

# APLICACIÓN DE CÓMPUTO MÓVIL Y PERVASIVO PARA EL MONITOREO NO INVASIVO DE LA DIABETES EN TIEMPO REAL

*PhD. Luis Enrique Colmenares-Guillen,*

*PhD. Maya Carrillo Ruiz*

*Edilberto Huerta Niño*

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias de la Computación, Ciudad Universitaria, Puebla, México

---

## Abstract

Given the alarming increase of people with diabetes in the world, they are looking for different alternatives, using as many available technological resources and thus have an efficient monitoring of this noncommunicable disease (NCD). This paper presents a viable alternative, to have an efficient and non-invasive monitoring, using free software and hardware, such as, Android and Arduino. As well as various non-invasive, such as GSR (Galvanic Skin Response), to measure glucose levels, accelerometers to determine the location of the person body, PulseOximeters, to determine each patient's pulse and GPS sensors, is a Global Positioning System, it helps to have the geographic position of the person. Each of these sensors interact with the system in general, with the purpose of create a pervasive environment, where the user can have a monitoring and control of diabetes and pulse additionally its position and geographical location.

---

**Keywords:** Diabetes, Non-Invasive, Pervasive

---

## Resumen

Dado el alarmante aumento de personas con diabetes en el mundo, se están buscando diferentes alternativas, utilizando la mayor cantidad de recursos tecnológicos disponibles y así, tener un monitoreo eficiente de esta enfermedad no transmisible (ENT). Este trabajo, presenta una alternativa viable, para tener un monitoreo eficiente no invasivo, mediante la utilización de software y hardware libre, como son, Android y Arduino. Así, como de diferentes sensores no invasivos, tales como GSR (Respuesta Galvánica de la Piel), para medir los niveles de glucosa, Acelerómetros, para determinar, la ubicación corporal de la persona, Pulsioxímetros, para

determinar el pulso de cada paciente y GPS, es un Sistema de Posicionamiento Global, que ayuda a tener la posición geográfica de la persona. Cada uno de estos sensores interactúan con el sistema en general, con la finalidad de crear un ambiente pervasivo, donde el usuario pueda tener un monitoreo y control de la diabetes y de su pulso, además, de su posición y ubicación geográfica.

---

**Palabras-Clave:** Diabetes, No-Invasivo, Pervasivo

### **Introducción**

En la actualidad los dispositivos móviles se han vuelto un elemento indispensable en las vidas de las personas debido al dinamismo y movilidad del entorno, además que el estar comunicado en todo momento y en algunos casos tener acceso a entretenimiento, redes sociales, herramientas, entre otros, son algunos beneficios que la telefonía celular lleva a los usuarios. Por esta razón estos dispositivos representan una plataforma idónea para desarrollar aplicaciones médicas. Por otro lado es bien sabido que la diabetes es una Enfermedad No Transmisible, que ocupa un lugar importante como problema de salud en México y cuyo principal problema radica en la falta de atención de dicha enfermedad por parte de los enfermos, en este sentido, las aplicaciones móviles aportan un valor agregado, como dispositivos de prevención y control de esta ENT.

En cuanto a obtener muestras de sangre, hay hábitos que deben de ser cambiados a la brevedad posible, como son los métodos invasivos para poder determinar los niveles de glucosa. Estas técnicas resultan ser más eficientes, aunque son las que más riesgos aportan, ya que puede ocurrir negligencia por parte del personal médico o falta de cuidado del mismo paciente, razón por la cual se están buscando métodos alternativos que aseguren, la integridad de la personas y cuyas garantías las ofrecen los métodos no invasivos. Actualmente existen prototipos que pueden permitir la medición, tal como *Monitor™ C8 Medisensor*, *GlucoTrack DF-F*, así como también los diferentes métodos mencionados en (Thomas, Ramirez, Zehe, 2014), que incluyen métodos electroquímicos y físicos, tales como absorción, dispersión, polarización, fluorescencia, dispersión raman, fotoacustica, impedancia, entre otros, sin embargo como se menciona en dicho trabajo, que estos métodos aun necesitan ser mejorados dado la relación señal-ruido provocando que los resultados no sean de lo más favorables. Se tienen métodos más específicos, que se muestra en (Akesh Govada, Renumadhavi, Ramesh, 2014), el cual se basa en el principio de espectroscopia cerca del infrarrojo, (NIR) por sus siglas en inglés, la cual se basa en la utilización de luz centrada en el cuerpo, la cual como se menciona en dicho estudio es absorbida y dispersada debido a la interacción con los componentes químicos dentro del tejido, de esta

manera los niveles de glucosa se determinan de acuerdo a la variación de la intensidad de la luz. Otro método que varía del anterior, es el presentado en (Aguila Jurado, 2014), donde se tiene una aproximación a un prototipo para determinar el nivel de glucosa de forma no invasiva, mediante los datos obtenidos por el sensor GSR y cuya aplicación se utiliza en este trabajo de investigación considerando otros sensores, como acelerómetro, GPS y Pulsioxímetro, así como una de las herramientas de hardware libre como Arduino.

