

DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERTO PARA LA MONITORIZACIÓN DE SIGNOS VITALES EN ADULTOS MAYORES

Marvin González, Estudiante de Licenciatura, Amelia M. Brugiati, Estudiante de Licenciatura, Carlos R. Barría, Estudiante de Licenciatura
Universidad Tecnológica de Panamá, Sede Veraguas, Santiago, marvin.gonzalez2@utp.ac.pa, amelia.brugiati@utp.ac.pa, carlos.barria2@utp.ac.pa

Profesor Asesor: Cristian Pinzón Trejos, Ph. D en informática con especialidad en Sistemas Inteligentes
Universidad Tecnológica de Panamá, Sede Veraguas, Santiago, cristian.pinzon@utp.ac.pa

Resumen – En este artículo se presentó la propuesta para el diseño de un prototipo de Sistema Experto con inferencia difusa para monitorizar las constantes o signos vitales en adultos mayores, con capacidad autónoma de enviar los datos recogidos, vía Wi-Fi, a una base de datos y enviar una notificación de alerta al dispositivo móvil de la persona que se encuentre al cuidado, si el adulto mayor presenta alguna variación significativa en sus constantes vitales.

Primeramente, se presentó teoría relacionada al tema. Luego, la propuesta del diseño del Sistema y sus componentes, que permiten la monitorización, lectura y almacenamiento de datos en tiempo real.

En la parte final del trabajo, se presentó, una tabla comparativa con otros proyectos, las ventajas más relevantes del sistema en relación con otros sistemas propuestos, y como conclusión se planteó la posibilidad de utilizar este Sistema como un complemento para la labor de los cuidadores médicos, proveyendo un asistente médico domiciliario, principalmente, a familias o individuos que tengan personas o adultos mayores ya sea encamados, en estados de salud críticos, o bien, solos en casa.

Palabras Clave — Asistente médico, Constantes vitales, Monitorizar, Sistema Experto, Lógica Difusa.

Abstract – This article presents the proposal for the design of a Fuzzy Logic Expert System Prototype that monitors constants or vital signs in elderly people, with the own capacity to send collected data via Wi-Fi to a Data Base and send an alarm notification to the carer's mobile device if the patient has a significant variation in their constants.

First, topic theory and some concepts are presented. Then, the design proposal and components of the System are submitted, which allows the monitoring, reading and storage in real time of data.

To finish, in a comparative table, some advantages of this project will be presented in relation to others previously proposed, and as a conclusion, it is proposed the possibility of using this System as a work complement for Medical Carers, providing a Medical Assistant mainly to families or people who have elderly people in bed, with delicate health or alone in their homes.

Keywords — Expert System, Fuzzy Logic, Medical assistant, Monitor, Vital Signs.

Digital Object Identifier:
ISSN, ISBN:

I. INTRODUCCIÓN

La humanidad ha perseverado en su afán de búsqueda de respuestas. Se han creado métodos y formas para modelar y aplicar respuesta a preguntas en nuestro entorno. Matemáticas, ciencias y teorización son ejes comunes de la investigación del presente. La utilización de los resultados, de la innovación y grandes esfuerzos por científicos e investigadores en el campo de la tecnología y las ciencias de la computación permiten la implicación de la Inteligencia Artificial en sub-campos que van desde áreas de propósito general como también a áreas específicas.

La inclusión de sistemas expertos en distintas áreas aporta grandes beneficios ya que pueden llegar a proporcionar resultados que equivalen a las respuestas de un experto humano; no llegan a dar respuestas concretas a problemáticas generales ya que entre más específico sea el problema al que sean aplicados mayor será su grado de eficiencia.

Por otra parte, la presencia de enfermedades degenerativas que provocan el desgaste físico principalmente en adultos mayores obliga a que se le brinden cuidados médicos especiales y una vigilancia periódica en su estado de salud [1]. Muchas de las personas que padecen alguna enfermedad donde sus constantes vitales necesiten de supervisión, son pacientes ambulatorios, es decir, que su paso por hospitales es mínimo y la mayor parte del tiempo están en sus hogares donde corren riesgos de sufrir complicaciones por errores en el cuidado.

