

IoT-based system prototype for particulate matter monitoring in the city of Chitre, Panama

Eladio Quintero¹, Jonathan González¹, Felisindo García¹, Yessica Sáez, Ph.D.^{1,2}, and Edwin Collado, Ph.D.^{1,2,*}

¹ Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, {eladio.quintero1, jonathan.gonzalez14, felisindo.garcia, yessica.saez, edwin.collado}@utp.ac.pa

² Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología AIP (CEMCIT AIP, Panamá)

*Corresponding author: edwin.collado@utp.ac.pa

Abstract– Air pollution is a global problem that has been increasing in recent years due to industrial growth in countries. One of the most harmful air pollutants is particulate matter due to its possible effects on human health and its rapid dispersion over large areas. Therefore, the purpose of this study is to design a prototype system based on the Internet of Things (IoT) to measure environmental pollution, specifically particulate matter (PM10 and PM2.5). The prototype is composed by a Nova PM SDS011 sensor that detects particles (dust, dirt, soot and/or smoke in the air), a microcontroller that is in charge of controlling the tasks in the system and sending the information to through the Internet to a data visualization platform that stores and displays all the data in real time interactively through tables and graphs. For its validation, the prototype was implemented near a landfill that is exposed to the open sky in the city of Chitre-Herrera-Panamá, where a study was carried out to determine the concentration of particle and air quality. The obtained results showed that the prototype is a viable tool for measuring the concentration levels of particulate matter, since during the measurement period interesting patterns were obtained regarding pollution and population behavior. In addition, our analysis also showed that the proposed design is accessible to a large part of the population due to its low cost, which makes it competitive with other commercial products. For all these reasons, our research seeks to provide an efficient and low-cost technological tool to the population to obtain relevant information on the levels of contamination of particulate matter present in the city of Chitre.

Keywords– Air pollution, Internet of Things (IoT), particulate matter, microcontroller, sensors.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Prototipo de sistema basado en IoT para monitoreo de material particulado en la ciudad Chitré, Panamá

Eladio Quintero¹, Jonathan González¹, Felisindo García¹, Yessica Sáez, Ph.D.^{1,2}, and Edwin Collado, Ph.D.^{1,2,*}

¹ Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, {eladio.quintero1, jonathan.gonzalez14, felisindo.garcia, yessica.saez, edwin.collado}@utp.ac.pa

² Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología AIP (CEMCIT AIP, Panamá)

*Autor de correspondencia: edwin.collado@utp.ac.pa

Resumen—La contaminación del aire es un problema mundial que ha ido en aumento en los últimos años debido al crecimiento industrial de los países. Uno de los agentes contaminantes del aire más perjudiciales es el material particulado debido a sus posibles efectos sobre la salud de las personas y su rápida dispersión en áreas de gran tamaño. Por ello, el propósito de este estudio es diseñar un prototipo de sistema basado en Internet de las Cosas (IoT) para medir la contaminación ambiental, específicamente de material particulado (PM10 y PM2.5). El prototipo está compuesto por un sensor Nova PM SDS011 que detecta partículas (polvo, la suciedad, el hollín y/o el humo en el aire), un microcontrolador que es el encargado de controlar las tareas en el sistema y enviar la información a través de Internet a una plataforma de visualización de datos que almacena y muestra en tiempo real todos los datos de forma interactiva por medio de tablas y gráficas. Para su validación, el prototipo fue implementado cerca de un vertedero que está expuesto a cielo abierto en la ciudad de Chitré, Panamá, donde se realizaron estudio de concentración de partículas y calidad de aire. Los resultados obtenidos mostraron que el prototipo es una herramienta viable para la medición de los niveles de concentración de material particulado, ya que durante el periodo de medición se obtuvieron patrones interesantes con respecto a la contaminación y comportamiento de la población. Además, nuestro análisis también demostró que el diseño propuesto es accesible a gran parte de la población debido a su bajo costo, lo cual lo hace competitivo con otros productos comerciales. Por todas estas razones, nuestra investigación busca brindar una herramienta tecnológica eficiente y de bajo costo a la población para obtener información pertinente sobre los niveles de contaminación de material particulado presente en la ciudad de Chitré, Panamá.

Palabras claves— Contaminación atmosférica, Internet de las Cosas (IoT), material particulado, microcontrolador, sensores.