Se plantea como objetivo principal de este estudio la fusión de dos tecnologías importantes como son hardware libre y dispositivos móviles, Arduino y Android, proyectos Open-Source, tanto de hardware como de software respectivamente. La aportación de este trabajo contribuye al desarrollo de herramientas que permiten a los pacientes que padecen de una ENT como la diabetes, tener un control más eficiente de la enfermedad. Además, se utilizó un método no invasivo, y con el cómputo móvil se generó una aplicación de cómputo pervasivo que se integró con una serie de sensores externos interconectados entre sí, dando como resultado un sistema eficiente y de bajo costo.

### **Trabajo Relacionado**

#### **Sistema DIABTel**

DIABTel es un sistema que proporciona información para la administración de pacientes y apoya para la toma de decisiones a través de cuatro servicios principales: telemonitoreo de los parámetros principales del cuidado de la diabetes (glucosa en la sangre, dieta, dosis de insulina, actividad física), telecuidado (consulta y supervisión), acceso remoto a la información y herramientas para la administración del conocimiento. En experiencias previas DIABTel fue efectivo, mejorando la integración paciente-doctor, visualización de los datos y confianza de los pacientes por la auto administración debido a la constante supervisión de los profesionales.

La asistencia inteligente (SA) por sus siglas en inglés, apoya a ambas estrategias de supervisión la personal y a control remoto por los profesionales del cuidado de la salud a través de un servidor central de telemedicina (TMCS). La transferencia de información puede ser activada por el paciente en cualquier momento a través de la unidad móvil del paciente, a un servicio general de paquetes vía radio (GPRS) basado en asistencia inteligente para apoyar a las estrategias personales y control remoto, supervisado por médicos a través del sistema de Telemedicina. La arquitectura de asistencia inteligente incluye funcionalidades para administrar datos como: registro electrónico, metodologías basadas en reglas del conocimiento, generación de asesoramiento para confiar en los simuladores de pacientes diabéticos, servicio de correo electrónico y

visualización. La edición de las mediciones de glucosa en la sangre incluye tiempos específicos de medición e intervalos de tiempo entre las mediciones. Para monitorear los datos almacenados en el TMCS puede ser descargado a la base de datos del asistente inteligente a través del proceso de sincronización y viceversa. El escenario gráfico multiparamétrico, muestra una rápida revisión de los estados metabólicos de los pacientes, proporcionando información de interés y apoyando en el proceso de toma de decisiones: variables tales como glucosa en la sangre, dieta y dosis de administración de insulina pueden ser visualizadas (De Leiva, Hernando, 2009).

Los asistentes inteligentes también pueden permitir comunicación con diferentes dispositivos médicos como bombas de insulina y medidores de glucosa, para descargas automáticas.

### **Sistema Glooko**

Glooko es un sistema compuesto de una aplicación web y una aplicación móvil, dicho sistema permite llevar el control de los medicamentos, la actividad física, datos biométricos e ingesta de alimentos , además de que es posible conectarlo con una serie de glucómetros y bombas de insulina.

Su funcionamiento es muy simple, la aplicación móvil permite sincronizarse con una serie de glucómetros y bombas los cuales a su vez son actualizados en la aplicación web, de esta manera el equipo encargado del cuidado de la salud del paciente puede observar el estado del mismo y en base a eso generar las decisiones adecuadas. En dicha aplicación tiene interfaces graficas las cuales dan una referencia del comportamiento del paciente con relación a sus niveles de glucosa e ingesta de insulina.

Además, como se menciona en (Dehaaff, 2015), dicho sistema tiene la ventaja de utilizar el monitoreo remoto, el cual ofrece atención inmediata, ahorra costos del sistema, reduce la necesidad de equipo extra, reduce la perdida de trabajo y reduce costosos incidente, además de que cuenta con la autorización de la Agencia de Alimentos y Medicamentos de los EEUU (FDA), como desventaja se puede citar que dicho sistema depende aún de medios invasivos para la obtención de muestras de los niveles de glucosa.

### **Diseño de Cuna Resonante Basada en Arduino**

La calidad de sueño actualmente se ha vuelto un factor importante en la vida de cada una de las personas, sobre todo en la de los infantes como se menciona en (Chun-Tang, Chia-Wei, Juing-Shian, Chi-Jo, 2015), que presentan un diseño de una cuna resonante basada en la plataforma Arduino como núcleo central del diseño.

En el diseño se plantea, crear una cuna inteligente, que inicia con un balanceo en cuanto reconoce los lloriqueos del bebé, para ello se emplea la plataforma Arduino como medio principal de procesamiento, así la plataforma se encarga de procesar los sonidos obtenidos a partir de un micrófono instalado en la cuna, este procesamiento se lleva a cabo en tiempo real mediante hardware, para posteriormente activar los motores encargados de oscilar la cuna y detenerse en cuanto el bebé se calma, se consideran acelerómetros cuya función principal es registrar el ángulo de oscilación, y además tiene un circuito ADC para calcular el voltaje de salida. También se tienen conectados LCD, botones y transistores, encargados del control del módulo de ventiladores.

El diseño aquí propuesto se basó en el modelo de tarjeta Arduino UNO, sin embargo este diseño puede ser expandido mediante los modelos más avanzados de la plataforma Arduino, tales como la Mega, Leonardo, Yún, entre otros modelos, con la finalidad de lograr una integración completa con cámaras IP, monitoreo en tiempo real, conexión a internet, entre otras opciones, y se tenga como resultados una integración al internet de las cosas.