La tarea que conlleva tratar con personas que tenga un problema respiratorio, cardiaco o algún otro que requiera una monitorización constante, aunado a una discapacidad física, requiere un personal capacitado que muchas veces resulta costoso y en otros casos, no hay un familiar que se mantenga a tiempo completo en el cuidado del adulto mayor.

Basado en la falta de este tipo de soluciones accesibles en el mercado, y que muchas familias que tienen personas mayores como integrantes de sus hogares, no cuentan con los recursos ni con el tiempo necesario para poder estar en constante vigilancia de los cambios de estados de salud que presentan estos pacientes, el objetivo principal de esta investigación es proponer el diseño de un prototipo de Sistema Experto, como un asistente médico personal, para monitorizar signos vitales en adultos mayores en sus hogares.

Además, se pretende investigar si es posible que utilizando técnicas de Inteligencia Artificial se pueda dar un seguimiento más personalizado en cuanto a la toma o medida de constantes vitales a adultos mayores desde sus hogares permitiendo brindar una mejor atención y garantizar mejores condiciones.

Las secciones en las que se segmenta la investigación son las siguientes: antecedentes, definición de conceptos, diseño del Sistema, hardware y placas a utilizar y finalmente las conclusiones y recomendaciones.

A. Antecedentes

En diferentes regiones del mundo el envejecimiento de su población está creciendo de manera exponencial y acelerada. Panamá no escapa de esta disyuntiva.

En América Latina y el Caribe la población de 60 años y más está aumentando sostenidamente en todos los países. Se trata de un proceso generalizado de envejecimiento de las estructuras demográficas que lleva a un aumento tanto en el número de personas adultas mayores como en el peso de esta población en la población total [2].

El incremento en Panamá de los adultos mayores (Gráfico 1) comenzará a crecer a partir del 2020, refiriéndose al grupo de personas mayores a 60, el cual está previsto en alcanzar un 24 % de la población de Panamá, para el año 2050, donde las mujeres se representarían en términos porcentuales como el 53 % de toda la población [1].

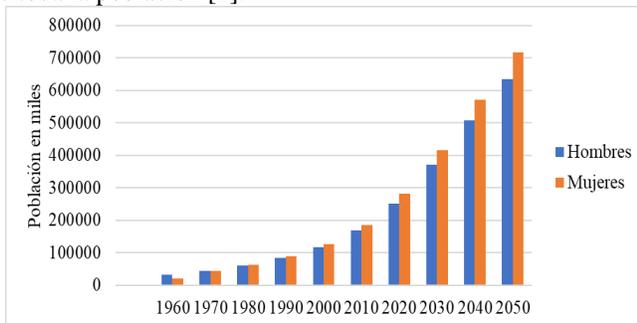


Gráfico 1. Población mayor de 60 años en la República de Panamá agrupada por sexo según el INEC en el año 2015.

Las incidencias de mortandad para adultos mayores en Panamá se concentran en aquellas necesidades que se obtienen con el paso de los años, al avanzar la longevidad de nuestros días. Una parte significativa del adulto mayor es estar atados a sus familiares, por este motivo ellos dependen y seguirán dependiendo de sus familias. Asumiendo la familia un apoyo

desde lo monetario hasta cuidados personales, ya sea por enfermedad, discapacidad o en apoyo emocional.

En Panamá, según datos obtenidos por el Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá [3], las principales cinco causas de muertes en adultos mayores desde 1960 a 2010 se distribuyen de la siguiente manera. Para la década de 1960, con 2,277 defunciones de adultos mayores a 60 años, el 18% representaba que la principal causa de muerte era enfermedades del corazón, seguido de las lesiones vasculares, tumores malignos, neumonía y diabetes mellitus. Las décadas de 1970 y 1980 se encontraron como causas primarias, enfermedades isquémicas del corazón y tumores malignos, respectivamente. En la década de 1990 se registró que la causa principal de defunciones fue debido a problemas cerebrovasculares. Para las décadas de 2000 y 2010 se desplazó esta causa, y se mantiene como principal, nuevamente, los tumores malignos o neoplasias [1].

II. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

A. Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial (IA) puede definirse como el medio por el cual las computadoras, los robots y otros dispositivos realizan tareas que normalmente requieren de la inteligencia humana. La IA agrupa un conjunto de técnicas que, mediante circuitos electrónicos y programas avanzados de computadora, busca imitar procedimientos similares a los procesos inductivos y deductivos del cerebro humano. Se basa en la investigación de las redes neuronales humanas y, a partir de ahí, busca copiar electrónicamente el funcionamiento del cerebro [4].

B. Sistema Experto

Los sistemas expertos que han tenido relevancia a lo largo de la historia, introduciéndose el concepto en la década de los 80 [5], es una de las técnicas de la Inteligencia artificial que utiliza el conocimiento de un humano para la resolución de problemas que, por lo regular, requieren la participación de un especialista en un área específica; imitando el proceso de razonamiento para la toma de decisiones. La propuesta que se presenta está basada en el concepto de un sistema experto.

C. Lógica Difusa

Es la lógica aplicada a conceptos que pueden tomar un valor cualquiera de veracidad dentro de un conjunto de valores que oscilan entre dos extremos, la verdad absoluta y la falsedad total [6].

La Lógica Difusa proporciona un mecanismo de inferencia que permite simular los procedimientos de razonamiento humano en sistemas basados en el conocimiento. La teoría de la Lógica Difusa proporciona un marco matemático que permite modelar la incertidumbre de los procesos cognitivos humanos de forma que pueda ser tratable por un computador [7]. De esta manera, los sistemas de control basados en Lógica Difusa combinan variables de

entrada, definidas en términos de conjuntos difusos, por medio de grupos de reglas que producen uno o varios valores de salida [6].

La utilización de la Lógica Difusa se debe a que al ser los signos vitales diferentes para cada persona y no están definidos por funciones matemáticas exactas que indiquen en cuál momento se encuentran en un estado normal, esta permite trabajar con límites no definidos entre cada rango.

En este proyecto se plantea el uso de la Lógica Difusa para la monitorización de los signos vitales.

D. Signos Vitales

Reflejan los estados de las funciones básicas del organismo. Estos varían de acuerdo muchos factores como los son el sexo, edad, masa corporal, etc. Entre los principales se encuentran: frecuencia respiratoria, frecuencia cardiaca, tensión arterial, temperatura, y pulsioximetría.

En este caso se limitará a tomar tres de estos: temperatura, presión arterial y frecuencia cardiaca.

La temperatura corporal es la expresión numérica de la cantidad de calor del cuerpo. Expresa el balance entre la producción de calor en el cuerpo y la pérdida [8]. La frecuencia cardiaca es la onda pulsátil de la sangre que se origina con la contracción del ventrículo izquierdo del corazón y que resulta en la expansión y contracción regular del calibre de las arterias, se define como las veces que late el corazón por unidad de tiempo. Mientras que la tensión arterial es la presión que ejerce la sangre contra la pared de las arterias. Resultante del volumen minuto cardíaco por la resistencia arteriolar periférica, esta última determinada por el tono y estado de las arteriolas.

Los rangos normales de los signos vitales para un adulto sano promedio mientras está en reposo son [9]:

Presión arterial: entre 90/60 mmHg a 120/80 mmHg.

Pulso: de 60 a 80 latidos por minuto.

Temperatura: 98.6 °F (37 °C).

III. DISEÑO DEL SISTEMA

A continuación, se presenta el diseño del sistema propuesto.

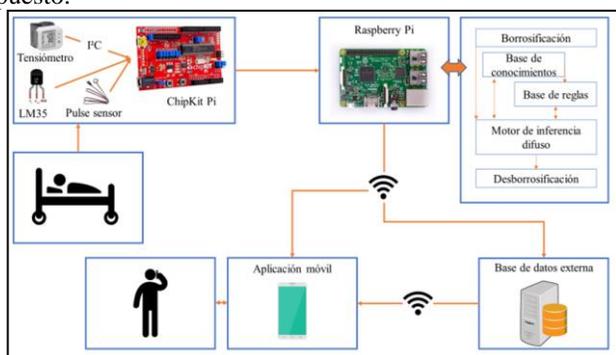


Figura 1. Diseño Propuesto para el Sistema planteado.

