

DSEMP: Desarrollo de un sistema embebido para el monitoreo de partículas de polvo basado en el Internet de las Cosas (IoT)

M. Alberto Ruiz^{1, a}, J. Francisco Rodríguez^{2, b}, D. Villanueva^{3, c}, H. Estrada^{2, d}, J. Carlos Tellez^{2, e}

¹Universidad Autónoma de Aguascalientes campus Sur. Ags., México.

²Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación. Aguascalientes, Ags., México.

³INFOTEC/Cátedra CONACyT, Aguascalientes, Ags., México.

^aal177788@edu.uaa.mx, ^bfrancisco.rodriguez@infotec.mx, ^cdaniel.villanueva@infotec.mx, ^dhugo.estrada@infotec.mx, ^ejuancarlos.tellez@infotec.mx

Resumen— El presente trabajo describe DSEMP: Desarrollo de un Sistema Embebido para el Monitoreo de Partículas de polvo capaz de medir la contaminación (del aire) basado en el Internet de las Cosas (IoT). DSEMP realiza las mediciones de partículas de polvo (“Particulate Matter”, PM), en tres rangos, PM1, PM2.5 Y PM10 con el fin de realizar un monitoreo en un ambiente hospitalario. Una vez realizadas las mediciones se envían los datos a la plataforma FIWARE¹. Asimismo, un usuario experto (epidemiólogo), a través de una aplicación puede visualizar e interpretar los datos sobre el monitoreo de partículas de polvo.

Finalmente, se muestran los resultados que permiten, por un lado, demostrar el desarrollo del sistema y, por otro lado, decir que el sistema se puede considerar como una opción de ayuda a los problemas de infecciones nosocomiales en los ambientes hospitalarios.

Palabras clave: Sistema embebido, PM1-PM2.5-PM10, FIWARE, IoT.

1. Introducción

Actualmente, existe la preocupación en todos los países por las Infecciones Nosocomiales (IN) [1]. Las IN son uno de los problemas más importantes que ocurren en los hospitales, específicamente en las Unidades de Cuidados Intensivos (UCI), con mayor frecuencia se desarrollan en los pacientes y constituyen un riesgo permanente de la asistencia sanitaria con notable repercusión en morbilidad, mortalidad, estancias y costos [2]. Las IN son uno de los problemas más importantes que suelen ocurrir en un hospital, la mayoría de las veces suele ser difícil detectar los factores que ocasionan las IN, por lo tanto, suele ser imposible prevenirlas por completo [3]. Sin embargo, para poder prevenirlas, existen medidas generales (protocolos) que en muy pocas ocasiones se cumplen con normatividad [4]. Por desgracia, son mínimas las estrategias que se usan para saber si estas medidas de prevención se están llevando a cabo de manera correcta. En México, se calcula que 450 mil casos de infección relacionadas con la atención sanitaria causan 32 muertes por cada 100 mil habitantes al año [5]. Los programas de vigilancia y control de las infecciones nosocomiales son estrategias esenciales para aumentar la calidad del cuidado de la salud del paciente y disminuir los costos en los hospitales. Las infecciones nosocomiales tienen su origen tanto en reservorios inanimados (respiradores, sistemas de monitorización, superficies, etc.) como en portadores (trabajadores sanitarios o pacientes colonizados-infectados) y pueden transmitirse durante la práctica de la

higiene o en el tratamiento terapéutico de los pacientes [6]. Algunas de las medidas de prevención que se han implementado para prevenir las infecciones nosocomiales son, la higiene de manos, higiene ambiental, detección de portadores de bacterias resistentes, aislamiento, reducción de estancia en UCI, entre otras. Pero actualmente no hay forma de saber si estas medidas se están llevando adecuada y correctamente. Es decir, no existe algo que nos permita ver (literalmente) en un hospital que el número de bacterias o virus se ha reducido gracias a esas medidas, es por ello que parte del personal de salud omite los procesos de prevención. Sin embargo, es una realidad que los malos procesos y acciones están dañando perjudicialmente a los pacientes, sin mencionar el costo que implica la obtención de una infección nosocomial [7].

