegida la información contra manipulaciones y lecturas no autorizadas. La elección y aplicación de dichos protocolos dependerán del medio de comunicación utilizado.

Los elementos empleados en el esquema de monitoreo (físicos y lógicos) deben tener una alta disponibilidad, ya que el funcionamiento inadecuado o la falta de respuesta de cualquiera de ellos podría conllevar alguna situación crítica. Para lograr la disponibilidad deseada se deben evaluar cuidadosamente los dispositivos y los medios de comunicación empleados.

Además, cada uno de los elementos del esquema de monitoreo deberá conservar un registro no manipulable de cada una de las acciones realizadas, de esta manera se pueden detectar manipulaciones e incluso en algunos casos prevenirlas.

Como un paso previo al desarrollo de las aplicaciones descritas en la sección anterior, se está trabajando actualmente en el desarrollo de esquemas de seguridad para el monitoreo remoto de pacientes a través de redes inalámbricas. De esa manera, los esquemas de seguridad resultantes serán aplicados al desarrollo e implementación del sistema propuesto.

Conclusiones

Un esquema de monitoreo remoto de pacientes puede prevenir consecuencias graves que se originan usual-

mente debido a la falta de detección y por lo tanto de atención oportuna.

El amplio desarrollo de las tecnologías de comunicación inalámbrica de corto y de largo alcance pueden ser aprovechadas para el diseño de sistemas de monitoreo remoto de pacientes. Los elementos descritos en este trabajo componen un esquema eficiente que permite vigilar de una manera constante el estado de los pacientes diabéticos. Sin embargo, dichos esquemas pueden ser ampliamente utilizados para el monitoreo remoto en diferentes situaciones clínicas.

Al tener en cuenta los principios de seguridad descritos, se logra intercambiar y mantener la información clínica de una manera segura.

Referencias

1. Nota descriptiva N°312. Enero de 2011. Organización Mundial de la salud. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs312/es/index.html>.
2. Salinas-Martínez A., Muñoz-Moreno A., Barraza-de León E., Villarreal-Ríos G., Núñez-Rocha, Garza-Eli-zondo M. "Necesidades de Salud del diabético usuario del primer nivel de atención". *Salud Publica Mex* 2001;43(4):324-335.
3. King H., Aubert RE, Herman WH. "Global burden of diabetes, 1995-2025: prevalence, numerical estimates, projections". *Diabetes Care* 1998; 21:1414-1431.
4. Collado-Mesa F, Vidal Rivalta MG, Durruty-Esparra-guera V., Sordo-Rivero ME, Montero-Silva RM. "Diabe-tes mellitus como causa básica de muerte". *Revista Cubana de Endocrinología* 1998;9(3):184-193.
5. American Diabetes Association. "Economic Costs of Diabetes in the US in 2002". *Diabetes Care* 2003;26:917-932.
6. Boletín de la OMS. *La Revista Internacional de Salud Pública*. Artículo # 2, 200:141-142.
7. Web de MedLinePlus (servicio de la Biblioteca Na-cional de Medicina de EE.UU). Disponible en: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001214.htm>
8. Kari Harno, Ritva Kauppinen-Makelin and Juha Syrjalainen. "Managing diabetes care using an inte-grated regional e-health approach. *Journal of Teleme-dicine and Telecare*. Volume 12, Supplement 1. Pp. 13-15. 2006.
9. Ferrer-Roca, O., Franco Burbano, K., Cárdenas, A., Pu-lido, P. and Diaz-Cardama, A. "Web-based diabetes control". *Journal of Telemedicine and Telecare*. Volume 10, Number 5. Pp. 277-281. 2004.
10. Garbayo Sánchez, José Antonio., Sanz Ureta, Jokin. "La seguridad, confidencialidad y disponibilidad de la información Clínica". El informe SEIS "La seguridad y confidencialidad de la Información clínica". Pp. 257-286. Pamplona, España. Diciembre 2000.



RevistaeSalud.com es una publicación electrónica que intenta promover el uso de TICs (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones) con el propósito de mejorar o mantener la salud de las personas, sin importar quiénes sean o dónde estén.

Edita: FESALUD – Fundación para la eSalud
Correo-e: cperez@fesalud.org
ISSN 1698-7969



Los textos publicados en esta revista, a menos que se indique lo contrario, están sujetos a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 2.5 de Creative Commons. Pueden copiarse, distribuirse y comunicarse públicamente, siempre que se citen el autor y la revista digital donde se publican, RevistaeSalud.com. No se permite su uso comercial ni la generación de obras derivadas. Puede consultarse la licencia completa en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/deed.es>