I. INTRODUCTION

Los grandes avances tecnológicos e industriales que han beneficiado la humanidad en los últimos años han provocado un consumo masivo de recursos naturales y energéticos. Esta enorme demanda ha provocado la generación de grandes desechos y emisiones contaminantes a la atmósfera. La contaminación atmosférica o de aire representa un grave problema para la salud, en especial la del ser humano [1]. Uno de los principales contaminantes que afecta a la calidad del aire

es el material particulado (PM), la cual está presente en una gran variedad de formas y tamaños, conformada por cientos de diferentes químicos tanto sólidos como líquidos [2]. Las partículas se forman en la atmósfera como producto de reacciones químicas y según su tamaño pueden agruparse en dos grandes bloques: PM10 (partículas de diámetro general de 10 micrómetros) y PM2.5 (partículas de diámetro general de 2.5 micrómetros) [3].

Según estimaciones de la Organización Mundial de La Salud (OMS), existe una estrecha relación de la mortalidad y la morbilidad a corto y a largo plazo debido a grandes exposiciones de material particulado, incluso en concentraciones muy bajas pueden incidir efectos sobre la salud [2]. Los efectos que estas provocan van desde enfermedades pulmonares, problemas cardiovasculares, ataques de asma y deterioro de los pulmones [2],[4].

Los estudios realizados por la OMS estimaron que más 150 millones de personas en América Latina y el Caribe habitan en ciudades cuyos niveles de contaminación atmosférica superaba los límites impuestos por las directrices del 2005 [4]. Por esta razón, la OMS en 2021 presentó una versión actualizada sobre las directrices de la calidad del aire, las cuales ofrecen una evaluación sobre los niveles de contaminación que son perjudiciales para la salud con el objetivo de reducir las emisiones de contaminantes y disminuir el riesgo de padecer enfermedades [2],[5]. En la Tabla I, se muestran los niveles de contaminación permisible impuestos por la OMS [6], según su periodo. En el caso de Panamá no existe una política nacional concreta que establezca los límites máximos permisibles de la calidad del aire, por lo que se utilizan las directrices de la OMS y un anteproyecto de ley que hasta la fecha no se ha aprobado.

TABLA I
NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE PM PERMISIBLES POR LA OMS [6].

Contaminantes	Periodo	Nivel de Contaminación (µg/m3)
PM10	Anual	15
	24 horas	45
PM2.5	Anual	5
	24 horas	15

La contaminación por material particulado es un problema trascendental. El compromiso para disminuir su presencia en la atmósfera y mejorar la calidad del aire deber ser global y todas

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

las sociedades deben de trabajar en conjunto para realizarlo. Conocer la concentración de partículas en el aire en determinada ciudad significaría tener una mayor conciencia sobre el nivel de contaminación que se está produciendo y poder realizar medidas para mitigarlas. Esto ha llevado a la comunidad científica a investigar y desarrollar soluciones tecnológicas para medir la concentración de material particulado. Por ejemplo, en el trabajo presentado en [7] determinaron la concentración de PM10 y PM2.5 utilizando sensores para estudiar la calidad ambiental de aire en Perú, verificando si esta cumple con los estándares del país. Los autores en [8] presentan un sistema de monitoreo de partículas que consta de nodos de medición con comunicación LoRa que transmiten datos a una plataforma IoT. En [9], se desarrolla un prototipo IoT con un sensor de PM de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire. Sus resultados demostraron que el sensor seleccionado era adecuado para la tarea de monitoreo ambiental, sin embargo, este sensor producía una sobreestimación cuando la humedad relativa excedía el 75%. En el estudio realizado en [10] también realizaron un estudio sobre el impacto de la humedad en los sensores de PM, llegando a conclusiones similares. Los autores en [11] utilizaron sensores PMS7003 y SDS011 para el desarrollo de un sistema de monitoreo de PM. Sus resultados muestran altas correlaciones con los sensores de alta precisión y que los mismos han de ser útiles para la detección de concentración de PM.