Por un lado, el Internet de las Cosas (IoT), es un nuevo paradigma que está ganando terreno rápidamente en el escenario de las telecomunicaciones inalámbricas modernas en diferentes campos de aplicación [8]. La idea básica de este concepto es la presencia omnipresente a nuestro alrededor de una variedad de cosas u objetos, como etiquetas de identificación de radiofrecuencia, sensores, actuadores, teléfonos móviles, etc., que, a través de esquemas de direccionamiento únicos, son capaces de interactuar entre ellos y cooperar con sus vecinos para alcanzar objetivos comunes [9]. Por otro lado, los sistemas de monitoreo hacen uso del IoT a través de sensores y actuadores que permiten a los distintos procesos, generar una mejor calidad o rendimiento. Por ejemplo, las redes de sensores que juegan un papel crucial en el IoT. De hecho, pueden cooperar con los sistemas de RFID (*Radio Frequency Identification*) para rastrear mejor el estado de las Cosas, es decir, su ubicación, temperatura, movimientos, etc. Como tales, pueden aumentar la conciencia de un cierto ambiente y, así, actuar como un puente adicional entre mundo físico y digital [10]. Asimismo, el uso de redes de sensores ha sido propuesto en varios escenarios de aplicación, tales como; monitoreo ambiental, de salud, sistemas inteligentes de transporte, militares, monitoreo de plantas industriales entre otros [11], [12].

En la actualidad los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de distintos sistemas de monitoreo en varios campos

¹ <https://www.fiware.org/>

de aplicación para la mejora de proceso, mercados productos y servicios [13]. Estas tecnologías se orientan a simplificar y facilitar cuestiones de la vida diaria. Por lo tanto, el área de la medicina es de gran importancia para el desarrollo de sistemas de monitoreo en tiempo real y, a su vez, un campo abierto para su explotación [14].

En el 2015, A. Priyadarshini presenta un trabajo en el cual se utiliza un sensor OPC-N2 (*Optical Particle Counter*) para crear un sistema de alarma con detección crítica, de advertencia y normal. El sensor envía los datos a una pantalla táctil en tiempo real. Su objetivo fue presentar un sistema portátil que se centra principalmente en el monitoreo de PM2.5 y PM10 con mediciones tanto en exteriores como en interiores, el OPC-N2 fue seleccionado con el objetivo de su idoneidad para las aplicaciones deseadas [15]. Por lo tanto, el desarrollo de *DSEMP*, resulta una alternativa para el monitoreo de datos en tiempo real, donde un usuario experto puede tomar decisiones sobre la calidad del ambiente en un entorno hospitalario. El objetivo es detectar aquellas salas que no se les aplica un buen protocolo de higiene y detectar los valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas en el aire según la norma oficial mexicana de salud ambiental (*NOM-025-SSA1-2014*)². Finalmente, detectar si los diferentes métodos que se usan para prevenir las distintas infecciones, se están realizando de manera correcta.

2. Desarrollo del Sistema *DSEMP*

El desarrollo del sistema se ha realizado a partir de un conjunto de componentes disponibles dentro de la plataforma *FIWARE*. *FIWARE* es una plataforma que desarrolla un ecosistema sostenible abierto a todo el público, libre de reglas y estándares de plataformas de software de aplicación que facilita el desarrollo de nuevas aplicaciones inteligentes en múltiples sectores [16].

Para el desarrollo del hardware, se realizaron búsquedas para la obtención del material requerido en base a calidad y precio, así como los antecedentes e investigación del campo de su aplicación. Además, se realizaron pruebas físicas para verificar el correcto funcionamiento. Finalmente, se generó un diseño esquemático para el desarrollo del PCB (*Printed Circuit Board*). Una vez terminado el hardware, la arquitectura del sistema se muestra en la Fig. 1.



Fig. 1. Arquitectura del sistema embebido para el monitoreo de partículas de polvo basado en el Internet de las Cosas.

