

IoT system prototype for outdoor Air Quality Monitoring in the Port of Manzanillo

Prototipo de un Sistema IoT para el Monitoreo de la Calidad del Aire en Exteriores en el Puerto de Manzanillo

Rosa Elizabeth Bermúdez Padilla^{*1}, Omar Álvarez Cárdenas¹, Margarita G. Mayoral Baldivia¹, Raúl Teodoro Aquino Santos¹, Fernando Pech May², and Rafael Prieto Meléndez³

¹Universidad de Colima (UDC),
Facultad de Telemática,

Av. Universidad No. 333, Las Víboras, CP 28040 Colima, Colima, México.

²Instituto Tecnológico Superior de los Ríos,

Km 3 Carretera Balancán – Villahermosa, C.P 86930, Balancán, Tabasco, México.

³Universidad Nacional Autónoma de México,

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología,

Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, CP 04510, Ciudad de México, México.

{bermudez_padilla, xe1aom, mglenda, aquinor}@ucool.mx,fernando.pech@cinvestav.mx,rafael.prieto@icat.unam.mx

Abstract

Nowadays, measuring outdoor air quality is vitally important in most industrialized cities. The gases of interest for monitoring in this project are nitrogen dioxide NO_2 , sulfur dioxide SO_2 , suspended particulate matter $PM_{2.5}$ and PM_{10} , carbon monoxide CO , because these are the criteria pollutants that regulate air quality due to their concentration. A COTS prototype was designed to measure outdoor air quality will be designed and installed in the municipality of Manzanillo, Colima. This municipality is a critical point where the levels of environmental pollution have risen due to the growth of companies, hotels, thermoelectric power plant, mining consortium, and the large amount of activity related to its marine harbor. As a implementation result in a controlled location, the prototype properly get analog data from the SCD30 sensor, sends what it detects to the IoT server as well as its representation in graphs and history of each data which are temperature, humidity, and CO_2 .

Keywords— IoT, air quality outdoor, COTS

Resumen

En la actualidad, medir la calidad del aire en exteriores es de vital importancia en las ciudades más industrializadas. Entre los gases de interés a monitorear son dióxido de nitrógeno NO_2 , dióxido de azufre SO_2 , material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} , monóxido de carbono CO , ya que son los contaminantes criterio, debido a su concentración estos regulan la calidad del aire. Se diseñó un prototipo COTS para medir la calidad del aire en exteriores en el municipio de Manzanillo, en el estado de Colima. Este municipio es un punto crítico donde los niveles de contaminación ambiental se han incrementado por el aumento de empresas, hoteles, la central termoeléctrica, consorcios mineros y la gran cantidad de actividad relacionada con el Puerto de Manzanillo. Como resultado de la implementación en un lugar controlado, el prototipo obtiene de manera apropiada los datos analógicos del sensor SCD30, envía lo que detecta al servidor IoT así como su representación en gráficas e historial de cada dato que son temperatura, humedad y CO_2 .

Palabras clave— IoT, calidad del aire exterior, COTS

* Autor de correspondencia

I. Introducción

El ser humano es susceptible a desarrollar problemas de salud cuando se está expuesto a la contaminación ambiental. Entre las principales enfermedades se pueden mencionar las respiratorias, cerebrovasculares, cardiopatías, neumopatías y cáncer de pulmón. Ante esta situación, la Asamblea General de las Naciones Unidas (AGNU), en el 2015 agregó como meta la mejoría del aire y evitar agravar la situación en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, tomando las referencias en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

- 3.9: “reducir considerablemente el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos y por la contaminación del aire, agua y suelo” [1].
- 7: “garantizar a la población el acceso universal de servicios energéticos fiables y modernos para todos” [2].
- 11.6: “reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo” [3].
- 13: “adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” [4].