La placa ChipKIT programada en Arduino se encargará de recopilar los valores de los sensores: temperatura, presión arterial y frecuencia cardiaca; esta a su vez pasará estos valores a la Placa Raspberry donde estará alojado el sistema experto que tomará estos valores reales, los transformará en valores difusos para realizar la inferencia dependiendo las reglas declaradas para cada persona, convirtiendo este resultado a un valor real nuevamente; si la respuesta del sistema es una lectura anormal, mandará a través de una notificación push una alerta a un dispositivo móvil. De ser considerada una lectura normal, los datos serán enviados solamente a un servidor, donde estará una base de datos almacenando los datos de cada constante vital a la cual la persona que se encuentre al cuidado podrá acceder en cualquier momento. Estos datos son utilizados por el sistema para mejorar su aprendizaje en cuanto a las constantes vitales del paciente.

Componentes:

- **ChipKIT Pi**

La ChipKIT Pi [10] es una plataforma compatible con Arduino, diseñada especialmente para Raspberry basada en microcontrolador PIC32 de 32 bits. La placa cuenta con el respaldo del IDE gratuito de plataforma múltiple ChipKIT (MPIDE) que se puede albergar en la Raspberry Pi. Se puede conectar directamente al conector de expansión de entrada/salida de la Raspberry Pi sin necesidad de componentes adicionales. Este se utilizará para recibir la lectura de los sensores y enviarlos al sistema experto alojado de la Raspberry Pi.

- **Raspberry Pi 3 Modelo B**

Es una pequeña placa base en la que se aloja un chip Broadcom BCM2835, GPU VideoCore IV [11]. Tiene un procesador Quad-Core 1.20GHz. RAM en 1GB. Wi-Fi y Bluetooth sin necesidad de adaptadores. Para la implementación del sistema se necesitará instalar el Oracle JDK 8 que incluye herramientas para desarrollar y ejecutar programas desarrollados en la plataforma Java. Además, para la implementación del sistema experto difuso se utilizará la librería JFuzzyLogic [12] que implementa el lenguaje de control difuso (FCL) que permite declaración de variables, diseño de la evaluación de las funciones de pertenencia y reglas del sistema difuso.

- **Sensores**

- **LM35 (Temperatura)**

El Sensor LM35 [13] está clasificado para operar sobre un rango de temperatura de -55 °C a 150 °C. Estos sensores no requieren de ninguna calibración externa y la tensión de salida es proporcional a la temperatura. El factor de escala para la conversión de la temperatura a la tensión es de 10 mV por °C. Tiene

tres patas similares a las de un transistor, donde V_s es la alimentación, normalmente a 5 V que es lo que nos da la placa, GND es la toma de tierra y V_{out} es la salida que proporciona el sensor que puede ser programado en Arduino.

Especificaciones:

- Calibrado en centígrados
- Factor de escala lineal 10.0 mV/ °C
- Rango de medición de -55 °C a 150 °C
- Bajo costo de adquisición
- Funciona de 4 V a 30 V

○ **Pulse Sensor (Frecuencia cardíaca)**

El Pulse Sensor [14] basa su funcionamiento en detectar las variaciones de luz en el receptor debido a la circulación de sangre por el dedo o el lóbulo de la oreja. La frecuencia cardíaca se determina realizando un conteo de los picos de voltaje que se presentan en 60 segundos por el puerto analógico de la tarjeta electrónica, lo cual es equivalente a los latidos por minuto.

Especificaciones:

- El diámetro es de 16 mm
- El espesor total es de 3 mm
- La longitud del cable es de 609 mm
- Voltaje de 3 V a 5 V

○ **Tensiómetro (presión sanguínea)**

Se seleccionó el uso de un tensiómetro adaptado, ya que, al emplear uno digital de muñeca, no se pueden realizar operaciones con sus componentes internos; se decide comunicar con el ChipKIT para automatizar el proceso de medición empleando el protocolo I2C, que es fundamental en la comunicación de microcontroladores, por su estructura sencilla de transporte, el cual es compatible con los módulos de datos, carga y tierra de la placa. Este sólo requiere dos líneas de señal y un común. Fue diseñado por *Philips Semiconductors* [15] con una velocidad aceptable de 100 Kbits > hasta 3,4 MHz.

