

Diseño de circuito electrónico e implementación de un sistema IoT para la medición de la calidad del aire (PM_{2.5} y PM₁₀) en Bogotá, integrando sensores de bajo costo y validación con estación certificada (EPA) Universidad Distrital.



¹ Kevin Vivas, kevina.vivasp@ecci.edu.co, Universidad ECCI-Bogotá.
² Ricardo Gómez, rgomez@ecci.edu.co, Universidad ECCI-Bogotá.

ANTECEDENTES

- Diseño de un circuito electrónico e implementación de una red de monitoreo basada en Internet de las Cosas (**IoT**), para monitoreo en tiempo real del material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) en áreas urbanas de Bogotá, Colombia.
- La arquitectura **IoT** desarrollada busca ofrecer una alternativa escalable y accesible a las estaciones de monitoreo tradicionales, con el objetivo de mejorar la disponibilidad de datos en áreas de interés sobre calidad del aire.

MÉTODOS

El circuito electrónico fue diseñado con software especializado e integra sensores de bajo costo para PM_{2.5} y PM₁₀, microcontroladores **ESP32** (con **Wi-Fi**) y módulos **LoRa**. Cada nodo incluye antenas.

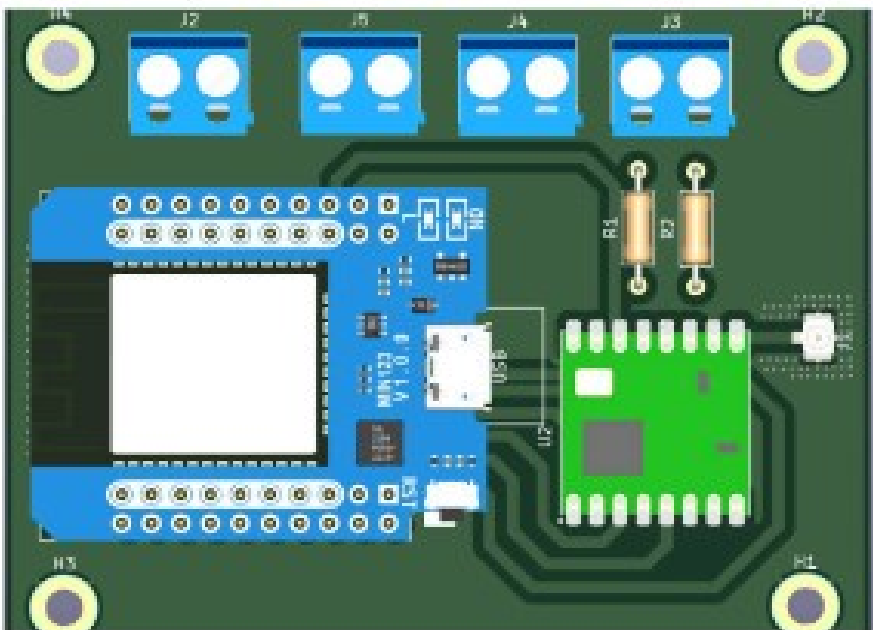


Figura 1. Diseño esquemático del circuito. Figura 2. Prototipo de nodos LoRa.

La implementación del sistema **IoT**, mediante **IDE Arduino**, adquiere, procesa y transmite datos a través de una red **LoRa** de **3 sensores Sensirion SPS30** con un nodo maestro **ESP32 LoRa** encargado de subir datos a la nube en tiempo real mediante la plataforma **ThingSpeak**.

El sistema se validó comparando los datos con la estación meteorológica de referencia **AutoMet 580**, certificada por la **EPA** en la Universidad Distrital, Bogotá-Colombia, aplicando correlación estadística. Para próximos monitoreos se tiene previsto implementar dentro del circuito un **Sensor SHTC3** de temperatura y humedad.

SISTEMA RED LoRa



ESTACIÓN DE REFERENCIA
AUTOMET 580
(Universidad Distrital Bogotá)

Figura 3 Diagrama de flujo nodos LoRa.



RESULTADOS

Los resultados iniciales presentan una correlación positiva entre las mediciones del sistema **IoT** y los datos de la estación de referencia **AutoMet 580 EPA** ubicada en la Universidad Distrital, Bogotá.

El análisis estadístico evidencia que los sensores de bajo costo pueden promediar mediciones razonablemente consistentes de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀.

En las mediciones se detectan disparidades vinculadas a la ubicación de los sensores, las condiciones ambientales y la necesidad de una calibración continua, indispensable para asegurar la confiabilidad de los datos y corregir desviaciones causadas por factores como temperatura, humedad o desgaste del sensor.

La estimación de PM_{2.5} demostró ser más precisa que la de PM₁₀ en los tres sensores, reflejado en mayores **R²** y menores errores típicos para PM_{2.5}.

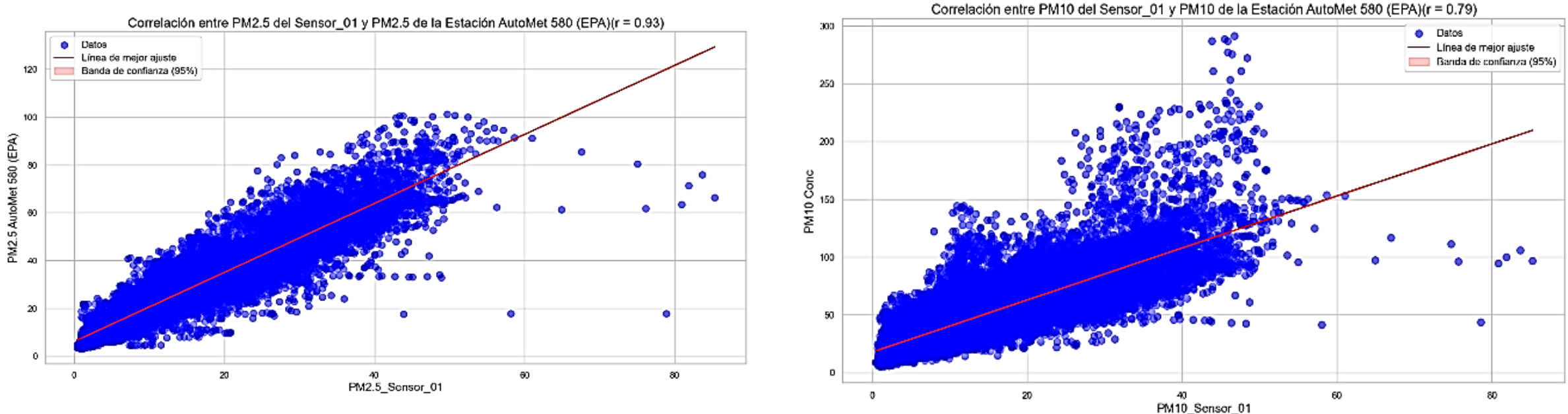


Figura 4. Correlación **SENSOR 01 SPS-30 vs. Estación EPA** (PM_{2.5} - PM₁₀, Bogotá 2024-2025). Fuente: Autores (2025).

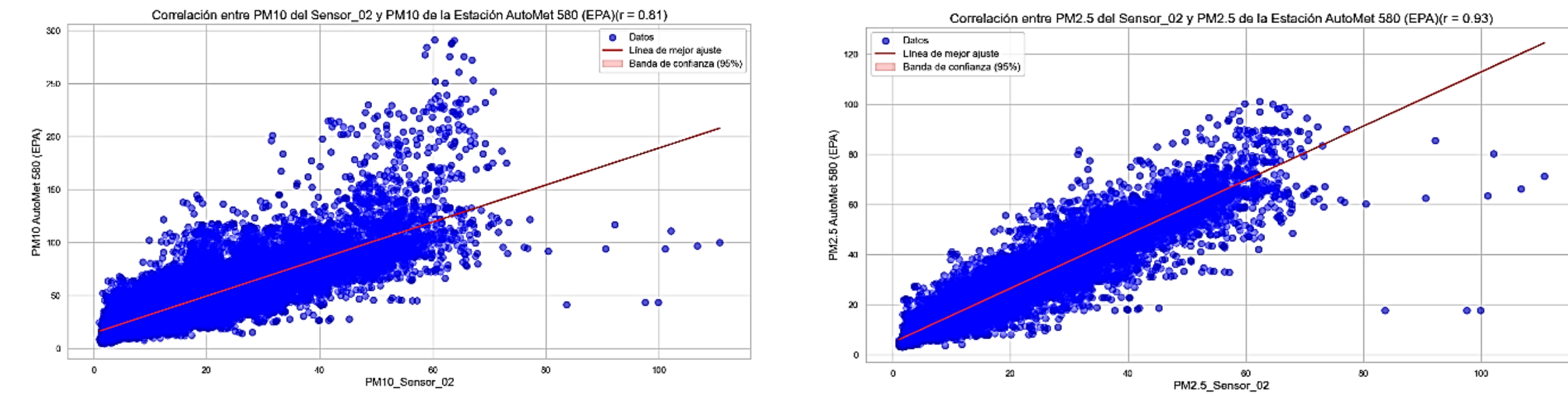


Figura 5. Correlación **SENSOR 02 SPS-30 vs. Estación EPA** (PM_{2.5} - PM₁₀, Bogotá 2024-2025). Fuente: Autores (2025).

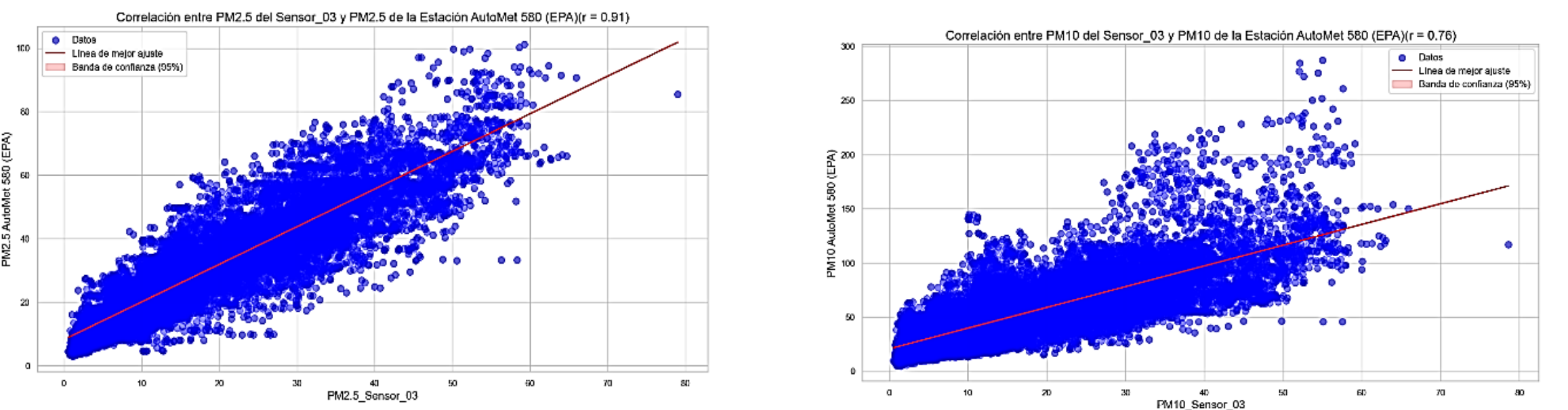


Figura 6. Correlación **SENSOR 03 SPS-30 vs. Estación EPA** (PM_{2.5} - PM₁₀, Bogotá 2024-2025). Fuente: Autores (2025).

HALLAZGO MÁS RELEVANTE Y VISUALIZACIÓN

El análisis de regresión corrobora una correlación positiva inicial entre los sensores **SPS-30** de bajo costo y la estación de referencia **AutoMet 580 EPA**, el **Sensor 2** presento el mejor desempeño con un coeficiente de determinación **R²** más alto de **(0.872 para PM_{2.5})** y un error típico **5.30 (µg/m³)**.

Tabla 1. Métricas de correlación y error para **Sensores SPS-30** y estación de referencia **AutoMet 580**.

Sensor	Contaminante	Coefficiente de Determinación (R ²)	Error Típico (µg/m ³)
Sensor 01	PM _{2.5}	0.860	4.25
	PM ₁₀	0.618	19.75
Sensor 02	PM _{2.5}	0.872	5.30
	PM ₁₀	0.652	8.75
Sensor 03	PM _{2.5}	0.819	5.53
	PM ₁₀	0.583	8.29

IMPLICACIONES

- Este estudio promueve la medición de la calidad del aire con una red **LoRa** con sensores de bajo costo, fortaleciendo capacidades locales y la apropiación social del conocimiento.
- Permite involucrar a autoridades y ciudadanos en el monitoreo colaborativo de la calidad del aire y facilita la toma de decisiones para mejorar la calidad del aire y garantizar la salud pública.
- Esta integración entre innovación tecnológica, gobernanza multinivel y participación social contribuye a que este modelo pueda replicarse en otros contextos urbano y regionales.



CORREO

REFERENCIAS