

Prototipo de un sistema IoT para medición de gases de efecto invernadero.

Jhon Kevin Segura Gómez.

Director:

Angela Tatiana Zona Ortiz, PhD

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES Y REGULACIÓN TIC
BOGOTÁ, 2021

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
1 Presentación del proyecto	4
1.1 Objetivos	4
1.1.1 Objetivo General.....	4
1.1.2 Objetivos específicos.....	4
1.2 Alcance.....	5
1.3 Metodología.....	5
2 Contexto Nacional e Internacional para Gases de Efecto Invernadero GEI.....	7
2.1 Normas medioambientales de carácter Nacional e Internacional.....	8
2.1.1 Características de los Gases de Efecto Invernadero.	12
2.2 Políticas frente a los cambios medio ambientales en Colombia.	12
2.2.1 Iniciativas que desarrolla actualmente el Ministerio de ambiente referente a las políticas existentes.	21
2.3 Requerimientos para sistemas de medición de Gases de Efecto Invernadero... 25	
3 Fundamentos de IoT	30
3.1 Arquitectura de garthner IoT.	31
3.2 Tecnologías de transmisión con IoT del mercado.....	33
3.2.1 SigFox	33
3.2.2 LORA	33
3.2.3 Narrowband IoT.....	34

4	IoT Core AWS.....	34
4.1	Aplicación bases de datos Dynamo y Mongo db.....	36
4.2	AWS servidores.....	36
5	Diseño del nodo de gases de efecto invernadero.	37
5.1	Metodología de diseño.	47
5.2	Diseño del sistema.	48
5.3	Implementación del sistema	49
6	Integración y validación del sistema.	50
6.1	Procedimiento de pruebas.....	51
6.2	Resultado de pruebas.....	52
6.3	Validación del sistema.	56
7	Conclusiones.	69
	Referencias.	70
	Lista de figuras.	79
	Lista de tablas.....	81
	Anexo A. CÓDIGO nodemcu arduino.	82

ACRÓNIMOS

NB -Narrow Band

GEI -Gases de Efecto Invernadero

CH4 -Metano

MQ7- Dióxido de Carbono

SIRH -Sistema de Información del Recurso Hídrico

LPWAN -Low Power Wide Area Networks

TIC'S -Tecnologías de la información y la comunicación

CSS – Cascading Style Sheets.

AWS -Amazon Web Services.

SVG – Scalable Vector Graphics

REST – Representational State Transfer

SITP – Sistema Integrado de Transporte Publico

UI – User Interface.

IoT – Internet of Things

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

PM – Material Particulado.

ICAp- índice de Calidad del Aire para el contaminante p

UX – User Experience.

CMNUCC - Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

RM CAB - Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá

IBOCA - Índice Bogotano de Calidad de Aire

IPCC - El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

MADS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

PNCC - Política Nacional de Cambio Climático

PPM -Partes por millón

RESUMEN

Existen diferentes Gases de Efecto Invernadero GEI los cuales son metano, dióxido de carbono, óxido nitroso, vapor de agua, ozono y temperatura, estos gases son el principal causante del calentamiento global como los cambios que se ven reflejados en la actualidad. Tenemos diferentes sistemas de medición para cada uno de los contaminantes y en la construcción como desarrollo de esta tesis se demuestra la importancia de conocer y distinguir cada uno de estos contaminantes como su origen, teniendo como referencia la metodología de bloques.

El proyecto a desarrollar evaluará las distintas tecnologías existentes del mercado y cómo se acoplan a IoT, para esto se utiliza como medio de recepción sensores para la captación de datos referentes a algunos GEI, posterior a esto se buscaran alternativas tecnológicas que permitan integrar bases de datos configuradas previamente en la nube, en este caso la base escogida para el proyecto es MongoDB, la encargada de recibir datos capturados por cada uno de los sensores de GEI, con lo anterior, se procesa la información por medio de un dispositivo al servidor en AWS, toda la información capturada se evidenciara de manera gráfica.