Asimismo, para la comunicación con la plataforma *FIWARE*, es necesario especificar los puertos de seguridad y generar la IP para que a través de una API permita la comunicación con el sensor, (ver Fig. 2).

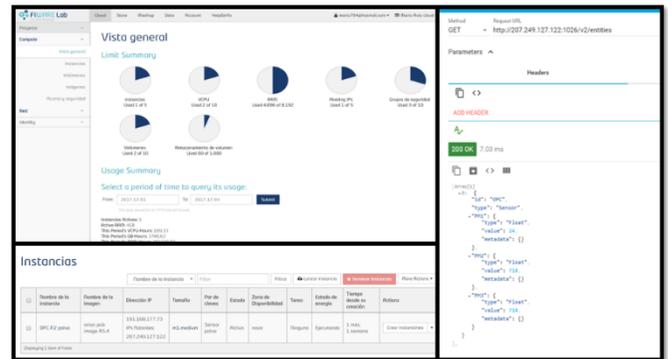


Fig. 2 Plataforma Fiware para la creación de cuenta, instancia y desarrollo de la comunicación.

Una vez obtenidos los datos, el experto puede visualizar y monitorear los valores de las partículas de polvo a través de una interfaz desarrollada en una aplicación móvil basada en Internet de las Cosas. Finalmente, los valores se almacenan en una base de datos para futuras consultas por un experto (epidemiólogo). La Fig. 3 muestra la interfaz del sistema desarrollada para aplicaciones móviles.

² http://diariooficial.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014



Fig. 3 Interfaz del sistema *DSEMP* para aplicaciones móviles

Para establecer la comunicación entre los dispositivos que componen el sistema y la plataforma *FIWARE*, se realizaron a través de protocolos de control que permiten el manejo de las variables de interés del sensor. Asimismo, protocolos de comunicación Wifi para que dichas variables tengan conexión en la nube. El protocolo general de comunicación utilizado por *DSEMP* se muestra en la Fig. 4.

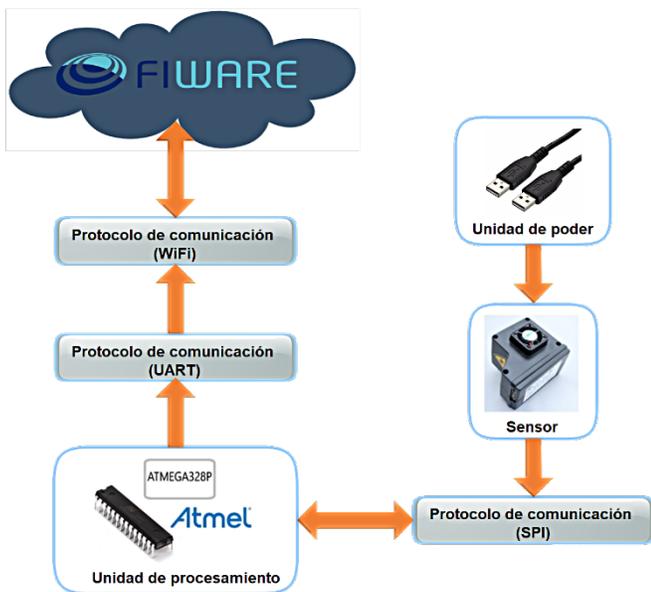


Fig. 4 Protocolo de comunicación *DSEMP* basado en IoT

Las pruebas del sistema *DSEMP* para monitorear partículas de polvo se han realizado en el centenario “Hospital Miguel Hidalgo” de la ciudad de Aguascalientes, Ags. México. La Fig. 5, muestra al sensor en la unidad de cuidados intensivos procesando muestras que permitan obtener los datos y enviarlos a la plataforma *FIWARE* en la nube.