La calidad del aire en exteriores y sus diferentes contaminantes se han convertido en un tema de relevancia en todo el mundo. En el año 2016, de acuerdo con la información proporcionada por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se obtuvo el registro de 4.2 millones de muertes causadas por enfermedades en las vías respiratorias. Este es un dato alarmante, ya que representaba en esa fecha que una de cada ocho personas en el mundo moría por circunstancias debidas a la mala calidad del aire. Se realizaron esfuerzos internacionales para atender esta situación, sin embargo, hasta 2019 el 99 % de la población mundial continuaba viviendo en lugares donde no se respetan las directivas aplicables a la calidad del aire [5].

En México, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), cuenta con estudios y mediciones históricas de los gases contaminantes presentes en el aire. Esta información es un insumo utilizado por múltiples organizaciones para el análisis y creación de normativas, así como proyectos encaminados a mitigar los efectos de la salud generados por una mala calidad del aire. Todas estas acciones motivan a implementar desarrollos tecnológicos que permitan vigilar, analizar y mejorar la calidad del aire que respiramos.

La OMS establece ciertas directrices que describen de manera precisa los límites en los contaminantes ambientales, de eso se desprenden riesgos en la salud y entorno, de manera que se presentan en la Tabla 1 y se considerarán para el monitoreo y estudio [5].

Tabla 1: Directrices de la OMS sobre los contaminantes atmosféricos

Contaminantes	Valores fijados
Materia particulada $PM_{2.5}$	<ul style="list-style-type: none"> ■ $5\mu g/m^3$ de media anual ■ $5\mu g/m^3$ de media diaria
Materia particulada PM_{10}	<ul style="list-style-type: none"> ■ $15\mu g/m^3$ de media anual ■ $45\mu g/m^3$ de media diaria
Ozono (O_3)	<ul style="list-style-type: none"> ■ $100\mu g/m^3$, máximo diario de periodo por 8 horas * ■ $6\mu g/m^3$, promedio de periodos de 8 horas, temporada máxima **
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	<ul style="list-style-type: none"> ■ $10\mu g/m^3$ de media anual ■ $25\mu g/m^3$ de media diaria
Dióxido de azufre (SO_2)	<ul style="list-style-type: none"> ■ $40\mu g/m^3$ de media diaria

* Percentil 99 (es decir, 3-4 días de superación por año).

** La temporada máxima se define por la media de concentraciones máximas diarias de O_3 en periodos de 8 horas durante los seis meses consecutivos con el promedio móvil más alto.

En México existen normas para controlar la cantidad de contaminantes presentes en el medio ambiente, inicialmente se aplicaron en la Ciudad de México, pero conforme se incrementaron las problemáticas de salud ambiental al resto del territorio nacional, la implementación se extendió. En la actualidad, el Gobierno Federal es el responsable de actualizar y establecer los estándares para la salud pública y su vigilancia, ellos lo publican en la Norma Oficial Mexicana (NOM) y son de carácter obligatoria en todo el país, en la redacción describen los límites para los contaminantes y constantemente son revisadas para estar a la vanguardia. Dentro de la NOM en el monitoreo de la calidad del aire se trabajan 2 tipos: uno es la salud ambiental y otro aborda las técnicas donde se definen que métodos de medición se deben realizar.

A partir del 18 de febrero de 2020 entró en vigor la NOM-172-SEMARNAT-2019 [6], en ella se definen los diferentes tipos de contaminantes, su nivel de riesgo y los valores que deben tomarse en cuenta con cierto tiempo de exposición.

El desarrollo de la tecnología y dispositivos COTS (siglas en inglés de Commercial Off- The- Shelf), son de gran utilidad para determinar la calidad del aire. Cuando se aplica de manera correcta, ayuda a reducir costos,

tanto para el desarrollo y mantenimiento de soluciones ambientales.

Considerando la importancia del tema, los resultados de la propuesta para medir la calidad del aire en exteriores basada en tecnología COTS, apoyada con una plataforma gratuita de Internet de las Cosas (IoT, siglas en inglés de Internet of Things) para tener una representación visual de los niveles de gases contaminantes presentes en el ambiente para su futuro análisis y toma de decisiones, por tal razón se presentarán en la sección de resultados.