### **Sistema de Monitoreo de Gas en las Minas de Carbón Basada en Arduino**

El monitoreo de la concentración de gas en las minas de carbón se ha vuelto un tema de investigación importante, debido al gran porcentaje de accidentes, ya que como se menciona en (Huichun, Chaojun, Junwen, Mingkun, 2015), asciende a más del 70% los accidentes provocados por dicha concentración de gas.

En este trabajo, se propone un método capaz de llevar a cabo el monitoreo de la concentración de gas en tiempo real, cuyo modulo central de procesamiento es la plataforma Arduino, debido a que representa una alternativa de bajo costo, fácil operación y flexibilidad. La plataforma Arduino constituye el principal elemento, en el cual se lleva a cabo el procesamiento de la señal recibida del sensor encargado de la concentración de gas, que es el sensor MQ-4, posteriormente una vez realizado el procesamiento de las señales en la tarjeta Arduino, se transfieren al sistema encargado de la administración de los datos del gas en tierra, esto mediante la tecnología ZigBee y posteriormente, el sistema decide si se activa una alarma, que consiste en la activación de luces y sonidos.

Cabe mencionar que el sistema también cuenta con la posibilidad de registrar datos en tarjetas SD como medio de respaldo, así como poder visualizar los datos en un LCD, todas estas interacciones mediante la plataforma Arduino.

## Metodología para la Propuesta Solución

La solución principal consiste en crear una aplicación móvil capaz de conectarse de manera remota a un servidor web. El cual alojará una base de datos con toda la información del paciente, que se presentaría en tiempo real, y actualizada, como es el historial médico, control y programación de citas, tipos de medicamentos suministrados e información relacionada al personal médico. La aplicación representa un medio de consulta de información relevante al paciente, y además se tiene la capacidad de conectarse de manera directa a sensores capaces de realizar diferentes mediciones como es el caso del Pulsioxímetro (SPO2), con el cual es posible determinar el pulso del paciente, también se tiene conexión con un Acelerómetro, con la finalidad de poder obtener la posición corporal del paciente, entre las cuales se pueden encontrar:

- Recostado de lado derecho.
- Recostado de lado izquierdo.
- Sentado.
- Recostado boca abajo.
- Recostado boca arriba.

Los valores obtenidos del acelerómetro y del Pulsioxímetro se obtienen utilizando una biblioteca especializada de Arduino con su shield de e-Health. Con el GPS, se busca obtener la posición geográfica del paciente, dichos datos viene en la trama recibida por receptor de GPS y estandarizados por la norma NMEA (SiRF Technology. 2005) y finalmente el sensor de Respuesta Galvánica de la Piel (GSR), el cual es capaz de obtener la conductividad eléctrica de la piel, la cual como se menciona en (Schulte-Mecklenbeck, Kuehberger, Ranyard, 2011), puede variar debido a diferentes fenómenos y no refleja un proceso psicológico simple, de ahí que se requiere un método capaz de proporcionar una aproximación para poder ser utilizado en la detección de los niveles de glucosa y cuyo método aquí ocupado es el propuesto en (Aguila Jurado, 2014), el cual consiste en una relación matemática a partir de los datos obtenidos del sensor, como son conductancia y resistencia, de esta manera dicha relación está dada por la siguiente ecuación:

$$(1) \quad f(x) = (x * 100)^2$$

Dónde:

- $f(x)$ : valores de resistencia obtenidos a partir del sensor GSR
- $x$ : valores de glucosa medidos en mmol/l

Al realizar los despejes pertinentes de (1), obtenemos la siguiente ecuación:

$$(2) \quad x = \frac{\sqrt{f(x)}}{100}$$

Con lo cual se obtiene como resultado los niveles de glucosa en mmol/l.

Todos los sensores ya mencionados (GSR, GPS, Pulsioxímetro y Acelerómetro), se encuentran en comunicación con la aplicación móvil a través de una de las tecnologías como lo es Arduino, la cual mediante su modelo Mega ADK y el Shield e-Health, tiene una conexión directa con el sistema Operativo Android mediante la biblioteca SDK, Software Development Kit de Google.

Dentro de la metodología, se realizó un análisis de SART (análisis estructurado de tiempo real) del sistema mediante una serie de diagramas los cuales describen el comportamiento y relación de los elementos que lo conforman, un diagrama de contexto en un nivel 2, un diseño de Lacatre, árbol de fallas y un diagrama general del sistema. Además, que se realizaron los diagramas de casos de uso, los diagramas de contexto de nivel 0 hasta al 4, diagrama de entidad-relación e incluso un diagrama de transición de estados de la metodología de Yourdon (Yourdon, 2006).

