

expansión de la red de monitoreo. Los valores se encuentran representados por medio de gráficas y una tabla que utiliza un sistema de colores para indicar el estado del aire.

Estos datos pueden ser descargados en formato CSV (Valores separados por comas), compatible con una variedad de programas que van desde simples editores de texto hasta gestores de base de datos. De esta manera es posible.

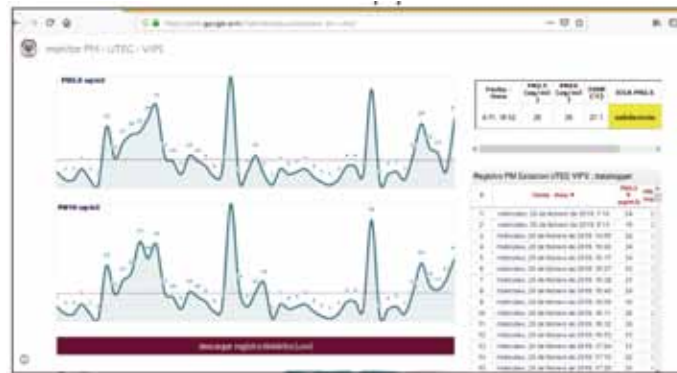


Figura 3. Pantalla de gráficos del sitio web de monitoreo para experimento en campus central Utec. Fuente: diseño propio.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de una estación de IoT, para el monitoreo del nivel de contaminante PM en el ambiente, es un paso fundamental en el estudio de comportamiento, impactos y acciones que se deben tomar para el cuidado del medio ambiente y la prevención de enfermedades que a largo plazo se vuelven una carga al sistema de salud y un impacto negativo en la calidad de vida de la población.

El prototipo de estación se desarrolló utilizando técnicas actuales de electrónica, programación e Internet de las Cosas (IoT), permitiendo producir un equipo a bajo costo y que funciona según los requisitos esperados.

El uso de herramientas como el microcontrolador ESP32, junto con el lenguaje de programación MicroPython, permite el desarrollo de prototipos de IoT a un bajo costo, con tiempos de desarrollo cortos y un alto desempeño. Además, utilizar las aplicaciones de Google Suite ha permitido el desarrollo de la etapa de nube de IoT en corto tiempo y adecuado a las condiciones del proyecto.

Los datos producidos por las estaciones de monitoreo remoto, se compararon con los reportados por estaciones propiedad del MARN; y se comprobó que el desempeño es similar.

El conocimiento científico aportado permitirá la creación de nuevos prototipos de forma rápida y eficiente, y el desarrollo de visualizaciones

utilizando frescas e innovadoras técnicas de uso de componentes de hardware y software en la implementación de sistemas de IoT.

A futuro, se desarrollarán más estaciones para diferentes locaciones dentro del territorio nacional, con experimentos de validación en conjunto con el MARN, para implementar una red de monitoreo mediante enlaces de radiofrecuencia.

## INVESTIGADORES

**Ronny Cortez.** Ingeniero en Sistemas y Computación, investigador y docente Utec

**Verónica Rosa.** Ingeniera en Sistemas y Computación, investigadora y docente Utec

**Otoniel Flores.** Ingeniero electricista, investigador y docente Utec

## Autoridades Utec

**Dr. José Mauricio Loucel**  
Presidente Utec y Rector Honorario Vitalicio

**Dr. Carlos Reynaldo López Nuila**  
Vicepresidente de la Junta General Universitaria y de Utec

**Lic. José Mauricio Loucel Funes**  
Presidente de la Junta General Universitaria

**Dr. Nelson Zárate**  
Rector Utec

**Dra. Noris Isabel López Guevara**  
Vicerrectora de Investigación y Proyección Social

**Dra. Camila Calles Minero**  
Directora de Investigaciones

## INVESTIGACIÓN EN BREVE

Es una colección de fascículos que resumen los resultados de las investigaciones realizadas por la Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social.