● **Sistema Experto**

○ **Borrosificación**

Uno de los problemas que satisface la Lógica Difusa son las limitaciones que tienen los conjuntos clásicos, los cuales tienen límites definidos, esto quiere decir, que un elemento solamente tiene dos posibilidades, de que sea cierto o falso que pertenece al conjunto [16]. En cambio, la Lógica Difusa asigna a este elemento un grado de pertenencia, definido entre un valor de 0 a 1 y asociado a un conjunto el cual se le asigna un a variable lingüística que lo identifica. Este grado de pertenencia se asigna a través de funciones como lo son trapezoides, triangulares, singleton, etc.

El objetivo de la borrosificación es convertir un valor real como las lecturas de los sensores, a un valor difuso, asignándole un grado de pertenencia dependiendo del conjunto en el que se encuentre. A manera de ejemplificación se muestra en el Gráfico 2, los conjuntos difusos de temperatura [17] agrupados por sus etiquetas lingüísticas. De igual forma se debe realizar con cada una de las variables de entrada dependiendo de la persona a ser evaluada ya que, los signos vitales en cada uno son diferentes y se ven alterados por diversos factores.

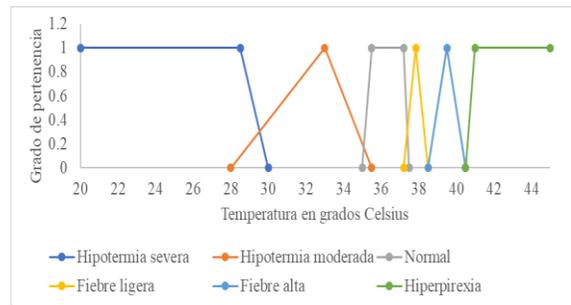


Gráfico 2. Representación de conjuntos difusos de temperatura

○ **Base de Conocimientos**

En la base de conocimiento se reúne toda la experiencia de un experto respecto al objetivo a resolver y a partir de esta se crea la base de reglas.

○ **Base de Reglas**

Para desarrollar el proceso del Motor de Inferencia se necesita una Base de Reglas, las cuales en un momento determinado son activadas dependiendo de la entrada del sistema. Cada regla tiene la forma de una declaración SI-ENTONCES. La parte SI contiene una o más condiciones llamadas “antecedentes”; la parte ENTONCES contiene una o más acciones llamadas “consecuencias”. A continuación, se exponen algunas de estas reglas relacionando un antecedente y un consecuente:

SI Temperatura = Fiebre ligera ENTONCES Nivel de riesgo = Medio

SI Temperatura = Normal ENTONCES Nivel de riesgo = Bajo

SI Temperatura = Fiebre Alta O Temperatura = Hipotermia Severa ENTONCES Nivel de riesgo = Alto

SI Nivel de Riesgo = Alto ENTONCES Enviar alerta

○ **Motor de Inferencia Difuso**

Se realiza el proceso de razonamiento difuso, mediante el cual se examinan las reglas una por una utilizando un encadenamiento hacia adelante, y cuando se cumple la condición de la regla, esta es activada para seleccionar las reglas posibles por satisfacer el problema.

○ **Desborrosificación**

Finalmente, este es el encargado de convertir los valores difusos obtenidos en el motor de inferencia a un valor real, que posteriormente será el resultado del sistema experto. Para llevar a cabo la función de este componente se utilizan métodos matemáticos simples, como el método del centroide, el método del promedio ponderado, entre otros.

● **Servidor**

Se implementará la conexión TCP/IP con cifrado de conexión de SSH para el envío de los datos a la nube o base de datos externas.

Para el almacenaje de los datos, se utilizará un servicio de servidor host. Para el análisis de data y mejorar las reglas establecidas, además de permitir una mejor evaluación de los estados del adulto mayor, permitiendo la exportación de los registros en diferentes formatos para su posterior utilización.