II. Estación de monitoreo: hardware y software

La estación de monitoreo es un sistema embebido, en el cual, gracias a su programación y cálculos tiene la capacidad de administrar y optimizar los recursos, así como mejorar el desempeño del mismo.

Para el desarrollo del prototipo de monitoreo de la calidad del aire en exteriores se utiliza electrónica de bajo costo y programas de desarrollo de uso libre. Para el desarrollo físico se emplean plataformas basadas en Arduino. Los sensores por implementar son seleccionados considerando la calidad de ellos y su costo.

Para la configuración física se utiliza el Arduino IDE, el cual, es un conjunto de herramientas y librerías de software que permiten integrar una gran variedad de elementos electrónicos a la placa de desarrollo de Arduino.

II.1. Arduino IDE

El Arduino IDE es un conjunto de herramientas de software que permiten a los programadores desarrollar y grabar todo el código necesario para controlar diversos dispositivos electrónicos a una placa Arduino. Permite escribir, depurar, editar y grabar programas (sketches) fácilmente. Esta característica, además de su accesibilidad y ser de código abierto, es lo que contribuye en gran medida al éxito de esta plataforma de desarrollo [7].

El rápido desarrollo en el Arduino IDE y la gran cantidad de librerías que incluye, permite que diversos sistemas embebidos puedan ser configurados y logran incorporar la gran mayoría de sensores ambientales que existen en el mercado.

II.2. NodeMCU ESP8266

El NodeMCU es una plataforma IoT de código abierto que incluye en su firmware el módulo WiFi ESP8266 y capacidad de la Unidad Micro-Controladora (MCU, siglas en inglés de Micro Controller Unit). Esta placa de desarrollo es producida por el fabricante chino Espressif Systems con sede en Shanghai [8].

El ESP8266 tiene un conjunto de bibliotecas para comunicarse a través de WiFi (siglas en inglés de Wireless

Fidelity), tiene la capacidad de configurarse para funcionar como servidor de Protocolo de Transferencia de Hipertexto (Hypertext Transfer Protocol, por sus siglas en inglés HTTP), Nombre de Dominio de Multidifusión (Multicast Domain Name System, por sus siglas en inglés mDNS), Protocolo simple de Descubrimiento de Servicios (Simple Service Discovery Protocol, por sus siglas en inglés SSDP) y Sistema de Nombres de Dominio (Domain Name System, por sus siglas en inglés DNS) por conexiones Over the Air (por sus siglas en inglés OTA). Además, es posible implementarlo para tener capacidad de almacenamiento por medio de tarjetas SD, conectividad física por conexiones serie I2C [9], en la Figura 1 se muestran los bloques funcionales de comunicación del NodeMCU [10].

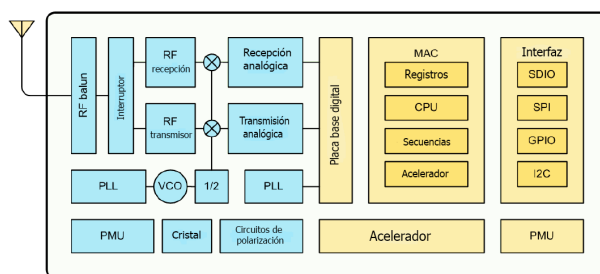


Figura 1: Estructura interna de un bloque del NodeMCU ESP8266 [10]

II.3. Módulo de sensor SCD30

El módulo de sensor SCD30 de Sensirion utiliza tecnología de sensor de CO_2 basado en el No Dispersivo Infra Rojo (NDIR) para detectarlo, además cuenta con un sensor interno de temperatura y humedad, son utilizados para compensar la existencia de fuentes externas sin la necesidad de agregar más dispositivos para su monitoreo.

El SCD30 está construido de forma compacta, representando con ello una gran ventaja para ser implementado con facilidad en diversas aplicaciones, incluye doble canal para lograr una estabilidad superior y precisión de ± 30 partes por millón (ppm) $+3\%$, como se muestra en la Figura 2 [11].