### Diagrama de Contexto

El diagrama de contexto, proporciona una idea general del comportamiento e interacción del sistema con su entorno, es posible identificar personas, organizaciones o sistemas. Este sistema se comunica, así como los datos que el propio sistema recibe, almacena, procesa y produce al exterior (Yourdon, 2006). Dicho diagrama se puede observar en la Figura 1, en un nivel 2:

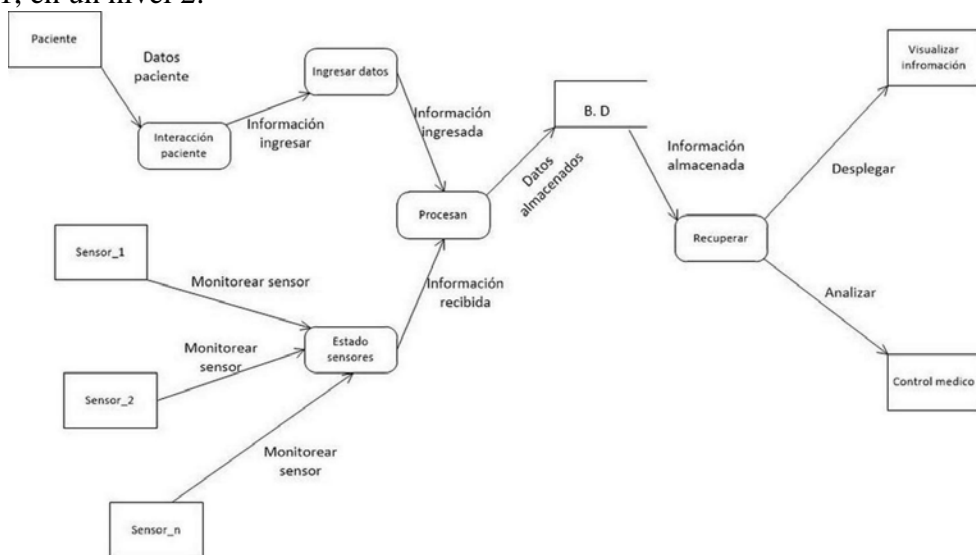


Figura 11. Diagrama de contexto de nivel 2.

En la Figura 1, se observa el comportamiento del sistema, en el cual los datos de entrada son proporcionados principalmente por los pacientes y la tarjeta arduino; los pacientes tendrán interacción directa con el sistema, enviando peticiones de autenticación, para posteriormente poder visualizar el contenido correspondiente del historial médico. Las tarjetas de desarrollo arduino, tienen la tarea principal de recibir datos de los  $n$  sensores y posteriormente envía la información. Los datos recibidos en la aplicación por parte del paciente deberán ser validados para enviarse a la base de datos local y remota, donde los pacientes, podrán disponer de la información. Los pacientes podrán revisar su historial médico, sus medicamentos, su médico personal y tendrán la opción de realizar monitoreo de su glucosa.

### Diagrama de LACATRE LA4

Esta aplicación es orientada al cuidado de la salud, y se requiere que sea un sistema de tiempo real, el cual se define como un sistema, que no solo intervienen personas para su funcionamiento, sino que también se encuentra en una interacción constante con el ambiente que lo rodea. Se requiere que la aplicación funcione de manera correcta, sino que además ahora funcione con restricciones de tiempo, y que trabaje lo suficientemente rápido. Por tal motivo, se emplea el diseño de la LACATRE de la Figura 2, el cual permite expresar el comportamiento dinámico y las relaciones de tiempo real que proveen un acercamiento estructural y metódico al diseño de la aplicación.

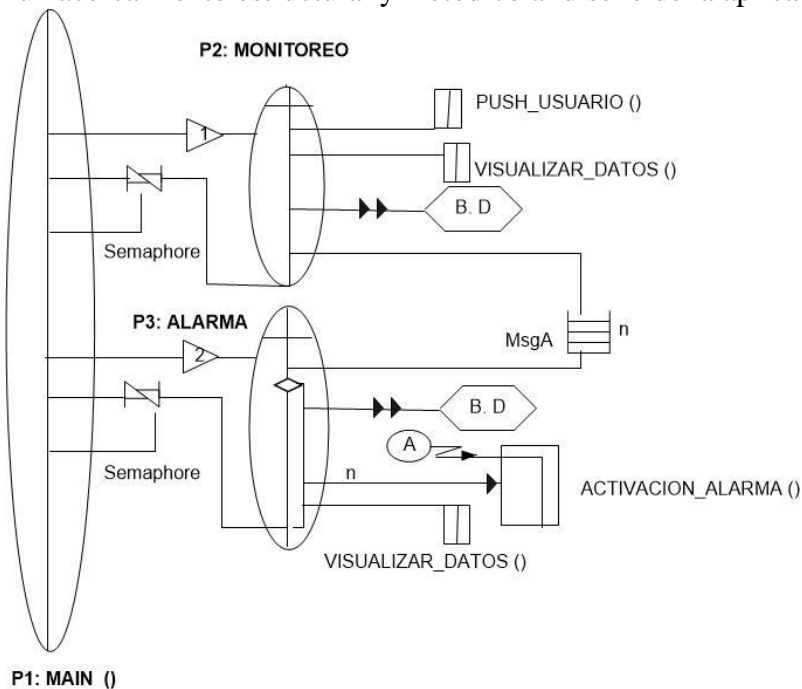


Figura 2. Diagrama de LACATRE.



En este diseño se puede observar el comportamiento e interacción de la función principal con otros procesos, en este caso el de monitoreo y el de alarma.

P2: Monitoreo, con prioridad 1.

P3: Alarma: con prioridad 2.