**No hay enseñanza sin investigación ni investigación sin enseñanza**  
Pablo Freire

## OTRAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN UTEC

- Turismo
- Antropología Urbana
- Comunicación Social
- Industria 4.0

Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social

Calle Arce y 19ª avenida Sur n.º 1045, edificio Dr. José Adolfo Araujo Romagoza, San Salvador, El Salvador. (503) 2275 1013 / 2275 1011



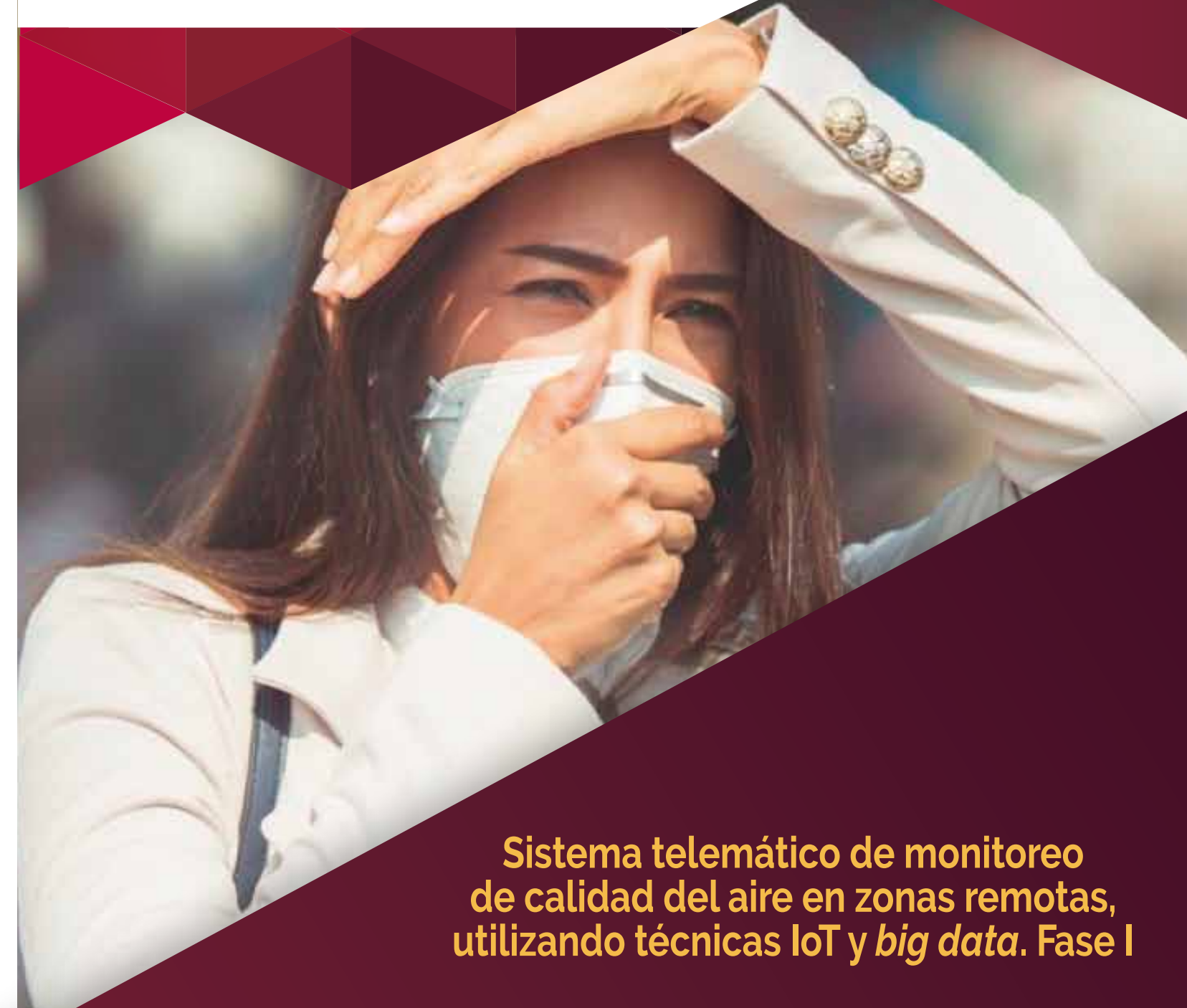
[www.utec.edu.sv](http://www.utec.edu.sv)