La conexión del Raspberry Pi se hará por medio de transferencia SSH, al servidor. Por medio del puerto Ethernet, se configuran los puertos para el envío de los paquetes de datos almacenados.

● **Aplicación Móvil**

La aplicación mostrará las constantes vitales del adulto mayor, tratándose de que el tiempo de actualización sea lo más rápido posible. Esta constará con una sección que permitirá ver los antecedentes del adulto mayor, con respecto a tiempo de manera más detallada en forma de registro. Por el cual la aplicación mostrará las alertas que envía el SE difuso, sin necesidad de ser enviados al servidor antes, maximizando el tiempo de envío y teniendo una retroalimentación mejor. El esquema será de APP minimalista contará con un sistema de gráficos para la mejor comprensión del cuidador o familiar. Para conectarse el servidor se hará a través de llamadas HTTPS, que brindará una seguridad mayor y un mejor cifrado de los datos.

A continuación, se aproxima el costo del sistema propuesto, siendo una alternativa más económica a las soluciones comerciales existentes.

TABLA I
COSTE DE HARDWARE A UTILIZAR

COSTO DE HARDWARE COTIZADO*	
Placa Raspberry Pi	B/.52.37
Placa ChipKIT Pi	B/.21.57
LM35	B/.0.82
Pulse Sensor	B/.6.99
Tensiómetro de muñeca.	B/.27.33

Total	B/. 109.08
--------------	-------------------

TABLA II
RELACIÓN DE COSTO DEL SISTEMA PROPUESTO ANTE SOLUCIONES EXISTENTES

COSTO DE HARDWARE COTIZADO	
Sistema Propuesto	B/. 189.00
MySignals	B/. 470.96
Monitor Allikay	B/. 0.00

Como se mostró en la Tabla I, el costo de los equipos e instrumentos para la elaboración del proyecto propuesto ronda los B/. 109.08. Como un producto comercializable estaría rondando aproximadamente los B/. 189.00 siendo aun así un producto accesible para las familias.

En caso de My signals, solo la placa Signals tiene un precio de B/. 470.96, mientras que el kit completo para programación tiene un precio arriba de los B/. 2 000.00, sin incluir los servicios de servidor.

Bien es cierto que en cuanto a diferencia de precio se observa una gran magnitud, el Kit My Signals se encuentra respaldado por una empresa y tiempo de prueba, pero de igual manera, sigue siendo una adquisición costosa para el público. Siendo así, el sistema propuesto una alternativa de solución económica.

IV. RESULTADOS

Se realizó una comparación (Tabla 1) con dos proyectos existentes, “Monitor Allikay” [18] propuesta para monitorización de signos vitales desarrollado en la Universidad de Oviedo y “My Signals” [19] implementado y comercializado por la empresa Libelium.

TABLA III
COMPARACIÓN DE PROYECTOS

	Comunicación	Signos Vitales	Ventajas	Desventajas
Sistema Propuesto	Internet	Temperatura, Presión y frecuencia cardiaca	Utilización de un sistema experto	Depende de conexiones a Internet tanto en el hogar, como en el dispositivo remoto.

MySignals	Internet	Más de 15 sensores	Sensores mejor calibrados Empresa reconocida	Los sensores necesitan ser activados por el usuario. Coste elevado.
Monitor Allikay	Bluetooth	Temperatura, Presión y frecuencia cardíaca	Más económico	El alcance de comunicación con la aplicación es pequeño.

Como se aprecia en la Tabla 1, el sistema propuesto comparte características similares con el Monitor Allikay en cuanto a los signos vitales medidos, sin embargo, posee ventaja sobre este, ya que implementa técnicas de inteligencia artificial y un rango de comunicación mayor. En relación con MySignals, que, a pesar de tener mayor cantidad de sensores y mejor calibrados, su precio de adquisición es elevado.

V. TRABAJO FUTURO

- Implementar nuevos sensores que sean capaces de medir otros signos vitales como lo son: glucosa, frecuencia respiratoria, entre otros; para que se puedan adaptar a las necesidades específicas de cada persona. Además de adaptarlos para que estos funcionaran de manera inalámbrica para una mejor comodidad y compactar el diseño.
- Incorporar un sistema alternativo de energía como una batería, para que no dependa solo de la corriente eléctrica; de igual forma algún tipo de alerta en modo de sonido incorporado directamente en la placa Raspberry Pi para que el sistema de alerta no se limite a depender solamente de la conectividad de internet.