Como se ha mencionado anteriormente, una de las consecuencias más importantes de la contaminación atmosférica son los gases nocivos emitidos por los autos, incendios, la ganadería, e industrias. En Panamá, otro de los grandes problemas ambientales que enfrentan las ciudades y pueblos son las contaminaciones provenientes de los vertederos. Esta situación no es ajena a la ciudad de Chitré, por lo que se hace necesario determinar los niveles de contaminación que afectan la salud de la población. Los habitantes de esta región están constantemente expuestos a emisiones de contaminantes atmosféricos [12]. En la investigación realizada en [13] sobre el material particulado ambiental en Panamá determinaron que la concentración de PM10 en la ciudad de Panamá era superior durante la estación seca que durante la estación lluviosa y por lo general excedían el valor recomendado de 40 ug/m³ establecido internacionalmente en 2005 por la OMS. Por esta razón, el objetivo de esta investigación es desarrollar un prototipo de bajo costo basado en Internet de las Cosas (IoT) para monitorear concentraciones de material particulado presente en la ciudad de Chitré-Herrera-Panamá, la cual es susceptible de contaminación atmosférica debido a su vertedero a cielo abierto que está cercano a muchas comunidades. El proyecto propuesto consta de un sensor Nova PM SDS011 de PM de bajo costo que mide los niveles de material particulado en el aire. Esta información es procesada por un microcontrolador y enviada a través de Internet a una plataforma de visualización de datos en línea para analizar la información en tiempo real.

Con esta herramienta se busca analizar el comportamiento de la concentración de material particulado para aportar

información a entidades públicas y privadas, autoridades de gobierno y población en general sobre la contaminación que producen estas partículas procedentes del vertedero y demás fuentes. Esta información puede aportar evidencias para la toma de decisiones concretas para mejorar el ambiente y por ende el bienestar de los ciudadanos.

El artículo está organizado de la siguiente manera: La Sección II describe el diseño y metodología utilizada en el proyecto. La Sección III presenta el análisis de resultados. La sección IV presenta las conclusiones.

II. DISEÑO Y METODOLOGÍA

El análisis de este proyecto está centrado en una investigación aplicada, con el objetivo de presentar una posible solución a un problema existente en la región, desarrollando un algoritmo y detallando los componentes necesarios para la fabricación e implementación de este sistema. En esta sección se presentará la formulación del problema, el modelo conceptual y materiales utilizados en el sistema, la implementación del sistema y recolección de datos.

A. Formulación del problema

El desarrollo económico, turístico e industrial alcanzado por Panamá en las últimas décadas ha causado consecuencias perjudiciales al incrementar los niveles de contaminación de suelo, agua y aire en el país, siendo la contaminación de aire una de las principales causas de muertes y casos reportados en los centros de salud. Por ello, el presente trabajo busca desarrollar una herramienta basada en IoT para el monitoreo de la concentración de material particulado PM10 y PM2.5, con el fin de brindar información valiosa para mitigar este problema e implementar mecanismos de prevención apropiados.

B. Modelo conceptual

En este punto se presenta el diseño y programación del sistema propuesto. El diseño del prototipo inicia con una revisión literaria acerca de sistemas de monitoreo de material particulado, donde se pudieron analizar diferentes modelos y sensores utilizados. Una vez terminada esta fase, se procede a diseñar el sistema, para el cual se tomaron en cuenta modelos basados en IoT y sensores de PM, como el PM Shinyei PPD42NJ y el Nova PM Sensor SDS011. Estos dos sensores resaltaron la literatura debido a su bajo costo y efectividad. Debido a la facilidad de programación, implementación y forma de presentar los datos, se seleccionó el sensor Nova PM Sensor SDS011 para nuestro prototipo.

El diseño del sistema basado en IoT para el monitoreo de PM consta de un sensor de material particulado Nova PM SDS011 para medir partículas, como el polvo, la suciedad, el hollín y/o el humo en el aire [14]. Este sensor está conectado mediante cable a un microcontrolador Arduino Yun que se encarga de procesar los datos del sensor, realizar tareas de monitoreo y enviar la información mediante una red de comunicación inalámbrica a Internet [15]. Esta información es almacenada en la base de datos de la plataforma de visualización de datos ThingSpeak, el cual permite al usuario

analizar los niveles de contaminación en tiempo real mediante gráficos y tablas, así como también exportar esta información para ser utilizada en otro equipo con programas especializados [16]. En la Fig. 1 se muestra el modelo conceptual del prototipo.