De esta manera, el proceso encargado del monitoreo (P2), como ya se observó en el diagrama de contexto, se encarga de recibir los datos proveniente de los sensores, donde se llevara a cabo el procesamiento, teniendo como responsabilidad la notificación al usuario de que se han recibido. Se envía a la base de datos que los alojara, así como para su visualización. Una vez que los datos han sido procesados se determinara si desencadenan un tercer proceso, el de alarma (P3), debido a que pueden tener una actividad anormal registrada por los sensores encargados del monitoreo del paciente, por lo tanto, se procede a activar una alarma para su correcto tratamiento y atención, así como una opción de visualización y el almacenamiento.

### **Árbol de Fallas**

En todo sistema es de vital importancia obtener los eventos o sucesos que conlleven a un estado correcto, aunque también resulta idóneo, detectar cuales serían los eventos que podrían conducir al sistema a un estado inestable e incluso inoperable. Por lo tanto, un análisis de árbol de fallas, permite realizar una evaluación cuantitativa o cualitativa del sistema. El análisis se basa en detectar un fallo principal que podría llevar al sistema general a un colapso. El cual, se realiza un desglose de casos básicos en una estructura jerárquica, los cuales se relacionan mediante el uso de compuertas lógicas, para llegar hasta un caso Top, que se menciona en (Vesely, Stamatelatos, Dugan, 2002), estas compuertas lógicas, pueden estar asociados a componentes de fallas de hardware, errores humanos, errores de software, entre otros.

En la Figura 3, se puede observar el árbol de fallas de la propuesta solución, teniendo como error principal o TOP, donde el sistema sea inoperable:

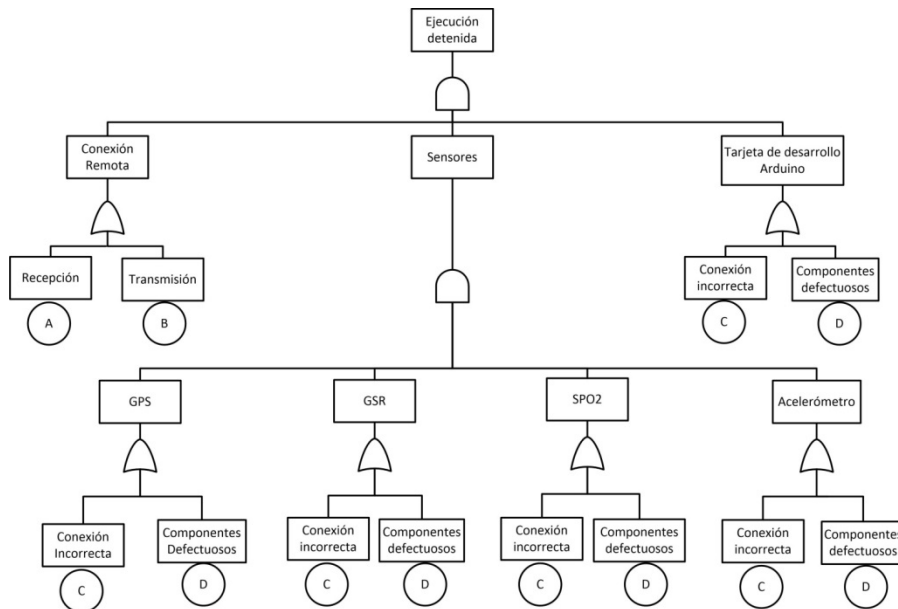


Figura 3. Árbol de Fallas.

El árbol permite realizar dos tipos de evaluaciones, cuantitativas o cualitativas, sin embargo, en esta ocasión la evaluación que a continuación se presenta será cualitativa, la cual como se menciona en (Vesely, Stamatelatos, Dugan, 2002), busca obtener los minimal cut sets (MCSs), donde un cut set, está representado por una combinación de eventos básicos que puedan provocar la ocurrencia del evento TOP. Por lo tanto, para poder obtener los MCSs, se realiza un proceso de reducción de la ecuación lógica del árbol de fallas, en la cual se buscara reducir aquellas causas comunes mediante operaciones de álgebra de Boole, lo cual dará como resultado aquellos eventos básicos que nos pueden llevar a un colapso del sistema y generar las decisiones o medidas pertinentes para evitar la ocurrencia de las mismas, de esta manera tenemos la siguiente ecuación lógica:

$$\begin{aligned}
 (3) \text{ TOP} &= (A+B) \cdot ((C+D) \cdot (C+D) \cdot (C+D) \cdot (C+D)) \cdot (C+D) \\
 \Rightarrow & (A+B) \cdot ((C+D) \cdot (C+D)) \cdot (C+D) && \text{Idempotente} \\
 \Rightarrow & (A+B) \cdot (C+D) \cdot (C+D) && \text{Idempotente} \\
 \Rightarrow & (A+B) \cdot (C+D) && \text{Idempotente}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, después del análisis realizado se puede determinar, que la ocurrencia del evento no deseado, depende de la ocurrencia de los eventos básicos A o B y C o D. Se requiere que alguno de los eventos de la comunicación remota (transmisión o recepción) ocurra en el tiempo que algún componente falle o bien, que algún dispositivo se conecte de manera errónea, ya sea de la tarjeta de desarrollo o de los sensores. Si alguno de los sensores presenta una falla, esto no supondrá una falla en el evento TOP, aunque ocurriera al mismo tiempo la transmisión o recepción de la

comunicación remota, ya que los sensores trabajan de manera independiente y la falla de uno no afectaría al otro.