Centro de Llamadas: 2275-8888  
Maestrias: 2275-2700



ATREVÁMONOS A SER MEJORES

**Universidad Tecnológica**  
de El Salvador



**Sistema telemático de monitoreo de calidad del aire en zonas remotas, utilizando técnicas IoT y big data. Fase I**

Investigadores:  
Omar Otoniel Flores Cortez  
Ronny Adalberto Cortez Reyes  
Verónica Idalia Rosa Urrutía



# Sistema telemático de monitoreo de calidad del aire en zonas remotas, utilizando técnicas IoT y big data. Fase I

## RESUMEN

La contaminación ambiental es un factor que afecta la salud del ser humano, más en las zonas densamente pobladas o urbanas de El Salvador. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Las enfermedades derivadas por respirar aire contaminado van en aumento en la región. Conocer de primera mano y en tiempo real la calidad del aire que respiramos es un tema que nos debe importar a todos, por lo cual la Organización Panamericana para la Salud (OPS) dentro de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, en la "Guía para calidad del aire ambiental Inmisiones atmosféricas" ha adoptado la Propuesta de Índice Centroamericano de Calidad del Aire, un indicador numérico adimensional sobre la contaminación del aire. El Salvador es uno de los países que es catalogado por la OPS con nula capacidad de monitoreo de calidad del aire.

El proyecto de investigación principal, del cual es parte este trabajo, busca implementar una nueva red de monitoreo de contaminantes ambientales, utilizando herramientas de tecnología vigente, eficiente y de bajo costo. Este es un apoyo primordial al sistema de monitoreo actual del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN).

La propuesta central de esta Fase I, fue la aplicación de técnicas de internet de las cosas (IoT), sistemas embebidos y sensores electrónicos en el diseño e implementación de una estación de monitoreo remoto de contaminación por material de partículas en el aire circundante.

El principal resultado obtenido es un prototipo IoT de estación electrónica que permite monitorear los niveles de contaminación por material de partículas en el ambiente, cuyos datos son accesibles a través de un sitio web desde cualquier dispositivo con conexión a internet. Otro de los resultados es la configuración de una plataforma, o nube de IoT, para la conexión inalámbrica con la estación electrónica, el almacenamiento de los datos producidos por esta y una etapa de visualización web.

Los datos producidos por las estaciones de monitoreo remoto han sido comparados con los reportados por estaciones cercanas propiedad del MARN, verificando que el desempeño es similar.

Este trabajo es un paso fundamental en el estudio de comportamiento, impactos, acciones y cuidado del medio ambiente.

Se ha aportado conocimiento científico, de manera que se muestran nuevas e innovadoras técnicas de uso de componentes de *hardware* y *software* en la implementación de sistemas de IoT que pueden ser aplicadas en la creación de prototipos de forma rápida y eficiente.

## PROBLEMÁTICA

A lo largo de la historia, el monitoreo del medio ambiente ha sido primordial para el ser humano; el conocer en tiempo real el comportamiento de aspectos como la temperatura, humedad, presión atmosférica, velocidad del viento, contaminación del aire, etc. La importancia de conocer el comportamiento del medio ambiente viene desde muchos aspectos de la vida: agricultura, transporte, comunicaciones, salud, etc. Específicamente,

en el área de la salud pública y cómo se ve afectada por aspectos ambientales en El Salvador, el ente encargado del monitoreo de la calidad del aire es el MARN.