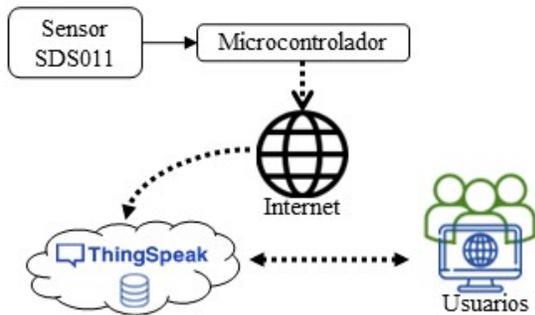


Fig. 1. Modelo conceptual del sistema de monitoreo de PM.

En la Fig. 2, se muestra el diagrama de flujo que presenta el funcionamiento del código de programación en el entorno IDE de Arduino. En este proceso se configura la comunicación del sensor con el microcontrolador, la comunicación del microcontrolador con la plataforma ThingSpeak, se establecen las variables para la lectura, se configuran las tareas de monitoreo y se envía la información a la plataforma.

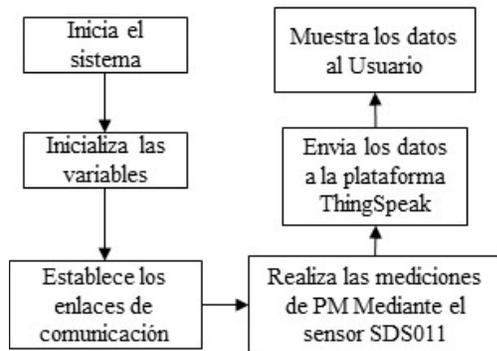


Fig. 2. Diagrama de flujo del funcionamiento del prototipo.

C. Materiales

Para el desarrollo físico del proyecto se necesitaron ciertos materiales los cuales presentamos en la siguiente tabla.

TABLA II
MATERIALES Y COSTO APROXIMADO DEL PROTOTIPO

Materiales	Costo aproximado (USD)
Nova PM Sensor SDS011	B/. 46.00
Microcontrolador Arduino Yún	B/. 75.00
Ventilador 5V	B/. 4.00
Plataforma Thingspeak	B/. 0.00
Otros materiales (cables, caja, extensión de corriente, etc.)	B/. 30.00
Total	B/. 155.00

Los precios especificados en la tabla son un aproximado de lo que se puede comprar en el mercado hoy en día. El Arduino Yún fue utilizado en este proyecto por su bajo costo,

facilidad de programar y todas sus características para comunicación por Internet esencial en proyectos IoT. El Nova PM Sensor SDS011 es un sensor de bajo costo y alta precisión para medir la concentración de partículas suspendidas de 2.5µm y 10µm, el cual trabaja bajo el principio de dispersión de la luz. La herramienta ThingSpeak es un servicio de plataforma de análisis de IoT que le permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en vivo en la nube. En el prototipo propuesto se utiliza la versión gratuita, sin embargo, para una implementación del sistema completo en una ciudad es necesario incluir la versión completa de la plataforma.

D. Fabricación del prototipo

La fabricación del prototipo se llevó a cabo en el Laboratorio de TIC para monitoreo ambiental del grupo de investigación en Ingeniería de Telecomunicaciones y Sistemas Inteligentes Aplicados a la Sociedad (ITSIAS) del Centro Regional de Azuero – UTP.

Para el ensamblaje se utilizaron los materiales de la Tabla II, obteniendo el prototipo que se observa en la Fig. 3. En este diseño la conexión del sensor con el microcontrolador se establece utilizando los pines RX, TX, 5V y GND del sensor y los pines 10 y 12 del Arduino Yún, donde los pines TX y RX se conectan directamente a los pines 10 y 12 del Arduino Yún.



Fig. 3. Prototipo de sistema de monitoreo de PM.

Para proteger el prototipo en el exterior, se fabricó una carcasa con material ácido poliláctico (PLA) en la impresora 3D del laboratorio, como se muestra en la Fig. 4 (derecha). Durante la fase de validación, los resultados obtenidos permitieron rediseñar el modelo de carcasa para optimizar sus dimensiones, sin alterar el funcionamiento del prototipo propuesto. La Fig. 4 (izquierda) muestra el segundo modelo de carcasa propuesto que reduce el tamaño del equipo un 69%, permitiendo así reducir también el costo del sistema.