VI. CONCLUSIONES

El cuidado de adultos mayores puede resultar una tarea de tiempo y paciencia. A través de un sistema experto se puede garantizar un cuidado de forma continua. A continuación, se presentan las conclusiones del proyecto de investigación.

- En este proyecto se presenta el diseño de un sistema experto para la monitorización de adultos mayores en sus hogares. El diseño se plantea en la utilización de componentes hardware y algoritmos de Inteligencia Artificial.

- La implementación de este proyecto puede apoyar en el trabajo realizado por personal médico y familiares en el cuidado de adultos mayores garantizando una monitorización continua y brindando espacio a los cuidadores para otras tareas.
- La rentabilidad de precio de este proyecto para la funcionalidad y capacidad es un punto fuerte ante otras soluciones comerciales.
- Al implementar un sistema de inferencia difusa, este se puede adaptar a las lecturas signos vitales de manera personalizada.
- La constante monitorización y recopilación de estos resultados puede ayudar al diagnóstico y detección temprana de enfermedades, facilitando así, el trabajo de los médicos.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos al profesor Cristian Pinzón de la Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Veraguas, por ayudarnos y orientarnos en la realización y redacción de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] INEC, "Envejecimiento Demográfico en Panamá," Panamá, 2015.
- [2] CEPAL/CELADE, "Los Adultos Mayores en América Latina y el Caribe: Datos e Indicadores," 2002.
- [3] Á. Cubilla, "Envejecimiento Demográfico en Panamá Período 1960-2050," Panamá, 2015.
- [4] R. Gómez, "La inteligencia artificial ¿Hacia dónde nos lleva?," *¿Cómo ves? Revista de Divulgación de la Ciencia de la UNAM*, México.
- [5] S. Badaró, L. Ibáñez, and M. Agüero, "Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones," Buenos Aires, 2013.
- [6] R. Pérez, "Procesado y Optimización de Espectros Raman mediante Técnicas de Lógica Difusa: Aplicación a la identificación de Materiales Pictóricos," 2015.
- [7] C. González M., "Lógica Difusa: Una introducción práctica." 2011.
- [8] D. Cobo and P. Daza, "Signos vitales en pediatría," *Rev. GASTROHNUPI*, vol. 13, pp. 58–70, 2013.
- [9] A. Aguayo and P. Lagos, "Guía clínica de control de signos vitales." Universidad Perdo de Valdivia.
- [10] Newark element 14, "CHIPKIT PI - Tarjeta de Desarrollo." .
- [11] Raspberry Pi Foundation, "VideoCore IV GPU," 2016. .
- [12] P. Cingolani and J. Alcalá-Fdez, "jFuzzyLogic: a Java

Library to Design Fuzzy Logic Controllers According to the Standard for Fuzzy Control Programming,” *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, vol. 6, no. sup1, pp. 61–75, 2013.

- [13] Evasent, “Medición de Temperature usando el sensor (LM35).”
- [14] World Famous Electronics llc., “Pulse Sensor.” .
- [15] NPX Semiconductors, “I 2C-bus specification and user manual.” 2014.
- [16] E. R. N. Flórez, R. V. Ortiz, and J. J. B. García, “Sistema Experto Basado en Lógica Difusa Tipo 1 para Determinar el Grado de Riesgo de Preeclampsia,” *INGE CUC*, vol. 10, pp. 45–50, 2014.
- [17] L. Alpízar and E. Medina, “La fiebre. Conceptos básicos,” *Revista Cubana Pediatría*, vol. 70, La Habana, pp. 79–83, 1998.
- [18] E. Tintín, “Diseño y elaboración de un Prototipo de monitor de signos vitales aplicando métodos no invasivos con comunicación de datos a dispositivos móviles,” Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [19] Libelium, “MySignals - eHealth and Medical IoT Development Platform.” [Online]. Available: <http://www.my-signals.com/>.