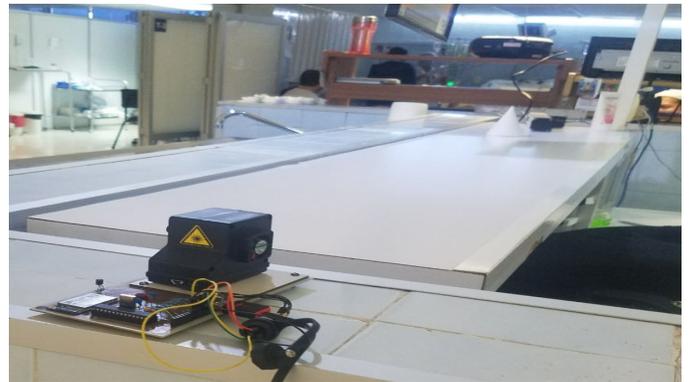


Fig. 5 Adquisición de datos para el monitoreo

Las señales transmitidas por el sensor OPC-N2 y el módulo Wifi al microcontrolador se observan a través de un osciloscopio especial que permiten verificar el envío y recepción de señales transmitidas (ver Fig. 6).

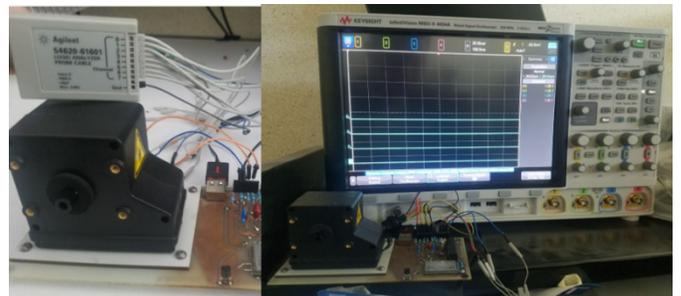


Fig. 6 Obtención de las señales del sensor

En cuanto al análisis de los resultados, a través de las diferentes pruebas se puede observar y monitorear la contaminación que existe en la Unidad de Cuidados Intensivos. La Fig. 7, muestra los diferentes rangos obtenidos para el monitoreo de partículas de polvo.

| PM1 | PM2.5 | PM10 | PM1 | PM2.5 | PM10 | PM1 | PM2.5 | PM10 |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 8.85 | 13.12 | 39.56 | 10.35 | 16.35 | 53.26 | 12.71 | 19.92 | 28.11 |
| 8.63 | 12.48 | 20.8 | 12.18 | 20.68 | 79.41 | 12.25 | 19.76 | 48.39 |
| 8.85 | 12.85 | 17.95 | 12.3 | 19.73 | 58.98 | 12.11 | 19.62 | 30.34 |
| 8.95 | 13.2 | 32.07 | 12.17 | 19.93 | 75.34 | 12.45 | 19.86 | 35.02 |
| 8.55 | 12.42 | 30.38 | 14.93 | 25.75 | 103.59 | 11.88 | 19.53 | 50.01 |
| 8.52 | 12.39 | 31.31 | 13.12 | 22.99 | 130.38 | 12.73 | 20.18 | 60.6 |
| 8.54 | 13.2 | 34.57 | 12.23 | 19.36 | 59.4 | | | |

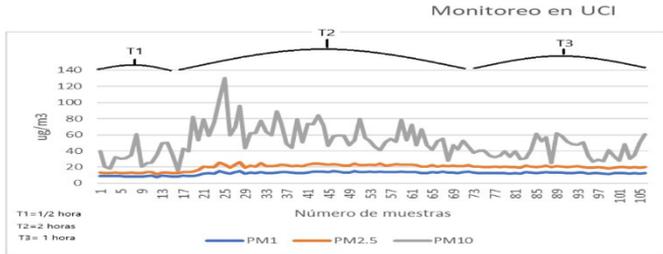


Fig. 7 Rangos de medición para el monitoreo de partículas de polvo

Los rangos muestran el monitoreo referenciando los límites de la norma oficial mexicana de salud ambiental. PM10 se encuentra por arriba del límite establecido lo que indica que el área se encuentra contaminada. También se observan el aumento evidente en partículas PM2.5 y PM1.