Fig. 4. Carcasas de protección para el prototipo: modelo original (derecha) y modelo optimizado (derecha).

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se puede observar en ambas figuras, el Arduino junto con las conexiones se colocaron en la parte inferior de la carcasa quedando el sensor de PM en la parte superior en una pequeña cabina, donde el ventilador inyecta aire del exterior.

La Fig. 5 y 6 muestra miembros del grupo durante la etapa de fabricación y ensamblaje del prototipo.



Fig. 5. Fabricación del prototipo en laboratorio.



Fig. 6. Ensamblaje y validación del prototipo en laboratorio.

E. Implementación del sistema

El prototipo se implementó en el corregimiento de San Juan Bautista, Chitré, Herrera, Panamá, el cual está localizado a 2.4 km de distancia del vertedero municipal, siendo una de las fuentes de contaminación principal en Chitré y en la Villa de Los Santos. En este vertedero, se queman desechos todos los días a cielo abierto, emitiendo partículas contaminantes al aire causantes de varias enfermedades y afectando a una población aproximada de 58000 habitantes en los distritos de Chitré y La Villa de los Santos, según el censo de 2010 [17]. El área de estudio además es una de las de mayor concentración demográfica en Chitré, lo cual nos permite implementar nuestro estudio en un área de interés para la población.

F. Recolección de datos

Para evaluar la concentración de material particulado el prototipo se instaló en el exterior a una altura de 2 metros con respecto al suelo, con el fin de que el sensor tomara datos en un ambiente no controlado, determinando así la exposición de PM que afecta a las personas. Las mediciones de PM fueron realizadas por un periodo de 14 días, donde se registraban datos cada 15 segundos, obteniendo un registro total de 80640 datos de PM en el periodo de estudio. Estos datos serán analizados a continuación.

En las pruebas realizadas en el entorno antes mencionado, se obtuvieron resultados alentadores que demuestran el buen funcionamiento de prototipo desarrollado. Inicialmente, se validó la eficiencia del sensor SDS011 tomando como referencia las pruebas realizadas por el grupo de investigación ITSIAS en el trabajo [18], en el que compararon este sensor con un sensor comercial de alta precisión y los resultados que obtuvieron fueron prometedores con un error porcentual de diferencia mínimo, lo que nos indicó que el Nova PM Sensor SDS011 era fiable para realizar las mediciones.

Para iniciar el análisis, primero se procedió a comparar el funcionamiento del prototipo de sistema basado en IoT para monitoreo de material particulado utilizando ambos modelos de carcasas durante 24 horas. El objetivo de esto fue validar que la optimización del diseño de la carcasa no afectaba las mediciones de PM en el estudio. Como se puede observar en la Fig. 7, ambos modelos obtuvieron prácticamente los mismos valores de PM, lo cual demuestra que la reducción del tamaño de la carcasa no afecta el funcionamiento del sistema de monitoreo.

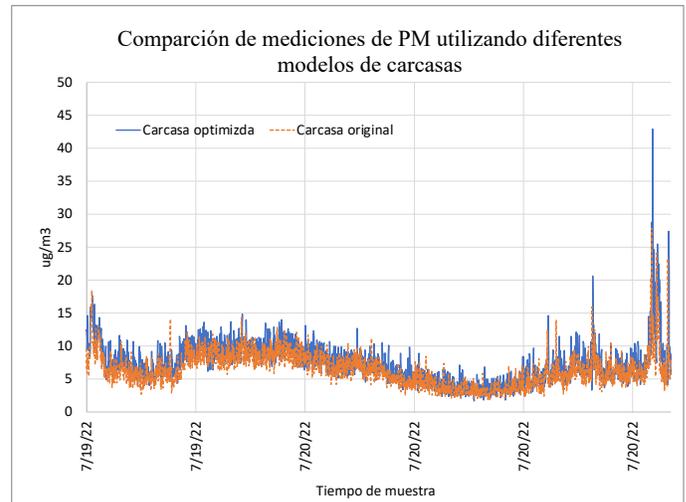


Fig. 7. Comparación de mediciones de PM utilizando diferentes modelos de carcasas.