Figura 2: Pinout del SCD30 [11]

La distribución de las conexiones físicas de entrada y salida del módulo sensor SCD30 se muestran en la Figura 2. Para la conexión del sensor al NodeMCU ESP8266, requerimos únicamente conectar los puertos Serial Clock (SCL) y Serial Data (SDA) del SCD30 y conectarlos respectivamente a los pines de D1 y D2 del sistema embebido como se indica en la Figura 3.

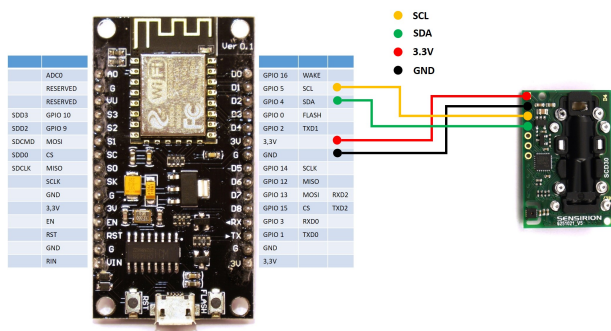


Figura 3: Conexión del SCD30 al ESP8266 [12]

II.4. ThingSpeak

ThingSpeak es una plataforma de IoT que permite recibir y almacenar, visualizar y analizar datos de sensores en la nube para su explotación en aplicaciones IoT. La plataforma está basada en Ruby on Rails (RoR), dispone de una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API por sus siglas en inglés), la cual está disponible en Github para su descarga, así mismo la comunidad ofrece nuevas actualizaciones y características, cumpliendo ese principio básico lo convierte en open source.

Así mismo brinda plugins que dan la posibilidad de crear aplicaciones, soporta HTML, CSS y JavaScript, comparte también la utilización de Google Gauge Visualización, da la facilidad de mostrar los datos y la personalización de esta [13].

Esta plataforma IoT permite interactuar con una gran diversidad de hardware, los datos de los sensores pueden ser enviados desde plataformas Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone Black entre otros [14].

La cantidad de dispositivos que soporta ThingSpeak por usuario se le hace llamar canales, eso quiere decir que es el dispositivo de donde se obtendrá máximo 8 tipos de datos, que más adelante se representarán en gráficas, permite hasta 3 millones de mensajes al año y se actualiza cada 15 segundos, lo cual limita el registro gratuito.

El prototipo propuesto aprovecha estas características en ThingSpeak para registrar los niveles de contaminantes en el aire y emitir información visual de alertas cuando supere sus límites de concentración en exteriores.

II.5. Infraestructura

Para la instalación del prototipo final en el puerto de Manzanillo se requiere de cierta infraestructura física. La conexión a la red es por medio de la conexión inalámbrica WiFi existente en el interior del puerto para que el módulo WiFi del NodeMCU intercambie las mediciones de sus sensores con el servicio ThingSpeak. Con la disposición de estos requerimientos físicos es posible instalar el prototipo diseñado como se describe en la Figura 4.

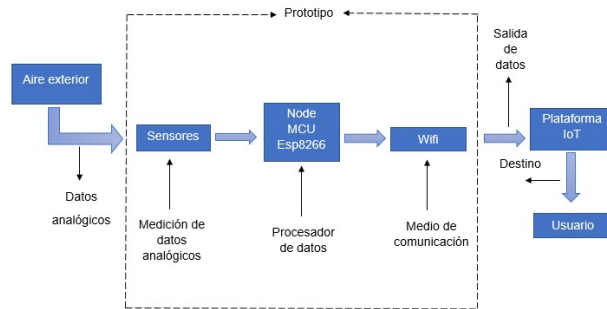


Figura 4: Diagrama de bloques

La plataforma de desarrollo conformada por el NodeMCU ESP8266 descrito en la Figura 4 realiza la comunicación y envío de información de los sensores implementados a través del módulo WiFi que tiene incorporado. Una vez enlazado a la infraestructura proporcionada por la red inalámbrica en el puerto, se hace el envío de la información a la nube IoT, el Arduino IDE será el sistema que se utilizará para la configuración, control y funcionamiento del prototipo.