Existen varios protocolos para combatir y prevenir IN en ambientes hospitalarios. Tal como se mencionó en el apartado de la introducción. Sin embargo, no hay ninguno que nos compruebe que dichos protocolos se han llevado a cabo correctamente. Por lo tanto, *DSEMP* basado en el IoT es una opción de ayuda a los problemas de infecciones nosocomiales en los ambientes hospitalarios a través de un monitoreo.

Con los resultados obtenidos *DSEMP* permite el monitoreo de partículas de polvo. Además, es posible determinar si el ambiente o área donde se encuentra un paciente, existe contaminación en el aire. La implementación de un sistema como *DSEMP*, las probabilidades de encontrar el factor causante de infecciones nosocomiales y pulmonares aumentaría en los escenarios hospitalarios, ya que si el personal está realizando una buena higiene el sensor deberá ser comprobado con mínimos índices de contaminación, y si aun así se presentan infecciones nosocomiales que no involucren el aire, se podrán reducir notablemente los causantes, de esta manera se asegura que los protocolos que deben implementarse se llevan a cabo correctamente y se tiene la seguridad de que el ambiente en el que se encuentra el paciente es adecuado para su salud.

3. Conclusiones

La mayoría de las fuentes de contaminación del aire exterior están más allá del control de las personas. Sin embargo, hoy en día, se requieren medidas de prevención y vigilancia por parte

de todo el personal que ingresa a un hospital, sobre todo, en la UCI donde existen normas establecidas que se necesitan cumplir con responsabilidad.

La arquitectura propuesta para *DSEMP* permite realizar el monitoreo de partículas de polvo en un ambiente hospitalario basado en el Internet de las Cosas. Además, el sistema puede ser utilizado como una herramienta alternativa para prevenir las distintas infecciones nosocomiales y aumentar la calidad del cuidado de la salud del paciente, así como disminuir los costos en los hospitales.

Los protocolos de comunicación basados en el IoT para el sistema permiten generar el envío y obtención de los datos en tiempo real. Asimismo, los resultados son de utilidad para el usuario experto que puede tomar decisiones sobre la calidad del ambiente en un entorno hospitalario.

DSEMP ha presentado resultados prometedores. Por un lado, se ha comprobado que el monitoreo continuo de partículas de polvo basado en el Internet de las Cosas permite identificar la contaminación del aire en una UCI. Por otro lado, los protocolos de comunicación con *FIWARE* resultan eficientes para la correcta transmisión de los datos.

4. Referencias

- [1] M. Pujol, E. L.-E. infecciosas y microbiología clínica, and undefined 2013, "Epidemiología general de las infecciones nosocomiales. Sistemas y programas de vigilancia," *Elsevier*.
- [2] R. D. Díaz-Ramos, F. Solórzano-Santos, G. Padilla-Barrón, G. Miranda-Navales, R. González-Robledo, and J. A. Trejo y Pérez, "Infecciones nosocomiales. Experiencia en un hospital pediátrico de tercer nivel," *Salud Publica Mex.*, vol. 41, 1999.
- [3] R. Díaz-Ramos, ... F. S.-S.-S. pública, and undefined 1999, "Infecciones nosocomiales. Experiencia en un hospital pediátrico de tercer nivel," *SciELO Public Heal*.
- [4] G. Ducl, J. Fabry, L. Nicolle, and W. H. Organization, "Prevención de las infecciones nosocomiales: guía práctica," 2003.
- [5] M. S.-R. C. & Saúde and undefined 2015, "PATÓGENOS NOSOCOMIALES EN SUPERFICIES VIVAS E INERTES EN INSTITUCIONES DE SALUD DEL ESTADO DE QUERÉTARO," *revistas.unijui.edu.br*.
- [6] M. Palomar, P. Rodríguez, M. Nieto, S. S.-M. Intensiva, and undefined 2010, "Prevención de la infección nosocomial en pacientes críticos," *SciELO Espana*.
- [7] C. Gerson, "INFECCIONES POST QUIRURGICAS," *revistasbolivianas.org.bo*.
- [8] A. Whitmore, A. Agarwal, and L. Da Xu, "The Internet of Things—A survey of topics and trends," *Inf. Syst. Front.*, vol. 17, no. 2, pp. 261–274, Apr. 2015.
- [9] S. Li, L. Da Xu, and S. Zhao, "The internet of things: a survey," *Inf. Syst. Front.*, vol. 17, no. 2, pp. 243–259, Apr. 2015.
- [10] D. Niyato, ... E. H.-I. J. on S., and undefined 2009, "Remote patient monitoring service using heterogeneous wireless access networks: architecture and optimization," *ieeexplore.ieee.org*.
- [11] A. Ilic, T. Staake, E. F.-I. P. Computing, and undefined 2009, "Using sensor information to reduce the carbon footprint of perishable goods," *ieeexplore.ieee.org*.
- [12] S. Kim, S. Pakzad, D. Culler, ... J. D.-... processing in sensor, and