Posteriormente, los datos recolectados por el prototipo fueron exportados y analizados en una computadora en el programa Microsoft EXCEL. En la Fig. 8 se muestra el comportamiento de la contaminación de material particulado PM10 en las dos semanas de estudio. Se puede observar que durante este periodo los niveles de contaminación aumentaron en instantes específicos del día, lo cual permite pensar que existe un factor que causa este problema. Estos patrones muestran que existe mayor contaminación por PM10 en los periodos de 6:00 a 9:00 AM y de 5:00 a 6:00 PM, lo que hace pensar que este fenómeno se debe al uso de automóviles por parte de la población. Además, se pueden observar indicadores de concentración interesantes como es el valor máximo de 136 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor mínimo de 0.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y valor promedio de 5.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante la primera semana y el valor máximo de 94

$\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor mínimo de $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y valor promedio de $3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante la segunda semana.

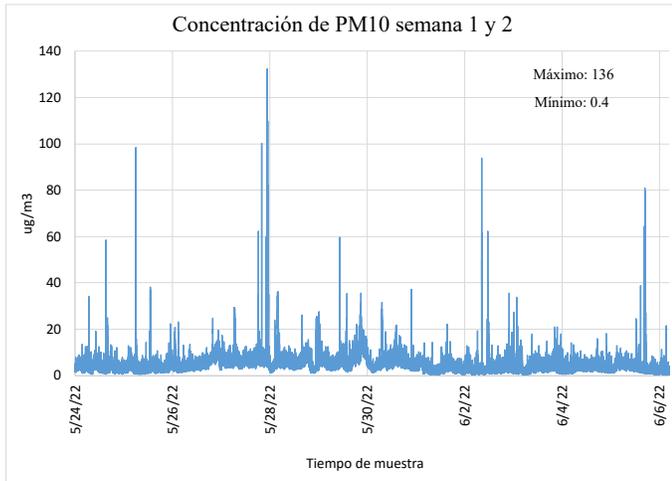


Fig. 8. Gráfica de la concentración de PM10.

En la Fig. 9 se muestra el comportamiento de la contaminación de material particulado PM2.5 en las dos semanas de estudio. Se puede observar que este contaminante cuenta con un comportamiento similar. Los niveles de contaminación también aumentaron en los periodos de 6:00 a 9:00 AM y de 5:00 a 6:00 PM, lo cual implica que el uso de automóviles por parte de la población está afectando la calidad de aire del lugar. En esta gráfica, se pueden identificar indicadores de concentración interesantes como es el valor máximo de $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor mínimo de $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y valor promedio de $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante la primera semana y el valor máximo de $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor mínimo de $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y valor promedio de $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante la segunda semana.

Los datos recolectados fueron comparados con los niveles permisibles de concentración de partículas mostrados en la Tabla I, donde pudimos observar que los niveles promedios que obtuvimos en periodos de 24 horas fueron significativamente inferior a los valores límites permitidos.

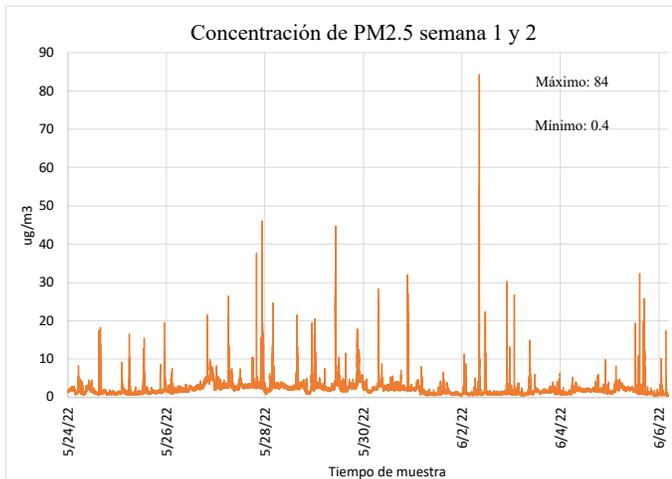


Fig. 9. Gráfica de la concentración de PM2.5.