El prototipo de la estación de monitoreo integra el sensor SCD30 para medir las concentraciones del CO_2 , de momento se presenta la funcionalidad y viabilidad de esta propuesta. De manera general, el sensor SCD30 permite las siguientes mediciones [11]:

- CO_2 (rango 400 ppm – 10000 ppm)
- Temperatura
- Humedad relativa

Se tiene en proceso de adquisición el módulo sensor SEN55-SDN-T, que incluye algunos de los gases en el ambiente a estudiar [15]:

- Material particulado (PM)
- Compuestos orgánicos volátiles (COV)
- Humedad
- Temperatura
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Un factor importante que es necesario resaltar de este sensor es la capacidad para auto calibrarse, ya que ofrece un tiempo de respuesta de 20 segundos para la detección

de CO_2 , mientras que para el registro de temperatura y humedad es de 8 y 10 segundos respectivamente [16].

El proveedor de este módulo lo entrega calibrado para la primera instalación, por este motivo es posible recalibrar, para ello se debe aplicar el procedimiento de 7 mediciones por lo menos cada 18 horas de uso continuo.

Para la calibración y buen registro de cada uno de los contaminantes presentes en el ambiente, la NOM-172-SEMARNAT-2019 [6], ayudará a dar una correcta clasificación de los elementos que se mencionan a continuación en las tablas 2 al 7.

Tabla 2: Obtención del Índice Aire y Salud para PM_{10}

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 12 horas ($\mu g/m^3$)
Buena	Bajo	50
Aceptable	Moderado	>50 y 75
Mala	Alto	>75 y 155
Muy mala	Muy alto	>155 y 235
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>235

Tabla 3: Obtención del Índice Aire y Salud para $PM_{2.5}$

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 12 horas ($\mu g/m^3$)
Buena	Bajo	25
Aceptable	Moderado	>25 y 45
Mala	Alto	>45 y 79
Muy mala	Muy alto	>79 y 147
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>147

Tabla 4: Obtención del Índice Aire y Salud para O_3

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 8 horas (O_3) ppm
Buena	Bajo	0.051
Aceptable	Moderado	>0.051 y 0.070
Mala	Alto	>0.070 y 0.092
Muy mala	Muy alto	>0.092 y 0.114
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>0.114

Para el caso del dióxido de carbono (CO_2) aún no se encuentran directrices o investigaciones directamente de

Tabla 5: Obtención del Índice Aire y Salud para NO_2

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 1 hora (NO_2) ppm
Buena	Bajo	0.107
Aceptable	Moderado	>0.107 y 0.210
Mala	Alto	>0.210 y 0.230
Muy mala	Muy alto	>0.230 y 0.250
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>0.250

Tabla 6: Obtención del Índice Aire y Salud para SO_2

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 24 horas (SO_2) ppm
Buena	Bajo	0.008
Aceptable	Moderado	>0.008 y 0.110
Mala	Alto	>0.110 y 0.165
Muy mala	Muy alto	>0.165 y 0.220
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>0.220

Tabla 7: Obtención del Índice Aire y Salud para CO

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 8 horas (CO) ppm
Buena	Bajo	8.75
Aceptable	Moderado	>8.75 y 11
Mala	Alto	>11 y 13.30
Muy mala	Muy alto	>13.30 y 15.50
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>15.50

la OMS, Índice de Calidad del Aire (ICA) o Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA), en este sentido, la NOM-172-SEMARNAT-2019 [6] contempla el CO_2 debido a la actual importancia para determinar los niveles de calidad del aire en interiores y exteriores.