Actualmente el MARN cuenta solo con tres estaciones para el monitoreo de la calidad del aire en todo el territorio nacional, denominadas Red de Monitoreo de Calidad del Aire. Cabe destacar que estas estaciones solo se concentran en la ciudad capital, San Salvador. Algunos de los problemas de las estaciones actuales son: alto costo de adquisición inicial y de mantenimiento o reparación; son voluminosas; a lo largo del tiempo han perdido características a tal grado que hoy solo reportan medición de una variable contaminante; alta logística de instalación y puesta en marcha y poco o nulo personal capacitado, experto.



Figura 1. Dos de las tres estaciones de monitoreo de contaminación ambiental operadas por el MARN, San Salvador Centro y San Salvador Oriente (Salguero, 2014)

## JUSTIFICACIÓN

La salud es un tema de interés nacional y para poder tomar decisiones es necesario contar con registros que nos permitan evaluar la evolución de la contaminación del aire. Las estaciones con las que cuenta el MARN poseen la certificación de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). Sin embargo, debido a su alto costo, complejidad y tamaño se hace difícil tener al menos una estación por departamento, por lo que se hace necesario contar con una red de bajo costo que funcione como apoyo para expandir los rangos de medición más allá del Área Metropolitana de San Salvador.

Dentro de los beneficios de este proyecto de investigación están los siguientes:

- Disponer de una herramienta tecnológica de bajo costo para apoyar las labores de monitoreo en tiempo real de la calidad del aire.
- Reducción de costos de producción, mantenimiento y reparación de estaciones de monitoreo.
- Extender la cobertura actual de la red de monitoreo del MARN.
- Potenciar el desarrollo científico tecnológico local.
- Proponer nuevo conocimiento científico, métodos y técnicas en el área de las tecnologías de la información y la comunicación.
- La expansión a otras áreas de aplicación de los conocimientos que han surgido a partir de este proyecto.
- El fortalecimiento de lazos entre la academia y el sector público salvadoreño.

## OBJETIVO DEL ESTUDIO

Implementar una estación IoT de monitoreo que permita capturar información sobre el estado de la calidad del aire y mostrarlo en tiempo real, para lo cual se aplicaron técnicas de IoT en el diseño y en la construcción de una estación electrónica con sensores para la captura de material particulado en el aire, y con la posibilidad de adicionar sensores para diferentes tipos de gases.

Se hicieron pruebas en entornos reales con una estación base para la recolección de los datos remotos capaz de enviarlos a una plataforma IoT, utilizando los servicios del Google Suite Apps en la configuración de plataforma en la nube para tener acceso a los tableros de visualización desde cualquier equipo conectado a internet. Además, el estudio busca aportar y divulgar nuevo conocimiento científico, teórico y práctico sobre el diseño y la implementación de sistemas de IoT eficientes y de bajo costo en la automatización de tareas.

## METODOLOGÍA

Es una investigación tecnológica aplicada, la cual resuelve problemas a corto o mediano plazo, mediante el desarrollo de ideas dirigidas a construir innovaciones o mejoras en procesos o productos para incrementar la calidad y productividad. A partir del análisis de la situación problemática, así como del estado de la técnica, se planteó la siguiente pregunta: ¿Es posible aplicar técnicas de IoT, sistemas embebidos y sensores electrónicos en el diseño e implementación de una estación de monitoreo remoto de contaminante PM (Material Particulado)?