Finalmente, se analiza el índice de la calidad del aire (AQI o ICA) según los niveles de concentración de PM en la ciudad de estudio. El valor del índice de la calidad del aire establece seis categorías de peligrosidad, de modo que cuanto mayor sea el índice, peor será la calidad del aire [19], [20]. A nivel cualitativo, el rango del ICA está dividido en seis tramos:

- Buena: Color verde (ICA de 0 a 50)
- Moderada: Color amarillo (ICA de 51 a 100)
- Dañina a la salud para grupos sensibles: Color naranja (ICA de 101 a 150)
- Dañina a la salud: Color rojo (ICA 151 a 200)
- Muy dañina a la salud: Color morado (ICA 201 a 300)
- Peligrosa: Color marrón (ICA superior a 300)

La Tabla III muestra los resultados obtenidos en el análisis de índice de calidad utilizando la siguiente ecuación.

$$AQI = \frac{I_{high} - I_{low}}{C_{high} - C_{low}} (C - C_{low}) + I_{low} \quad (1)$$

donde C es la concentración del contaminante, C_{low} es la ruptura de la concentración menor a C , C_{high} es la ruptura de la concentración mayor a C , I_{low} es el punto de ruptura del índice correspondiente a C_{low} . y I_{high} es el punto de ruptura del índice correspondiente a C_{high} .

TABLA III
ANÁLISIS DE ÍNDICE DE CALIDAD EN LA CIUDAD DE CHITRÉ, PANAMÁ

Día de estudio	AQI (PM10)	AQI (PM2.5)	Calidad de aire
10/06/2022	4.54	7.62	Bueno
17/06/2022	3.69	5.58	Bueno
26/06/2022	3.52	6.88	Bueno
28/06/2022	3.14	5.62	Bueno
02/07/2022	2.90	5.54	Bueno
05/07/2022	5.35	13.12	Moderado
08/07/2022	7.19	13.50	Moderado
10/07/2022	4.85	12.40	Moderado
12/07/2022	8.49	14.54	Moderado

Podemos observar que durante el periodo de estudio la calidad del aire en el lugar se mantuvo en un nivel bueno, cambiando a moderado durante los primeros días de julio debido a algunas actividades que comprometieron el ambiente en la zona.

IV. CONCLUSIONES

La salud de los seres vivos y el ambiente está siendo cada vez más afectado por la contaminación del aire producto del crecimiento demográfico y el desarrollo industrial de los países. Por esta razón, el propósito de este proyecto fue desarrollar un prototipo de un sistema basado en IoT que fuera eficiente, de bajo costo y fácil de utilizar para monitorear la concentración de material particulado PM presente en el aire.

El sistema propuesto consta de un sensor de PM de bajo costo y alto rendimiento, como se pudo observar en los resultados presentados, ya que este reacciona eficazmente a los cambios de concentración de material particulado, siendo concordante con la literatura y estudios previos. Además, cuenta con módulos de contaminación que permite su conexión a Internet, logrando así un contar con acceso a los datos desde cualquier parte del mundo. Esto además permite a sus usuarios conocer en tiempo real los niveles de concentración de este contaminante para aplicar los mecanismos de prevención y/o corrección adecuados.

El análisis realizado muestra un patrón de comportamiento interesante, ya que los niveles más altos de concentración se dieron en la mañana y la tarde, periodos donde aumenta el flujo vehicular en el punto de estudio. Además, el punto de estudio se encuentra cerca del vertedero de Chitré, lo cual puede aumentar la concentración de contaminantes ambientales. Sin embargo, según los resultados obtenidos se demuestra que la concentración promedio de las partículas PM10 y PM2.5, no superaron los límites permisibles establecido por la OMS.

Este proyecto presenta un impacto importante en los campos de telecomunicaciones y conservación de calidad aire en Panamá, ya que impulsa el desarrollo de herramientas panameñas adecuadas a las condiciones de nuestro país y brinda información abierta a la población para fortalecer la ciencia e investigación en nuestra región.

El trabajo propuesto se encuentra en una primera fase de investigación, por lo que en trabajos futuros se plantea incorporar un registro más amplio de la concentración de partículas y la mejora del diseño utilizando placas PCB.

ACKNOWLEDGMENT

Agradecemos al Laboratorio de TIC para monitoreo ambiental del grupo de investigación en Ingeniería de Telecomunicaciones y Sistemas Inteligentes Aplicados a la Sociedad (ITSIAS) del Centro Regional de Azuero – UTP por su apoyo durante las etapas de diseño y fabricación de prototipo. También, reconocemos el apoyo de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), el Sistema Nacional de Investigación (SNI) y el Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología AIP (CEMCIT AIP) por brindar el apoyo requerido en la realización de la investigación.