### Sistema General

En la Figura 4, se presenta un diagrama del funcionamiento del sistema, donde el usuario se conecta de manera directa a su dispositivo móvil que tiene la funcionalidad principal. El móvil es el encargado de establecer la comunicación con la tarjeta Arduino y con los diferentes sensores. El dispositivo móvil hace uso de las redes inalámbricas disponibles o bien mediante la red de datos de los mismos dispositivos para tener acceso a internet, que es donde se encuentra la aplicación web. Sin embargo, puede ser que no se tenga acceso a internet, el mismo dispositivo contiene una base de datos local, donde se realiza un respaldo únicamente de las lecturas de los sensores y al conectarse se genera la sincronización.

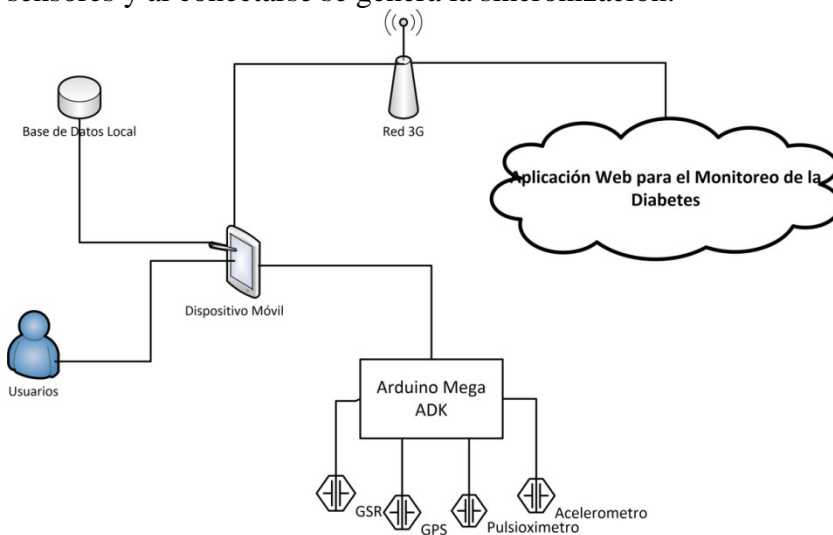


Figura 4. Sistema General.

Finalmente en la Figura 5, se observa el modulo correspondiente del GPS que esta de color verde con gris y al acelerómetro que esta de color rojo con negro, así los datos son obtenidos mediante la aplicación a través de una interacción con la tarjeta de desarrollo Arduino y los sensores, los cuales una vez obtenidos son almacenados en una base de datos local, la cual registra los valores relacionados al nivel de glucosa y pulso, así como la fecha de captura, los cuales una vez capturados y almacenados podrán ser enviados mediante una decisión del usuario a la base de datos remota, en la cual se reflejaran de manera inmediata y de esta manera el personal médico tendrá acceso, cabe mencionar que todos estos datos se ejecutan en tiempo real.

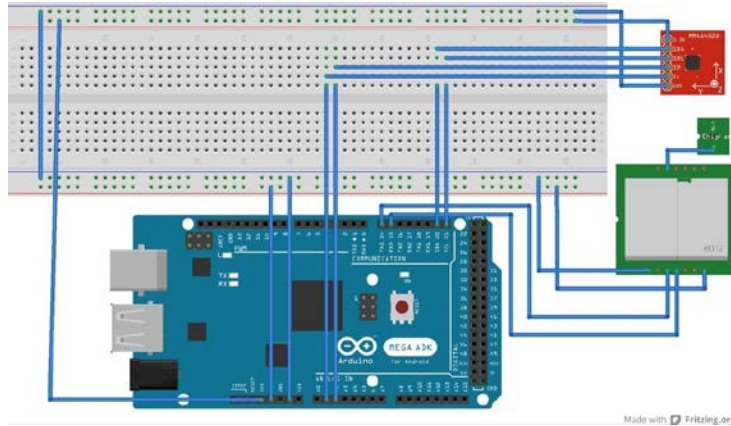


Figura 5. Conexión de los sensores a la tarjeta Arduino.

### Resultados

Los resultados que se muestran a continuación, son con los dispositivos que tienen las siguientes características, Tablet Acer Iconia, con sistema operativo Android 4.1 y un tamaño de pantalla de 600 x 1024 pixeles (7.0 pulgadas) y en un teléfono inteligente (smartphone) Sony Xperia L con sistema operativo Android 4.2.2 y tamaño de pantalla de 480 x 854 pixeles (4.3 pulgadas), esto con la finalidad de observar el comportamiento de la aplicación en diferentes dispositivos. En la actualidad, se pueden encontrar una gran variedad de dispositivos cuyas características y resoluciones pueden variar, provocando comportamientos no deseados en tiempo de ejecución. Las pruebas actuales corresponden al teléfono inteligente (smartphone), se observa el sistema general conectado en la figura 6.



Figura 6. Diagrama final de la aplicación pervasiva.

Una vez que el dispositivo móvil se conecta a la tarjeta Arduino, de inmediato la aplicación enviara una notificación al usuario para iniciar como aplicación predeterminada, una vez aceptada la aplicación se ejecutara y mostrara la pantalla para que el usuario ingrese sus credenciales (usuario y contraseña), tal como se muestra en la Figura 7.



2

Figura 73. Inicio de sesión.

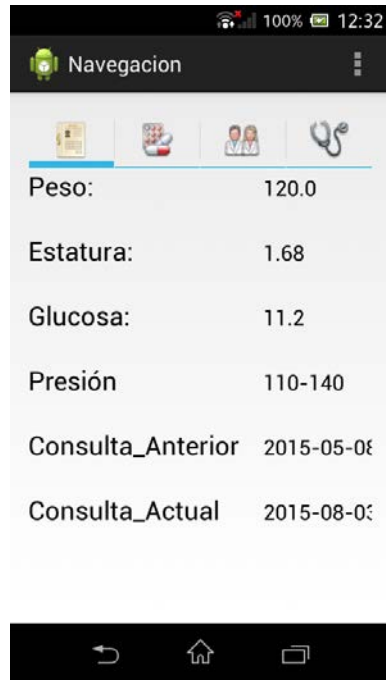


Figura 8. Información general.

Los datos deberán estar dados de alta en la base de datos remota, ya que el dispositivo realizara una conexión remota al servidor para validar los datos y darle acceso al usuario, esto con la finalidad de no saturar los medios de almacenamiento interno del dispositivo con registros de sesión. Al tener acceso exitoso, la aplicación cambiara su interfaz para visualizar al usuario una serie de opciones, entre las cuales se encuentra historial médico, como se observa en la Figura 8. Dentro del menú, se tiene otras 3 opciones, en las que se encuentran: visualización de medicamentos, información relacionada al personal médico del paciente y una opción de acceso a los sensores.

En la Figura 8, se puede visualizar información detallada con relación a su última visita presencial con el médico, como son niveles de glucosa, presión arterial, peso, estatura, fecha de la consulta y la próxima fecha de consulta. El paciente pueda revisar y tener un control más eficiente de sus signos vitales.

Las otras dos interfaces, de medicamento y personal médico son similares a la interfaz de historial médico de la Figura 8. Porque es para visualizar la información sin opción de interacción. La interfaz mostrada en

la Figura 9, tiene como función principal la interacción del usuario con los sensores, mediante la tarjeta Arduino Mega ADK.

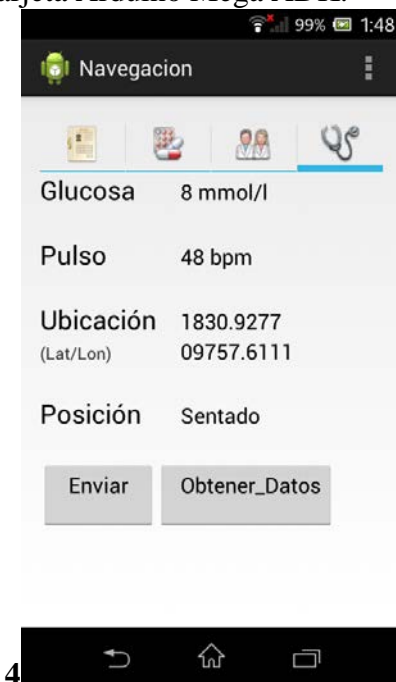


Figura 9. Captura de pantalla de control de sensores.

Esta interfaz, es la más importante para la aplicación ya que esta se encarga del monitoreo de la glucosa del paciente. La opción de medir los niveles de glucosa mediante el sensor GSR y cuyos datos se encuentran en unidades de mmol/l, aunque con la Tabla 1, puede obtenerse su equivalente en mg/dl.

Tabla 10. Equivalencia entre valores mg/ml y mmol/l.

Glucosa en mg/dl	Glucosa en mmol/l		Glucosa en mmol/l	Glucosa en mg/dl
35	2		2	35
40	2,2		2,5	45
45	2,5		3	54
50	2,8		3,5	63
55	3,1		4	72
60	3,4		4,5	81
65	3,6		5	90

70	3,9		5,5	99
75	4,2		6	108
80	4,5		6,5	117
85	4,8		7	126
90	5		7,5	135
95	5,3		8	144
100	5,6		8,5	153
110	6,2		9	162
120	6,7		9,5	171
130	7,2		10	180
140	7,8		10,5	189
150	8,4		11	198
160	8,9		11,5	207
170	9,5		12	216
180	10,1		12,5	225
190	10,6		13	234
200	11,2		13,5	243
220	12,3		14	252
240	13,4		14,5	261
260	14,6		15	270
280	15,7		15,5	279
300	16,8		16	288
320	17,9		17	306
340	19		18	324
360	20,2		19	342
380	21,3		20	360
400	22,4		21	378
420	23,5		22	396

440	24,6		23	414
460	25,8		24	432
480	26,8		25	450
500	28		30	540
600	33,6		35	630
800	44,8		40	720
1.000	56		50	900