De manera similar con los contaminantes antes referidos a lo existente en la NOM-172, se consideran los resultados obtenidos en "NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior" [18], menciona como es que el habitualmente en el aire exterior

Tabla 8: Cuadro elaborado a partir de varias publicaciones internacionales, principalmente *Climate Change 1994, Intergovernmental Panel on Climate Change [17]*

Gas	Principales fuentes	Concentraciones preindustriales	Concentraciones actuales	Potenciales de calentamiento global			Crecimiento (ritmo anual)	Vida atmosférica
				20 años	100 años	500 años		
Bióxido de carbono CO_2^*	Quema de combustible fósiles, producción de cemento, etc.	280	350	1	1	1	1.6	50*200
Metano CH_4^*	Cultivo de arroz, rellenos sanitarios, ganadería, etc.	0.8	1.7	62	24.5	75	0.02	10
Óxido nítrico N_2O^*	Agricultura (pastoreo en regiones tropicales), quema de biomasa, etc.	288	310	290	320	180	0.8	150

* Partes por millón

** Partes por mil millones

se encuentra a niveles entre los 300 y 400 ppm hasta alcanzar los valores hasta 550 ppm en zonas urbanas.

En su sitio oficial, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y apoyada por “México y el cambio climático”, indica que el CO_2 se encuentra con mayor concentración en los Gases de Efecto Invernadero (GEI), de hasta 350ppm, la información se sintetiza de forma complementaria en las tablas 8 y 9.

Tabla 9: Obtención de los datos a referencias CO_2

Calidad del aire	Nivel de riesgo	Intervalo a 1 hora (CO_2) ppm
Buena	Bajo	300
Aceptable	Moderado	>300 y 400
Mala	Alto	>400 y 600
Muy mala	Muy alto	>600 y 700
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>700

Toda la información mostrada es considerada como referencia para la implementación del prototipo para medir el en el SCD30 y el resto de los gases cuando llegue el módulo sensor SEN55-SDN-T, igualmente la utilización de todos los informes de tiempo, nivel de riesgo, etc, para cada contaminante ambiental.

III. Comunicación del microprocesador a plataforma IoT

Una de las características del NodeMCU ESP8266 es su capacidad de comunicación inalámbrica mediante las conexiones WiFi. La correcta inclusión del módulo inalámbrico del ESP8266 hacen posible que el hardware sea una gran opción para las aplicaciones de IoT con una conectividad segura basada en protocolos del modelo TCP/IP.

La configuración de los elementos por medio de Arduino IDE se logra realizar de manera simple, en especial las configuraciones seriales del módulo inalámbrico directamente a una sola plataforma de software.

Así mismo, le añadimos las ventajas del NodeMCU en integrar la diversidad de sensores analógicos y/o digitales a través de sus puertos Entrada/Salida de Propósito General (General Purpose Input/Output, por sus siglas en inglés GPIO).

Con la capacidad WiFi de esta plataforma embebida, se logra configurar el contacto con ThingSpeak para que los datos de los sensores sean visualizados, indicando su fecha y hora de captura, por lo tanto, logra ser un suministro de información para la futura toma de decisiones sobre la calidad del aire en exteriores.

IV. Resultados

La prueba del Prototipo de un Sistema IoT para el Monitoreo de la Calidad del Aire en Exteriores en el Puerto de Manzanillo se realizó en una colonia del Estado de Colima.

Se implementó el sensor SCD30 en el NodeMCU ESP8266 con su respectivo enlace a ThingSpeak, durante un periodo de 3 días, donde se realizó el registro de la temperatura, humedad relativa y CO_2 , cada 5 minutos durante 8 horas.

Con los valores obtenidos, se generan sus gráficas correspondientes indicando en el eje vertical los valores instantáneos de cada sensor y en el eje horizontal la respectiva fecha y hora, tal como se presentan en la Figura 5.

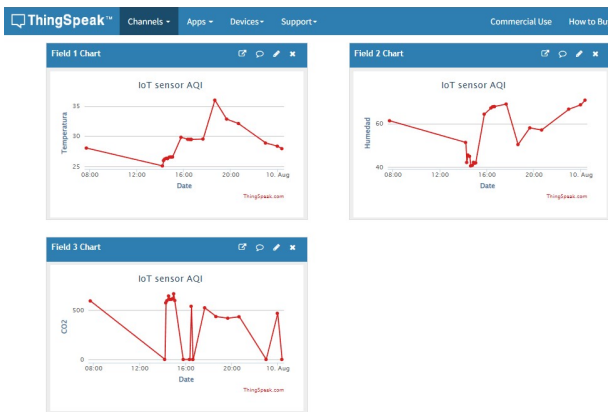


Figura 5: Muestras de los datos del sensor SCD30 en ThingSpeak

La plataforma ThingSpeak simplifica la representación de la información mediante los diferentes tipos de gráficas, así como también el acceso a ellas desde cualquier dispositivo con conexión a Internet.

En la Figura 6 se muestran los datos preliminares de los sensores en el puerto serial que se envían a la plataforma IoT. Los datos obtenidos por el sensor se compararon con la plataforma Windy.com y Weather.com.

```

COM3
-----
Iniciado STA:  INFINITOM168_2.4
IP #address:  192.168.1.70
firmware version major: 3   minor: 66
CO2 ppm: 376.33 temperature: 29.13 °C  humidity: 69.58 %
Calidad del aire EXCELENTE 376.33
¡Datos enviados a ThingSpeak!

CO2 ppm: 571.90 temperature: 29.15 °C  humidity: 69.13 %
Calidad del aire EXCELENTE 571.90
¡Datos enviados a ThingSpeak!

CO2 ppm: 593.52 temperature: 29.40 °C  humidity: 69.10 %
Calidad del aire EXCELENTE 593.52
¡Datos enviados a ThingSpeak!

CO2 ppm: 545.14 temperature: 29.30 °C  humidity: 67.85 %
Calidad del aire EXCELENTE 545.14
¡Datos enviados a ThingSpeak!

```

Figura 6: Muestras de los datos del sensor SCD30 en la terminal

V. Conclusiones

El aire ambiental contaminado y su larga exposición está asociado con el aumento de enfermedades respiratorias, así como de muertes prematuras lo cual sugiere la OMS. La relación con anterioridad al monitoreo de la calidad del aire en exteriores toma relevancia, ya que instituciones internacionales, nacionales, como la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) [19] y locales, enfocan sus esfuerzos para cumplir con las ODS firmadas en la agenda 2030, del mismo modo, ofrecen a la población la información para la toma de decisiones.

En el puerto de Manzanillo debido a la gran cantidad de contaminación que provocan las industrias y el sector turístico, así como el auge de las tecnologías IoT, se creó un prototipo de bajo costo que posibilita la medición de los contaminantes con la cual se calculará el índice de la calidad del aire, se plantea que el costo en comparación con los que se encuentran en el mercado sea notable y accesible para la futura manufactura en serie y crear un sistema de monitoreo, así mismo se podrán colocar en diversas zonas del estado de Colima.

El avance de este prototipo que, en su escalabilidad, adaptabilidad, economía e integración de más sensores en el embebido, lo califican como importante y vital para el monitoreo de los contaminantes en el aire exterior y se puede lograr volverlo competitivo para lo que ya se encuentra en el mercado.

La visualización de datos en la plataforma ThingSpeak permite un entorno amigable y transparente para en un futuro se realice una mejor interpretación de la información, esta herramienta es de implementación sencilla incluso en exportar las gráficas a un portal web externo.

VI. Trabajo futuro

Se adquirió el módulo de sensores SEN55-SDN-T del fabricante Sensirion, este módulo es una solución integrada para la medición de PM, COV, NO_x , temperatura y humedad. Adicionalmente, cuenta con algoritmos patentados para su integración directa con sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (Heating Ventilation and Air Conditioning, por sus siglas en inglés HVAC), así como para las aplicaciones de calidad del aire.

Además, agregar más información a las gráficas que proporciona ThingSpeak con respecto a la comparativa de los niveles de calidad del aire y el valor actual de cada sensor e incluir un sistema de alimentación alterno por energías verdes para no depender del suministro eléctrico convencional, además de diseñar una caja protectora para su implementación final en exteriores.

Con el prototipo finalizado, se colocará en un punto estratégico del puerto de Manzanillo, tomará los datos de cada sensor y se visualizará en la página web, además de

agregar notificaciones tanto en el portal web, dispositivos móviles y redes sociales.