REFERENCES

[1] B. Chen and K. Haidong, "Air pollution and population health: a global challenge," *Environmental health and preventive medicine*, vol.13, no. 2, pp. 94-101, 2008.

[2] "Ambient air pollution (outdoors)," *WHO | World Health Organization*. [Online]. Available: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

[3] "Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés) | US EPA," *US EPA*. [Online]. Available: <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>

[4] "Guías actualizadas de la OMS sobre la calidad del aire y sus implicancias para los países latinoamericanos," *Salud sin Daño, Health Care Without Harm*. [Online]. Available: <https://saludsindanio.org/documentos/guia-calidad-aire-OMS>

[5] "New WHO guidelines on air quality will save lives," *Empowering the World to Breathe Cleaner Air | IQAir*. [Online]. Available: <https://www.iqair.com/es/blog/air-quality/2021-WHO-air-quality-guidelines>

[6] "WHO global air quality guidelines," *Journal of Information Processing and Management*, vol. 44, no. 6, p. 444, 2001. Accessed on May 20, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1241/johokanri.44.444>

[7] E.Y. Hernández Carmona and G.F. Méndez Cueva, "Programación de un medidor de calidad de aire usando el principio de dispersión láser para el monitoreo de la concentración de material particulado PM10 y PM2.5," *Repositorio Institucional de la Universidad Cesar Vallejo, 2020*. Accessed on May 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/61179>

[8] Y. Jaeseok, et al, "Real-time PM monitoring system based on oneM2M IoT platform and LoRa networks," *2019 IEEE SENSORS*. IEEE, 2019.

[9] M. Tagle et al., "Field performance of a low-cost sensor in the monitoring of particulate matter in Santiago, Chile", *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 192, no. 3, February 2020. Accessed on May 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8118-4>

[10] N. Streibl, Norbert, "Influence of Humidity on the Accuracy of Low-Cost Particulate Matter Sensors," *Techn. Ber. Technical report*. DOI 10 (2017).

[11] M. Badura, P. Batog, A. Drzeniecka-Osiadacz, and P. Modzel, "Optical particulate matter sensors in PM2.5 measurements in atmospheric air", *E3S Web of Conferences*, vol. 44, p. 00006, 2018. Accessed on May 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400006>

[12] "El vertedero de Chitré amenaza la salud de los residentes," *Redacción de TVN Noticias, TVN*. [Online]. Available: https://www.tvn-2.com/nacionales/vertedero-Chitre-amenaza-salud-residentes-video_0_4621037857.html

[13] B. Mójica, B. Fernández, O. Pérez, and J. Jaén, "Investigación sobre el material particulado ambiental en Ciudad de Panamá," *Tecnociencia*, vol. 11, n.º 1, pp. 9-28, may 2009.

[14] A. Božilov, et al, "Performance assessment of NOVA SDS011 low-cost PM sensor in various microenvironments," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 194.9, 595, 2022.

[15] M. Schwartz, "Internet of things with the Arduino Yun," Birmingham: Packt Publishing, 2014.

[16] M. Maureira, D. Oldenhof, and L. Teernstra, "ThingSpeak—an API and Web Service for the Internet of Things," *World Wide Web* 25, pp.1-4, 2011.

[17] "Estimaciones y proyecciones de la población en la república, provincia, comarca indígena por distrito, según sexo y edad; 2010-20," Instituto Nacional de Estadística y Censo. [Online]. Available: https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=499&ID_CATEGORIA=3&ID_SUBCATEGORIA=10 (accedido el 14 de junio de 2022).

[18] O. De León, B. Cedeño, E. Collado, Y. Sáez, and F. Canto, "Diseño de un Sistema basado en Internet de las Cosas para Monitoreo de Contaminantes de Aire," 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Prospective and trends in technology and skills for sustainable social development" "Leveraging emerging technologies to construct the future", Buenos Aires -Argentina, July 21-23, 2021.

[19] A. Plaia and R. Mariantonietta, "Air quality indices: a review," *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 10, pp. 165-179, 2011.

[20] D. Vallero, "Air pollution calculations: Quantifying pollutant formation, transport, transformation, fate and risks," Elsevier, 2019.