El pulso se monitorea con el sensor Pulsioxímetro. La posición del paciente al momento de la captura mediante el Acelerómetro. Finalmente, su ubicación física en tiempo real a través del GPS. La comunicación con la tarjeta de desarrollo Arduino, es posible conectar con una variedad de sensores permitiendo así expandir su funcionalidad. También se cuenta con dos botones uno de “Enviar”, el cual permite al usuario tener acceso a las lecturas almacenadas en su base de datos local y elegir las que serán enviadas a la base de datos remota para que su médico las visualice en su aplicación web, por otro lado también se cuenta con el botón “Obtener\_Datos”, este se encarga de establecer comunicación con la tarjeta de desarrollo, la cual a su vez con los sensores. Se debe de considerar que una función importante de la aplicación, es la relacionada con la verificación de datos dentro o fuera del rango, lo cual desencadena la acción principal de activación de la alarma. Por lo tanto, el usuario visualizará una notificación en su dispositivo móvil con la alerta generada, ya sea de nivel de glucosa bajo o alto.

### **Conclusión y Trabajo Futuro**

A partir del trabajo de investigación realizado y los resultados obtenidos, se puede concluir que la combinación de las dos tecnologías realizadas en este trabajo como Android y Arduino, que representan una herramienta de apoyo importante para el cuidado de la salud, lo cual se ha logrado mediante la implementación y comunicación con una variedad de sensores encargados del monitoreo de los signos vitales, como lo son sensores de pulso, de respuesta galvánica de la piel (GSR), acelerómetros y sensores de posicionamiento global (GPS).

Por otro lado, la aplicación se utiliza como medio de comunicación entre sensores y paciente, que además incluye un mecanismo de comunicación con una base de datos remota.

Otro punto importante, es el uso de tecnologías libres tanto en hardware como software, las cuales ofrecen características, como la



posibilidad de generar soluciones económicas y de fácil implementación, de tal manera que dicho sistema sea lo más accesible posible a una gran cantidad de usuarios.

En lo que respecta al trabajo futuro, se buscará expandir dicho sistema a una mayor cantidad de plataformas móviles, como IOS, Windows Phone, entre otras, de tal manera que dicha aplicación sea multiplataforma, abarcando también las tarjetas de desarrollo, como Raspberry Pi o Galileo, permitiendo así expandir y mejorar las características del sistema, así como también mejorar los protocolos de comunicación entre las tarjetas de desarrollo y los dispositivos móviles, como pueden ser el uso de protocolos de comunicación inalámbricos.

Finalmente el estudio aquí propuesto, deberá ser un apoyo para el personal médico especializado en el tratamiento y control de enfermedades no transmisibles (ENT), y que el paciente pueda tener un mejor monitoreo y control de la diabetes con dispositivos móviles.

### **Agradecimientos**

Este trabajo fue financiado parcialmente por la Vicerrectoría de Investigación y Posgrado y la Dirección de Planeación Institucional de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

### **Nota Legal**

Este trabajo de la aplicación móvil pervasiva es un desarrollo adicional de una patente registrada que tiene el nombre de Proceso de Medición de Glucosa No Invasivo con número de solicitud ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual MX/a/2014/013021.

### **References:**

Aguila Jurado, A.E. (2014). *Una Aproximación de un Dispositivo No Invasivo de Monitoreo de la Diabetes en Tiempo Real*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Schulte-Mecklenbeck, M.; Kuehberger, A; Ranyard, R. (2011). *A handbook of process tracing methods for decision research*. New York, NY. Psychology Press.

SiRF Technology. (2005). *NMEA Reference Manual*.

Yourdon, E. (2006). *Just Enough Structured Analysis*. Edit. Yourdon. [www.yourdon.com](http://www.yourdon.com)

Vesely, W.; Stamatelatos, M.; Dugan, J. et al. (2002). *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*. Washington, DC. NASA Office of Safety and Mission Assurance.

Ventylees, Raj. S. (2012). *Implementation of pervasive computing based*

- high-secure smart home system. En: *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 11 (4), pp. 4663-4668.
- Huichun, G., Chaojun, F., Junwen, L., Mingkun, L. (2015). Study on Coal Mine Gas Monitoring System Based on Arduino. *Advanced Materials Research*, 1073-1076, pp. 2173-2176.
- Chun-Tang, C., Chia-Wei, W., Juing-Shian, C., Chi-Jo, W. (2015). An Arduino-Based Resonant Cradle Design with Infant Cries Recognition. *Sensors*, 15, pp. 18934-18949.
- De Leiva. A. Hernando, M.E. (2009). Telemedical Artificial Pancreas. En: *Diabetes Care*, 2 (32), pp. 5211-5216.
- Hernández Pérez C. (2012). *Aplicación Web para el Monitoreo de la Diabetes*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Thomas, A., Ramirez, A., Zehe, A. (2014). Control de Glucosa no-invasiva: ¿Hará la nanotecnología este sueño realidad? *Internet Electron. J. Nanoc. Moletrón*, 12 (2), pp. 2177-2190.
- Akesh Govada, Renumadhavi, Ch., Ramesh, K.B. (2014). Non-Invasive Blood Glucose Measurement. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*. 3 (1), pp. 5122-5125.
- Dehaaff, M. (2015, 9, 18). 5 Reasons Why Remote Monitoring Patients is Better for Everyone. Recuperado de <https://www.glooko.com/2015/09/5-reasons-why-remote-monitoring-patients-is-better-for-everyone>.