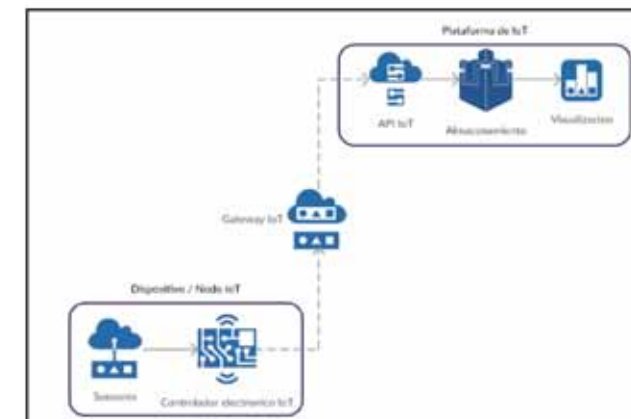


Figura 2. Esquema general de los bloques funcionales del sistema de IoT desarrollado y prototipo físico resultado de la investigación. Fuente: diseño propio.

## Diseño de estación IoT

Un sistema de IoT comprende múltiples niveles de componentes y despliegue; cada nivel debe estar diseñado para diferente función, por lo que consta de sus propios componentes y su propia configuración. Por lo anterior, el diseño de sistemas de IoT puede ser una tarea compleja y desafiante, ya que involucra la interacción entre dispositivos electrónicos, recursos de conectividad, servicios web, componentes de analítica de datos, aplicaciones de visualización y servidores de almacenamiento.

La propuesta central de este trabajo es la implementación de una estación para el monitoreo de contaminación por material de partículas en el aire circundante. El desarrollo metodológico de esta investigación se basó en el modelo de referencia de arquitectura de un sistema de IoT.

## Especificación operacional de la estación IoT

A continuación se definen las opciones pertinentes al despliegue y a la operación del sistema IoT, tales como servicios de alojamiento, almacenamiento, dispositivos, aplicaciones, entre otras.

- Dispositivo o nodo IoT: como controlador electrónico programable, se usa un microcontrolador LoPy Esp32; como elemento sensor de material de partículas, se selecciona el sensor PMS5007; y para la magnitud de temperatura, se elige el sensor DS18B20; como actuador, se dispone de una pantalla Oled para despliegue en el dispositivo de los valores captados.
- API de comunicación: Google Script API.
- Protocolos de comunicación: 802.11, IPV4/6, TCP y HTTP.
- Servicios: Servicio controlador – alojado en el dispositivo, implementado en lenguaje MicroPython y ejecutándose como servicio nativo.
- Aplicaciones: Aplicación web – Google Sites, Aplicación de base de datos – Google Sheets y Aplicación de servicio – Google Script App.
- Seguridad: Autenticación – Credenciales de cuenta de Google Suite.
- Administración: dispositivo – Atom IDE para LoPy, aplicaciones – Google Drive.

## RESULTADOS

Luego de la etapa de diseño, se procedió a la construcción e implementación física de las estaciones de bajo costo, el funcionamiento de las plataformas se describe a continuación:

### Estación remota monitoreo PM

El principal resultado de este proyecto es el prototipo de IoT de estación electrónica, que permite monitorear los niveles de contaminación por material de partículas, y que entre sus características se pueden mencionar: es un diseño a la medida de las necesidades propias de las condiciones de monitoreo de sistema salvadoreño; se basó en la elección de componentes electrónicos de última generación, de bajo costo y muy eficientes tanto en mediciones como en consumo de energía. Además, se ha elaborado de tal forma que se puede expandir la cantidad de magnitudes por monitorear.

### Pruebas de campo

El prototipo se puso a prueba en entornos diferentes para observar su desempeño y verificar su operación. Hasta el momento, en esta primera fase del proyecto, se han instalado tres estaciones de monitoreo IoT, ubicadas en: campus central Utec, campus Itca, Santa Tecla, y edificio de la alcaldía de Santa Ana. Para cada una de estas estaciones, se construyó una plataforma asociada para la visualización y almacenamiento de datos producidos. El portal general del sistema se puede acceder desde <https://sites.google.com/mail.utec.edu.sv/calidadaire>.

Los resultados obtenidos son muy similares a los presentados por las estaciones del MARN lo que valida el funcionamiento dando paso a una