- undefined 2007, "Health monitoring of civil infrastructures using wireless sensor networks," *dl.acm.org*.
- [13] A. Cerpa, J. Elson, D. Estrin, L. Girod, M. Hamilton, and J. Zhao, "Habitat monitoring," *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 31, no. 2 supplement, p. 20, Apr. 2001.
- [14] R. Y. Rodriguez, "Sistema de Monitoreo remoto basado en IOT para el monitoreo de señales electrocardiográficas mediante un módulo sensor utilizando websockets," 2016.
- [15] A. Priyadarshini, N. D.-... (IBSS), 2015 IEEE, and undefined 2015, "A real time portable embedded system design for particulate matter monitoring," *ieeexplore.ieee.org*.
- [16] P. Moreno Pina *et al.*, "ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN PROYECTO FIN DE GRADO TÍTULO: Estudio y desarrollo de la plataforma FIWARE para servicios eHealth."

5. Biografías

M. Alberto Ruíz. Es egresado de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Actualmente es becario en el laboratorio de sistemas embebidos (LabSE) del INFOTEC, Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación en Aguascalientes, Ags., México. Su interés es el desarrollo de sistemas embebidos basados en el IoT.

J. Francisco Rodríguez. Es investigador de tiempo completo en el INFOTEC Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación en Aguascalientes, Ags., México. Coordina el laboratorio de sistemas embebidos (LabSE), la maestría en sistemas embebidos y el grupo de trabajo Embedded Thinking del INFOTEC. Es maestro en ciencias en ingeniería biomédica por la Universidad Autónoma Metropolitana. Su interés es el desarrollo de sistemas embebidos orientados a la salud.

Daniel Villanueva-Vásquez. Es catedrático Conacyt e investigador de tiempo completo en el Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación en Aguascalientes, Ags., México. Daniel obtuvo su doctorado en la Universidad Carlos III de Madrid, estudió su maestría en Electrónica con especialidad en Sistemas Digitales por el Instituto Tecnológico de Orizaba, México. Sus intereses de investigación incluyen, sistemas inteligentes, sistemas embebidos, IoT, web semántica, Sistemas Digitales, Procesamiento de Señales, Inteligencia Colectiva, Ingeniería Electrónica Automotriz y Procesamiento Digital de Imágenes.

Hugo Estrada-Esquivel. Es investigador de la Dirección Adjunta de Innovación y Conocimiento de INFOTEC Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación. Actualmente es el responsable de la Iniciativa FIWARE en México y coordina el único nodo de FIWARE Lab. fuera de Europa. Cuenta con diversos proyectos relacionados con la implantación de FIWARE en el

mundo. Sus intereses de investigación son el cómputo en la nube, Internet de las Cosas y Big Data.

Juan Carlos Téllez Mosqueda. servidor público, académico, consultor y empresario, es doctor en Economía por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), maestro en Historia por la Universidad Iberoamericana (UIA) y licenciado en Economía por la UNAM. Tanto en la licenciatura como en la maestría obtuvo mención honorífica, y por su investigación doctoral recibió el Premio Banamex de Economía. Entre sus otros estudios destacan los diplomados en Planeación Estratégica y Prospectiva Política en la UIA y el de Políticas Públicas en el Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM)