

# Acquisition of data for an air quality measurement system based on IoT

Hernán Paz Penagos, PhD<sup>1</sup>, José Noe Poveda, MsC<sup>2</sup>, Andrés Moreno, Estudiante de Ingeniería Electronica<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Escuela Colombiana de Ingeniería JULIO GARAVITO, Colombia, hernan.paz@escuelaing.edu.co, andres.moreno-  
s@mail.escuelaing.edu.co

<sup>2</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, pylatex@gmail.com

*Abstract— The objective of the article is to present the design of the interface for the acquisition of data from the climatological station located in Guaymaral (latitude: 04°49'20.4"N, Longitude: 74°04'10.2"W; 2585 masl). This work is part of the research project "Measurement of local air quality, through an IoT system and advanced data analytics", funded by the Colombian School of Engineering JULIO GARAVITO (Colombia). The methodology begins with the request of the data of the meteorological variables by the WIFI module and through the UART, to the server of the District Secretary of the Environment of Bogotá ([http://201.245.192.252:81/StationInfo.aspx? ST\\_ID = 8](http://201.245.192.252:81/StationInfo.aspx? ST_ID = 8)), in Forward SDA. The received HTML file is saved in RESWIFI, and it is processed in order to debug the essential information of the variables. This information is then sent, via serial interface, to the node of the LoRaWAN network. The results of the design of the interface allowed to receive information of the variables particulate material (PM10 and PM2.5), speed and direction of the wind (Vel10M and Dir10M), temperature (T2m, T8m and T20m), relative humidity of the environment (RH), atmospheric barometric pressure (PB), solar radiation (RS), precipitation, ozone (O3), nitrogen monoxide (NO) and nitrogen oxides (NOX), with which the historical behavior of three of them was graphed: PM10, O3 and nitrogen dioxide (NO2), which are air pollutants.*

*Keywords— Data acquisition interface, IoT, data analytics, air quality.*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.121>  
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

# Adquisición de datos para un sistema de medición de la calidad del aire basado en IoT

## Acquisition of data for an air quality measurement system based on IoT

Hernán Paz Penagos, PhD<sup>1</sup>, José Noe Poveda, MsC<sup>2</sup>, Andrés Moreno, Estudiante de Ingeniería Electronica<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Colombiana de Ingeniería JULIO GARAVITO, Colombia, hernan.paz@escuelaing.edu.co, andres.moreno@escuelaing.edu.co

<sup>2</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, pylatex@gmail.com

**Resumen**— El objetivo del artículo es presentar el diseño de la interfaz para la adquisición de datos de la estación climatológica ubicada en Guaymaral (latitud: 04°49'20.4"N, Longitud: 74°04'10.2"W; 2585 msnm). Este trabajo hace parte del proyecto de investigación "Medición de la calidad del aire local, a través de un sistema IoT y analítica avanzada de datos", financiado por la Escuela Colombiana de Ingeniería JULIO GARAVITO (Colombia). La metodología inicia con la solicitud de los datos de las variables meteorológicas por parte del módulo WIFI y a través de la UART, al servidor de la Secretaría Distrital del Medio Ambiente de Bogotá ([http://201.245.192.252:81/StationInfo.aspx?ST\\_ID=8](http://201.245.192.252:81/StationInfo.aspx?ST_ID=8)), en adelante SDA. El archivo HTML recibido se guarda en RESWIFI, y se procesa con el fin de depurar la información esencial de las variables. Posteriormente se envía esta información, mediante interfaz serial, al nodo de la red LoRaWAN. Los resultados del diseño de la interfaz permitió recibir información de las variables material particulado (PM10 y PM2.5), velocidad y dirección del viento (Vel10M y Dir10M), temperatura (T2m, T8m y T20m), humedad relativa del ambiente (HR), presión atmosférica barométrica (PB), radiación solar (RS), precipitación, ozono (O<sub>3</sub>), monóxido de nitrógeno (NO) y los óxidos de nitrógenos (NO<sub>x</sub>), con la cual se graficó el comportamiento histórico de tres de ellas: PM10, O<sub>3</sub> y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), que son contaminantes del aire.

**Palabras claves**—Interfaz de adquisición de datos, IoT, analítica de datos, calidad del aire.

**Abstract**— The objective of the article is to present the design of the interface for the acquisition of data from the climatological station located in Guaymaral (latitude: 04°49'20.4"N, Longitude: 74°04'10.2"W; 2585 masl). This work is part of the research project "Measurement of local air quality, through an IoT system and advanced data analytics", funded by the Colombian School of Engineering JULIO GARAVITO (Colombia). The methodology begins with the request of the data of the meteorological variables by the WIFI module and through the UART, to the server of the District Secretary of the Environment of Bogotá ([http://201.245.192.252:81/StationInfo.aspx?ST\\_ID=8](http://201.245.192.252:81/StationInfo.aspx?ST_ID=8)), in Forward SDA. The received HTML file is saved in RESWIFI, and it is processed in order to debug the essential information of the variables. This information is then sent, via serial interface, to the node of the LoRaWAN network. The results of the design of the interface allowed to receive information of the variables

particulate material (PM10 and PM2.5), speed and direction of the wind (Vel10M and Dir10M), temperature (T2m, T8m and T20m), relative humidity of the environment (RH), atmospheric barometric pressure (PB), solar radiation (RS), precipitation, ozone (O<sub>3</sub>), nitrogen monoxide (NO) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), with which the historical behavior of three of them was graphed: PM10, O<sub>3</sub> and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), which are air pollutants.

**Keywords**— Data acquisition interface, IoT, data analytics, air quality.

### I. INTRODUCTION

La evaluación de la calidad del aire suele estar motivada por la necesidad de determinar si se ha excedido una norma o estándar. Pero generalmente el cumplimiento de este, oculta otro objetivo, que es proporcionar la información necesaria para estimar la población afectada a la contaminación, y la dinámica de dispersión de los contaminantes. En este contexto, la mayoría de los sistemas de vigilancia de la calidad del aire existentes en Colombia no abordan este aspecto. Para asegurar la información base para dicho estudio, se diseñará la interfaz de captura de datos para la medición y acondicionamiento de las magnitudes relacionadas con el medio ambiente o con las condiciones locales del ecosistema del lugar en donde se encuentra instalada la estación meteorológica. Lo anterior con el propósito de adecuarlos al primer nodo de la red IoT.

#### A. Estado del arte

El Sistema nacional de información para el monitoreo del aire en el ambiente, NAMIS, por sus siglas en inglés (National Ambient Air Monitoring Information System) es un sistema que recolecta datos de las redes de medición de contaminación del aire dispersas a través de todo el país y, luego de la verificación y procesamiento estadístico, suministra los datos a los gobiernos centrales y regionales para utilizarlos como datos de base para las políticas de preservación del aire

Los primeros trabajos en Colombia, sobre diseño de interfaces para captura de datos meteorológicos, se refieren a la instalación y puesta en marcha de estaciones meteorológicas en algunas de sus ciudades. En Manizales, se instaló la estación en la Universidad Nacional (sede

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.121>  
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Manizales). Se capturaron magnitudes de variables, tales como: temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, precipitaciones y radiación solar. Esta información se procesó para ponerse en la nube, con el fin de consultarla desde cualquier punto remoto.

Otros trabajos sobre diseño de interfaces para captura de datos meteorológicos, lo realizó la Universidad de Antioquia para una estación en la ciudad de Medellín, y también lo hizo la universidad de los Andes, para otra estación en la capital de la república. Ambas investigaciones, experimentaron con interfaces de procesamiento para redes de sensores inalámbricas, consumo energético y flexibilidad de las plataformas para la transmisión de información.

Las empresas privadas colombianas Cenicaña, Cenipalma, Ceniflores y Ceniarróz, también han enfocado sus pesquisas en la tecnificación de sus cultivos, mediante la recolección y procesamiento de información relevante de los mismos, a través de redes de sensores y ubicación geográfica de sus plantíos.

Entre otras, las tecnologías más recurrentes para la interconexión inalámbrica de sensores y transmisión de información desde la estación meteorológica hacia el centro de monitoreo, son: ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth y GPRS. Cheng y Ho (2016), por ejemplo, propusieron una red inalámbrica práctica de sensores (WSN) multicanal con el estándar ZigBee. La investigación se centró en mejorar el rendimiento de la red mediante el aumento de la relación de entrega de paquetes (PDR) con el uso de la tecnología TDM multicanal y el protocolo cluster-tree. En la investigación, también se trató la interferencia que presenta ZigBee con la WLAN, y se desarrolló un método para evitarla, debido a que ambas transmitían a 2.4 GHz.

Batista et al (2014), desarrollaron un sistema de monitoreo de una turbina eólica mediante el protocolo ZigBee. El sistema se basó en un módulo Arduino 1 conectado con: un módulo AttoPilot Voltage and Current 180, otro módulo de comunicación inalámbrica XBee y un sensor fotoeléctrico en la banda del infrarrojo. El monitoreo específico del comportamiento de la turbina eólica de eje vertical estuvo a cargo de LR-WPAN, que era compatible con ZigBee. Para el análisis de los datos recolectados se recurrió a un sistema de cómputo por capas, lo que facilitó la integración de información procedente de los sensores y el análisis de los datos capturados.

Samotaev et al (2014) consideraron un sistema de monitoreo de gas ambiental por medio de una matriz de sensores con una salida SPI. La investigación consistió en dos partes: una incorporada, y la otra fue el cliente. La parte incorporada fue escrita en lenguaje C, y contó con 4 sensores de gas con tecnología DIS; mientras que el cliente fue programado como un objeto en javascript, para facilitar la visualización gráfica y el análisis de los datos.

Lian et al (2013) propusieron dos sistemas de comunicación inalámbrica simultáneos para una red IoT en los hogares: una red basada en ZigBee, y la otra en WIFI. Para su construcción utilizan una placa de arduino, un módulo de comunicaciones XBee serie 2, y los sensores; para su configuración utilizan el lenguaje java.

Choudhury et al (2015) desarrollaron un sistema de adquisición de datos basado en ZigBee y Bluetooth, utilizando dos arduinos. Uno para recoger la señal de los sensores, y transmitirla por el módulo de ZigBee; y el otro para la recepción de datos. El módulo bluetooth se usó para comunicarse con el smartphone, y la comunicación serial al computador para la visualización de los datos.

Gutiérrez et al (2014) diseñaron un sistema de riego automático alimentado por paneles solares. Este sistema usa una red inalámbrica dúplex con sensores de humedad y temperatura ubicados en el suelo cerca de las raíces de las plantas. El sistema de control automático de agua se basó en un algoritmo propietario. Con este desarrollo se logró disminuir en un 90% el consumo de agua en un periodo de 136 días.

Chaloo et al (2012) analizaron la interferencia presentada al transmitir información de sensores y de manera simultánea mediante las tecnologías bluetooth, ZigBee y WIFI en un entorno real. Los transmisores se embebieron en el mismo dispositivo, y se enlazaron con el receptor a la misma frecuencia de 2.4GHz. Los resultados de la investigación permitieron identificar que la tecnología WIFI causó más interferencia a las otras redes, que se evidenció en mayor degradación de los paquetes de datos.

Benghanem (2010) propuso un sistema de adquisición de datos inalámbrico, basado en un microcontrolador PIC de la serie 16F. Los datos fueron entregados por sensores que medían radiación solar, temperatura, humedad relativa, presión y velocidad y dirección del viento. Una vez se capturaban los datos, eran transmitidos vía RF hacia una estación base. Ésta demodulada la información y la enviaba mediante una interfaz RS 232 hacia un computador, para su visualización en LabView. La estación transmisora remota (sensores, microcontrolador PIC16F y antena RF) era alimentada con una combinación de baterías AA recargables y paneles fotovoltaicos.

Haefke et al. (2011) desarrollaron una red inalámbrica de sensores basada en el estándar de comunicación Zigbee. La interfaz para la adquisición de datos se construyó con un microcontrolador y un ADC. La manera de comunicar el microcontrolador con el módulo Zigbee fue a través de una interfaz de comunicación serial asíncrono convencional. Los datos recuperados en el receptor Zigbee se enviaron a un computador para su visualización en una interfaz gráfica programada en C#.

Los sistemas de monitoreo y captura de datos de los estudios descritos anteriormente, pertenecen a una

clasificación conocida por la sigla ESN, acrónimo de Environmental Sensor Networks. Estos sistemas son utilizados, como su nombre lo indica para investigación y monitorización ambiental y dentro de esa categoría pueden ubicarse las estaciones meteorológicas.

## II. TRABAJO PROPUESTO

### A. Marco de referencia

La SDA, a través de su página web: [http://201.245.192.252:81/StationInfo.aspx?ST\\_ID=8](http://201.245.192.252:81/StationInfo.aspx?ST_ID=8), proporcionó información validada de la estación climatológica de Guaymaral. Esta consistió en un reporte en formato *html* de las siguientes variables que contaminan el aire: material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), velocidad y dirección del viento (Vel10M y Dir10M), temperatura (T<sub>2m</sub>, T<sub>8m</sub> y T<sub>20m</sub>), humedad relativa del ambiente (HR), presión atmosférica barométrica (PB), radiación solar (RS), precipitación, ozono, NO y NO<sub>x</sub> (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013). A continuación se describe cada una de ellas.

El material particulado (PM) seguido de un número indica el tamaño de las partículas en micrómetros. Se clasifican en PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, las más pequeñas, menores a 2.5 micrómetros, se les llama material particulado fino. Las que están entre los 10 micrómetros y los 2.5 micrómetros se les conocen como material particulado grueso. Estas partículas debido a su tamaño y densidad permanecen suspendidas en el aire. Sus principales emisores son procesos mecánicos como el desgaste del asfalto, de los neumáticos, y de los frenos de los carros; fenómenos de resuspensión, actividades de construcción, incendios forestales y actividades industriales.

La velocidad y dirección del viento se mide con un anemómetro; éste requiere de una veleta, para determinar la dirección de donde viene el viento. La dirección del viento se mide en el sentido contrario a las manecillas del reloj, tomando como referencia el norte geográfico, y señala de dónde viene y no hacia donde se dirige. Existen anemómetros de diferente tipo como el de rotación, de hilo caliente y ultrasónico, el cual se prefiere para aplicaciones de alta precisión.

Dentro de una estación pueden encontrarse diversos termómetros, cada uno con fines particulares; se recomienda ubicarse en estructuras que impidan que sean afectados directamente por la radiación solar, para lo cual se utilizan casetas con ventilación mediante rejillas y de color blanco para reflejar la radiación solar. Algunos sirven para la medición de temperatura del aire, para registrar la máxima y mínima temperatura durante el día e incluso para determinar la humedad relativa. Existen varios tipos de sensores de temperatura, entre los que pueden encontrarse termopares, sensores tipo RTD (Resistance Temperature Detectors), termistores y sensores integrados.

La humedad relativa del ambiente se mide con el higrómetro; cuando se registra sobre el papel, se conoce como higrógrafo. Algunos de esos instrumentos en su versión analógica funcionan con cabellos humanos o pelos de camello como elemento sensible a la humedad. En dispositivos de estado sólido la medición de humedad se lleva a cabo mediante tres tipos de sensores diferenciados entre sí por su principio de funcionamiento: sensores capacitivos, sensores resistivos y sensores de conductividad térmica.

Los barómetros son instrumentos utilizados para medir la presión atmosférica. Comercialmente se encuentran barómetros de columna de mercurio que se dilata o contrae según el aumento o disminución de la presión. También existen sensores electrónicos, como los barómetros aneroides, que se basan en la detección de desplazamientos en la frecuencia de resonancia natural en elementos especialmente preparados, como cilindros de níquel con pared delgada o elementos piezoresistivos como el cristal de cuarzo. Para el registro de cambios de la presión atmosférica se utilizan instrumentos conocidos como barógrafos.

Para medir la radiación solar se usan dispositivos integrados especializados que operan en diferentes zonas del espectro. Existen sensores fotométricos, que miden la radiación en el rango perceptible por el ojo humano. Foceldas o LDR (Light Dependent Resistor), que son baratos y de fácil consecución en el mercado, aunque son preferidas para la medición en espacios interiores. Los piranómetros, que miden la radiación solar total, y se utilizan ampliamente en aplicaciones agrícolas, meteorológicas y de generación de energía eléctrica a partir de energía solar.

La medición de la cantidad de lluvia en un lugar se mide con el pluviómetro. Existen varios tipos diferenciados por su forma de funcionamiento. Todos tienen en común que se construyen con un recipiente, más un sistema que conduce el agua a un compartimiento especial, en el que se realiza la medición. Para tener registros del comportamiento de la lluvia en función del tiempo, se pueden hacer registros mediante pluviógrafos, ya sea sobre papel o en registros electrónicos.

El ozono es un gas que normalmente se encuentra en la estratosfera, en donde protege la tierra de la radiación ultravioleta; sin embargo, la presencia de este gas cerca del nivel del suelo afecta la vegetación, la infraestructura y la salud de la población. Se produce a partir de las reacciones fotoquímicas en presencia de radiación solar, y precursores tales como los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y los compuestos orgánicos volátiles.

El NO<sub>2</sub> es nitrógeno presente en los combustibles que se transforma a altas temperaturas en óxidos de nitrógenos NO<sub>x</sub>, que contiene NO<sub>2</sub> y monóxido de nitrógeno. El NO no es perjudicial para la salud, pero se oxida rápidamente en NO<sub>2</sub> que, si tiene graves repercusiones para la vida (causa de asma bronquitis, afección de la función pulmonar y la mortalidad).

La red de estaciones para la medición de la contaminación del aire, de acuerdo con las directrices del protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), reporta valores promedios de las variables que determinan la calidad del aire en áreas urbanas, y puntos de corte del índice integral de calidad del aire (ICA). Éste es un método para expresar el nivel de contaminación del aire desarrollado, considerando sus efectos en el cuerpo humano, y en el nivel sensible de contaminación, con el fin de alertar a las personas sobre el nivel de contaminación (IDEAM, 2016).

### B. Metodología

Como se mencionó arriba este artículo hace un reporte parcial del desarrollo del proyecto de investigación “Medición de la calidad del aire local, a través de un sistema IoT y analítica avanzada de datos”, financiado por la Escuela Colombiana de Ingeniería JULIO GARAVITO (Colombia). En este contexto, el diseño metodológico corresponde a la fase del proyecto.

El diagrama de flujo (figura 1) muestra la lógica que se siguió para el diseño de la interfaz para la captura de datos. Inicialmente el módulo WIFI solicita los datos de las variables meteorológicas de la estación Guaymaral a la SDA. Recibe el archivo HTML y lo guarda en RESWIFI; después lo procesa para depurar los datos por variables. Posteriormente los envía mediante su interfaz serial al nodo de la red LoRaWAN.

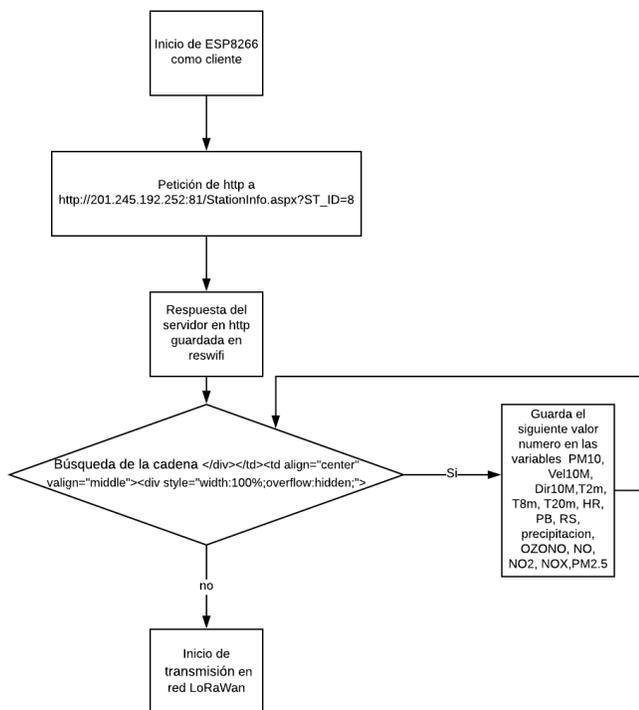


Figura 1. Diagrama de flujo del firmware del sistema IoT.

### C. Diagrama de bloques

La figura 2 muestra los bloques constitutivos de todo el sistema. Este está conformado por una interfaz de captura de datos, una red IoT y un terminal en el cual se determina la población afectada y la dinámica de dispersión de los contaminantes (analítica de datos)

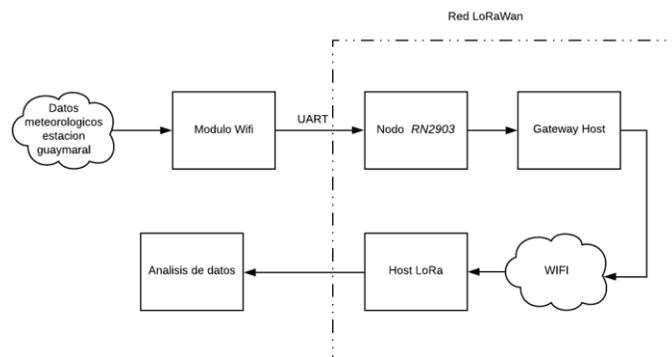


Figura 2. Arquitectura del sistema IoT.

Los pasos que sigue el sistema LoRa WAN para la transmisión de información es: el nodo solicita un join (o inicio de sesión) con los datos de configuración de la red IoT, y abre la ventana de recepción. El gateway recibe la solicitud y la envía al servidor. Éste verifica que el nodo este dado de alta y la llave de encriptación sean correcta. Si es correcta, asigna una sesión temporal, y la envía por medio del gateway al nodo, si los datos son incorrectos rechaza el join; de otro modo, el nodo aprovecha la sesión temporal para enviar los datos a la red.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados considerados en este artículo se refieren al comportamiento que tuvieron los contaminantes PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>, que fueron observados y registrados por la estación climatológica de Guaymaral durante el período comprendido entre enero del 2000 a enero del 2019 (Secretaria Distrital de Ambiente, 2013). Esta información fue capturada por la interfaz de adquisición de datos, y transmitida al computador para su representación gráfica con el programa Excel.

La tabla I muestra información relacionada con los valores extremos registrados para PM<sub>10</sub>.

TABLA I  
Valores significativos de la variable PM<sub>10</sub>, durante el período comprendido entre enero del 2000 a enero del 2019

Valor mínimo: 2.3 µg/m <sup>3</sup>		Valor máximo: 213,4 µg/m <sup>3</sup>		Promedio	Muestras	
Fecha	Hora	Fecha	Hora	38.3 µg/m <sup>3</sup>	Numero	Porcentaje
23/07/2017	12:00	21/06/2005	12:00		33603	80

En la figura 3 se evidencia que el registro aproximado a la muestra número 11990 tiene la mayor excursión de 213  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  alcanzada a las 12m del día 21 de junio del 2017, por la variable  $\text{PM}_{10}$ , para el periodo reseñado arriba.

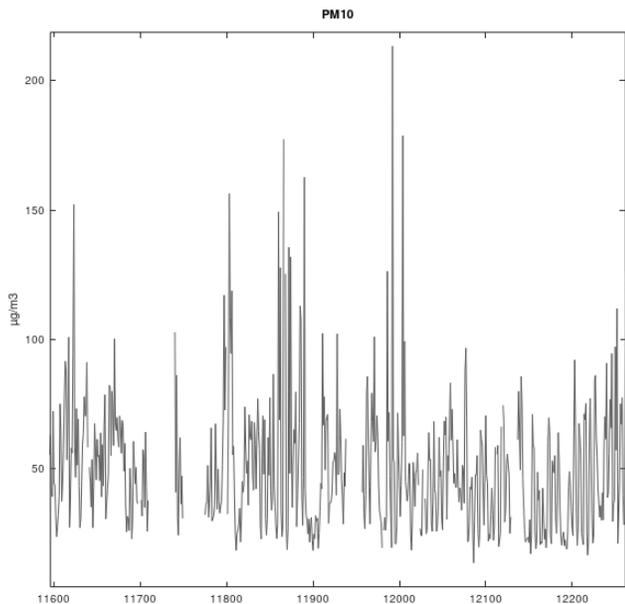


Figura 3. Valor maximo registrado del  $\text{PM}_{10}$ . Fuente: IDEAM, 2016

De acuerdo con el histograma de la figura 4, de las 33603 muestras de  $\text{PM}_{10}$ , 15000 de ellas están alrededor del valor promedio de 38,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Según el criterio establecido por la resolución 610 de 2010 (IDEAM, 2016), el nivel máximo permisible de  $\text{PM}_{10}$  es de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para un tiempo de exposición anual continuo, y de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para un tiempo de exposición de 24 horas; lo cual significa que el valor promedio de 38,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  se acerca al valor máximo permisible de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido por el mismo ministerio.

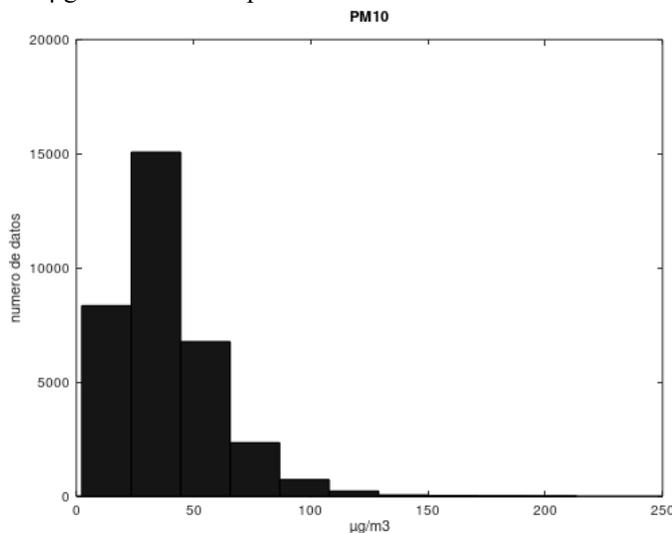


Figura 4. Histograma del  $\text{PM}_{10}$  del 2000 al 2019. Fuente: IDEAM, 2016

En la tabla II se especifican los valores significativos para el Ozono registrados durante el período comprendido entre enero del 2000 a enero del 2019. De acuerdo con el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del IDEAM (2016), un indicador de 80 ppb para un tiempo de exposición de 8 horas o de 100 ppb para un tiempo de exposición de 1 hora, empieza a ser dañina a la salud para grupos sensibles.

TABLA II  
Valores mínimo, máximo y promedio de la variable  $\text{O}_3$ .

Valor mínimo: 0.0 ppb		Valor máximo: 78,3 ppb		Promedio 11.8 ppb	Muestras	
Fecha	Hora	Fecha	Hora		Numero	Porcentaje
08/01/2012	4:00	12/03/2016	16:00		20683	49

En la figura 5 se muestra el valor máximo del ozono de 78.3 ppb, registrado por la estación climatológica de Guaymaral en el año 2016.

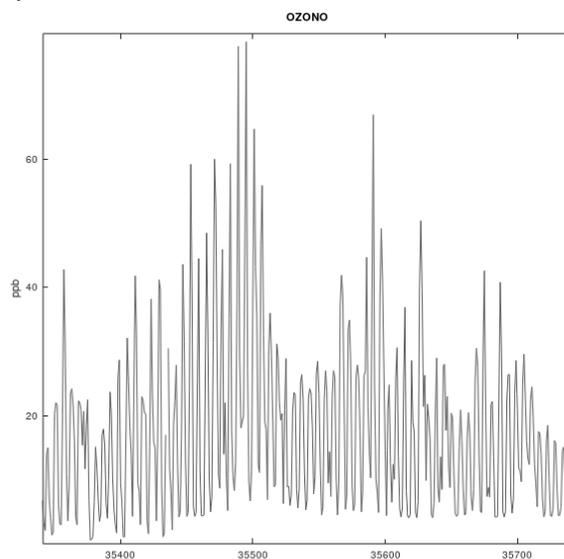


Figura 5. Valores máximos registrados del Ozono  $\text{O}_3$ . Fuente: IDEAM, 2016

La figura 6 muestra que el registro de la presencia de ozono cerca del nivel del suelo es relativamente bajo para la mayoría de muestras tomadas por la estación climatológica de Guaymaral.

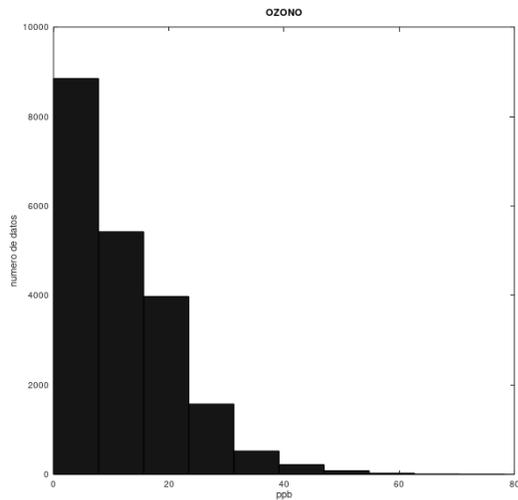


Figura 6. Histograma del Ozono del 2000 al 2019. Fuente: IDEAM, 2016

En la tabla III se registran los valores promedio, máximo y mínimo de dióxido de nitrógeno para 16120 muestras.

TABLA III

Valores significativos de la variable NO<sub>2</sub>, durante el periodo comprendido entre enero del 2000 a enero del 2019

Valor mínimo: 0.0 ppb		Valor máximo: 58,4 ppb		Promedio	Muestras	
Fecha	Hora	Fecha	Hora	11,8 ppb	Numero	Porcentaje
11/06/2016	16:00	13/01/2019	20:00		16120	38

El valor máximo de dióxido de nitrógeno registrado para el periodo 1/2000 a 1/2010 por la estación climatológica de Guaymaral fue de 58,4 ppb y se obtuvo aproximadamente para la muestra 41700 (figura 7).

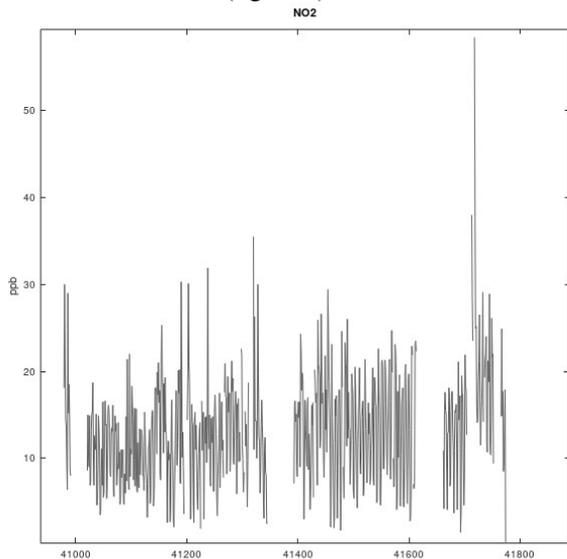


Figura 1 Valores máximos registrados del dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>. Fuente: IDEAM, 2016

58,4 ppb es un valor relativamente bajo respecto del máximo permisible de 200 ppb para un tiempo de exposición de una hora, establecido por la resolución 610 del 2010.

En el histograma de la figura 8 se evidencia que el valor promedio de dióxido de nitrógeno registrado por la estación climatológica de Guaymaral está alrededor de 11,8 ppb.

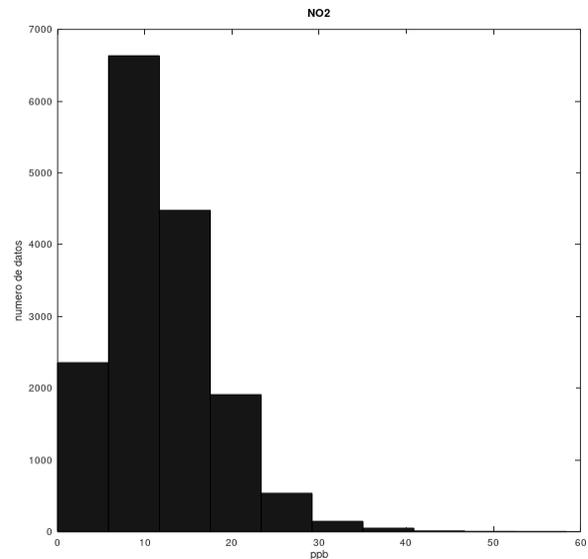


Figura 8. Histograma del dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> del 2000 al 2019. Fuente: IDEAM, 2016

#### IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Una vez capturados los datos del servidor de la Secretaria Distrital del Medio Ambiente, y de haber sometido a la interfaz a distintas pruebas en tiempo real, se valida su funcionamiento. La interfaz para captura de datos, proporcionó la información ambiental correcta de la estación climatológica de Guaymaral, necesaria para que el nodo de la red LoRaWAN la pueda adecuar a la red IoT para su transmisión hacia el servidor.

En este tipo de estudios, es importante que la medición de los valores de las variables que contaminan el aire, se hagan con los mismos criterios establecidos por el Ministerio del Ambiente y los gobiernos regionales, de tal manera que se evite llegar a datos medidos muy diferentes, que causen desconcierto en la población afectada.

La información histórica capturada de la estación climatológica de Guaymaral, y procesada, permitió identificar indicadores (valores promedio y puntos de corte de algunas variables), y entender las condiciones de contaminación del aire de la zona norte de la ciudad de Bogotá. Esta información podría ser útil en el establecimiento de políticas ambientales. Este estudio, también se podría extender a la pesquisa de los efectos que tienen las mayores fuentes de contaminación sobre la calidad del aire y el estado actual.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Escuela Colombiana de ingeniería JULIO GARAVITO, por la financiación del proyecto “*Medición de la calidad del aire en la Escuela Colombiana de Ingeniería JULIO GARAVITO, a través de un sistema IoT y analítica avanzada de datos*”.

## REFERENCIAS

- [1] M. Haefke, S. C. Mukhopadhyay and H. Ewald. A Zigbee Based Smart Sensing Platform for Monitoring Environmental Parameters, 978-1-4244-7935-1/11/©2011 IEEE.
- [2] C.H. Cheng y C.C. Ho. Implementation of multi-channel technology in ZigBee wireless sensor networks, doi: 10.1016/j.compeleceng.2015.10.002, Comput & Electr Eng, (en línea), 56, 498-508 (2016)
- [3] N.C., Batista, R. Melicio, V.M. Mendes y J. Figueiredo, Wireless Monitoring of Urban Wind Turbines by ZigBee Protocol: Support Application Software and Sensor Modules, doi: 10.1016/j.protcy.2014.10.182, Procedia Technol., (en línea), 17, 461-470 (2014)
- [4] N. Samotaev, A. Ivanova, K. Oblov, S. Soloviev y A. Vasiliev. Wi-Fi Wireless Digital Sensor Matrix for Environmental Gas Monitoring, doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.684, Procedia Eng., (en línea), 87, 1294-1297 (2014)
- [5] K.Y. Lian, S.J. Hsiao, W.T. Sung, W.T., Intelligent multi-sensor control system based on innovative technology integration via ZigBee and Wi-Fi networks, doi: 10.1016/j.jnca.2012.12.012, Journal of Network and Computer Applications, (en línea), 36(2), 756-767 (2013)
- [6] S. Choudhury, P. Kuchhal, S. Rajesh. ZigBee and Bluetooth Network based Sensory Data Acquisition System, doi: 10.1016/j.procs.2015.04.195, Procedia Comput Sci, (en línea), 48, 367-372 (2015)
- [7] J. Gutiérrez, J.F. Villa, A. Nieto y M.A. Porta. Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module, doi: 10.1109/TIM.2013.2276487, IEEE T Instrum Meas, (en línea), 63(1), 166-176 (2014)
- [8] R. Chaloo, A. Oladeinde, N. Yilmazer, S. Ozcelik y L. Chaloo. An Overview and Assessment of Wireless Technologies and Co-existence of ZigBee, Bluetooth and Wi-Fi Devices, doi: 10.1016/j.procs.2012.09.091, Procedia Comput Sci, (en línea), 12, 386-391 (2012)
- [9] Jue Yang, Student Member, IEEE, and Xinrong Li, Member, Design and Implementation of Low-Power Wireless Sensor Networks for Environmental Monitoring. IEEE 978-1-4244-5849-3/10/©2010 IEEE.
- [10] V.M. Quan. Review of Sensors and Interfacing for Greenhouse Climate Monitoring, in SAS Conference, 2011, pp.1-3.
- [11] Antolín, A. Bayo, N. Medrano, B. Calvo, S. Celma. WubiNet: A Flexible WSN for Applications in Environmental Monitoring, 978-1-4577-1772-7/12/ ©2012 IEEE2.
- [12] H. M. Alabri, S. C. Mukhopadhyay, G. A. Punchihewa, N.K. Suryadevara and Y.M. Huang. Comparison of applying Sleep Mode function to the Smart Wireless Environmental Sensing Stations for Extending the Life time, 978-1-4577-1772-7/12/©2012 IEEE.
- [13] M. Benganem, A low cost wireless data acquisition system for weather station monitoring, Renewable Energy, vol. 35, p. 862-872, 2010.
- [14] A. Zarger et al., Environmental sensor networks for vegetation, animal and soil sciences, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 12, Issue 5, p. 303-316, 2010.
- [15] World Meteorological Organization, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, Commission for Instruments and Methods of Observation (CIMO) WMO, 2008.
- [16] V. M. Quan, G.S. Gupta, S. Mukhopadhyay, Review of sensors for greenhouse climate monitoring, 2011 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS), p.112-118, 2011.
- [17] IDEAM, Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011-2015, Bogotá, D.C., 2016
- [18] Secretaria Distrital de Ambiente, 2013. [En línea]. Available: <http://ambientebogota.gov.co/estaciones-rmcab>. [Último acceso: 25 01 2019].