Referencias

- [1] CEPAL - Naciones Unidas. 3.9 | *Agenda 2030 en América Latina y el Caribe*. agenda2030lac.org. URL: <https://agenda2030lac.org/es/metas/39>.
- [2] CEPAL - Naciones Unidas. 7. *Energía Asequible Y No Contaminante | Agenda 2030 En América Latina Y El Caribe*. agenda2030lac.org. URL: <https://agenda2030lac.org/es/ods/7-energia-asequible-y-no-contaminante>.
- [3] CEPAL - Naciones Unidas. 11.6 | *Agenda 2030 en América Latina y el Caribe*. agenda2030lac.org. URL: <https://agenda2030lac.org/es/metas/116>.
- [4] Agenda 2030 Naciones Unidas. *Objetivo de Desarrollo Sostenible 13: Acción por el Clima*. gob.mx, sep. de 2017. URL: <https://www.gob.mx/agenda2030/articulos/13-accion-por-el-clima>.
- [5] World Health Organization: WHO. *Calidad del aire y salud*. Who.int, mayo de 2018. URL: [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).
- [6] Julio César Jesús Trujillo Segura. *DOF - Diario Oficial de la Federación*. Dof.gob.mx, nov. de 2019. URL: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019.
- [7] Arduino. *Software de Arduino | Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea*. Arduino.cl, sep. de 2014. URL: <https://arduino.cl/programacion/>.
- [8] Jecrespom P. *Qué es ESP8266*. Aprendiendo Arduino, sep. de 2017. URL: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/09/12/que-es-esp8266/>.
- [9] Github.com. *esp8266/Arduino*. GitHub, mayo de 2019. URL: <https://github.com/esp8266/Arduino>.
- [10] Un electrónica. *Módulos ESP8266*. UN ELECTRONICA, abr. de 2017. URL: <https://unelectronica.github.io/Modulos-esp8266/>.
- [11] Uelectronics.com. *Pinout del SCD30*. 2022. URL: <https://uelectronics.com/wp-content/uploads/2022/01/AR2952-SCD30-Sensor-de-Calidad-del-Aire-CO2-PINOUT.jpg>.
- [12] Byte Your Life. *Bauanleitung – CO2 Ampel für bessere Raumluft im Bilderrahmen | ByteYourLife.com*. byteyourlife, dic. de 2020. URL: <https://www.byteyourlife.com/top-story/bauanleitung-co2-ampel-fuer-bessere-raumluft-im-bilderrahmen/8471>.
- [13] Manuel Alonso Rosa. *IoT: El Internet de las cosas en las empresas Cordobesas - ThingSpeak*. sites.google.com. URL: <https://sites.google.com/ieslafuentsanta.es/iot/proceso/estudio-plataformas-iot/software/thingspeak>.
- [14] ThingSpeak. *IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things*. thingspeak.com. URL: <https://thingspeak.com>.
- [15] Sensirion. *Datasheet SEN5x Environmental Sensor Node for HVAC and Air Quality Applications*. Sensirion, mar. de 2022. URL: https://sensirion.com/media/documents/6791EFA0/62A1F68F/Sensirion_Datasheet_Environmental_Node_SEN5x.pdf.
- [16] Mariete. *Sensor de CO2 NDIR Sensirion SCD30 dual-channel*. eMariete, sep. de 2021. URL: <https://emariete.com/sensor-co2-ndir-sensirion-scd30-dual-channel/>.
- [17] INECC. *Instituto Nacional de Ecología, México y el cambio climático*. URL: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/32/cap1.html>.
- [18] Maria José Berenguer Subils y Félix Bernal Domínguez. *NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior*. Ministerio de trabajo y asuntos sociales España. URL: https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_549.pdf/e9364a82-6f1b-4590-90e0-1d08b22e1074.
- [19] *Recomendación General 32/2018 | Comisión Nacional de los Derechos Humanos - México*. www.cndh.org.mx, 2018. URL: <https://www.cndh.org.mx/documento/recomendacion-general-322018>.