La construcción de este prototipo se desarrolla con componentes de bajo costo, que son de fácil acceso para poder reemplazar a largo plazo los sensores que se dañen con facilidad, este prototipo cuenta con un lenguaje de programación el cual interactúa entre sí para culminar con un funcionamiento correcto del sistema.

Palabra's clave: IoT, GEI, MongoDB, AWS, Arduino.

Abstract

There are different Greenhouse Gases (GHG) such as methane, carbon dioxide, and nitrous oxide; Other relevant factors in global warming are water vapor, ozone, and temperature. We have different measurement systems for each of the pollutants. This thesis demonstrates the importance of knowing and distinguishing each of these pollutants as their origin using a blocks methodology.

In the developed project, we will evaluate existing technologies in the market and how they are coupled to IoT. For this, sensors will be used for data collection related to some GHG. After this, technological alternatives will be explored, allowing the integration of databases previously configured in the cloud. In this case, we choose a MongoDB database responsible for receiving the data captured by each of the GHG sensors. Thus, information is processed through a device to the server in AWS, and all captured data is graphically evidenced.

The construction of this prototype is developed with low-cost components, which are easily accessible and replaceable, which made an excellent option for a long-term operation. However, those sensors are easily damaged due to electrical or environmental factors. In addition, this prototype and the web server had been coded using libraries that interact with each other to work successfully.

Keywords: Analytic Hierarchy Process; methodological proposal; prioritization; Spectrum assignment.

Introducción

El desarrollo de esta tesis tiene el objetivo de diseñar e implementar un prototipo para la medición de algunos Gases de Efecto Invernadero con tecnologías IoT tomando como base los siguientes parámetros:

Primero las normas nacionales, internacionales y los tratados que rigen a nivel mundial los parámetros para la medición de la contaminación.

Segundo las leyes actuales que definen los organismos a nivel nacional para determinar los principales contaminantes en referencia el cambio climático por la pandemia a nivel mundial de COVID-19.

Tercero las alternativas e implementaciones que se crean por parte del Gobierno Nacional para combatir el calentamiento global.

La importancia de estudiar este tema en particular radica en que las consecuencias que trae la generación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), lleva a crear un prototipo de sistema IoT para la medición de gases; los datos obtenidos por medio de sensores son cargados y procesados para su posterior envío por medio de una tarjeta *Nodemcu* la cual se programó con Arduino con un protocolo WIFI para el encapsulamiento de la información a un servidor Web en AWS con una página web donde se visualiza de manera gráfica los datos capturados.

Adicionalmente se incluyen anexos con el desarrollo del código utilizado que muestra el proceso de captura y envío de datos del prototipo IoT utilizados en este trabajo.

1 Presentación del proyecto

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo de un sistema de medición de gases de efecto invernadero basado en IoT, que permita almacenar en una plataforma en la nube las mediciones para que puedan ser consultadas

1.1.2 Objetivos específicos

1. Identificar requerimientos para sistemas de medición ambiental de gases de efecto invernadero para uso masivo, mediante la revisión de regulaciones nacionales y recomendaciones internacionales.
2. Seleccionar herramientas y plataformas para diseño rápido de prototipos que puedan ser usadas en el diseño del prototipo mediante una comparación entre las disponibles en el mercado.
3. Diseñar un nodo de medición de gases de efecto invernadero sobre una placa de desarrollo que permita validar el funcionamiento, tenga un bajo consumo y se comunique de manera inalámbrica a internet.
4. Establecer la arquitectura del sistema en la nube que permita la recepción, almacenamiento y visualización de las variables medidas por el sensor.
5. Implementar el prototipo de un sistema de medición de gases de efecto invernadero basado en IoT en un entorno de pruebas que permita la validación de su funcionamiento.

1.2 Alcance

El alcance del proyecto está enfocado en un prototipo a nivel de laboratorio de un sistema de medición de gases de efecto invernadero, compuesto por sensores integrados en una placa de desarrollo con comunicación inalámbrica y una plataforma sobre AWS que recibe, almacena y visualiza las variables medidas por los sensores.

1.3 Metodología

El proyecto se desarrollará usando una metodología de tres fases las cuales explicaran a lo largo de esta sección, un esquema de esto se puede ver en la Ilustración 1.

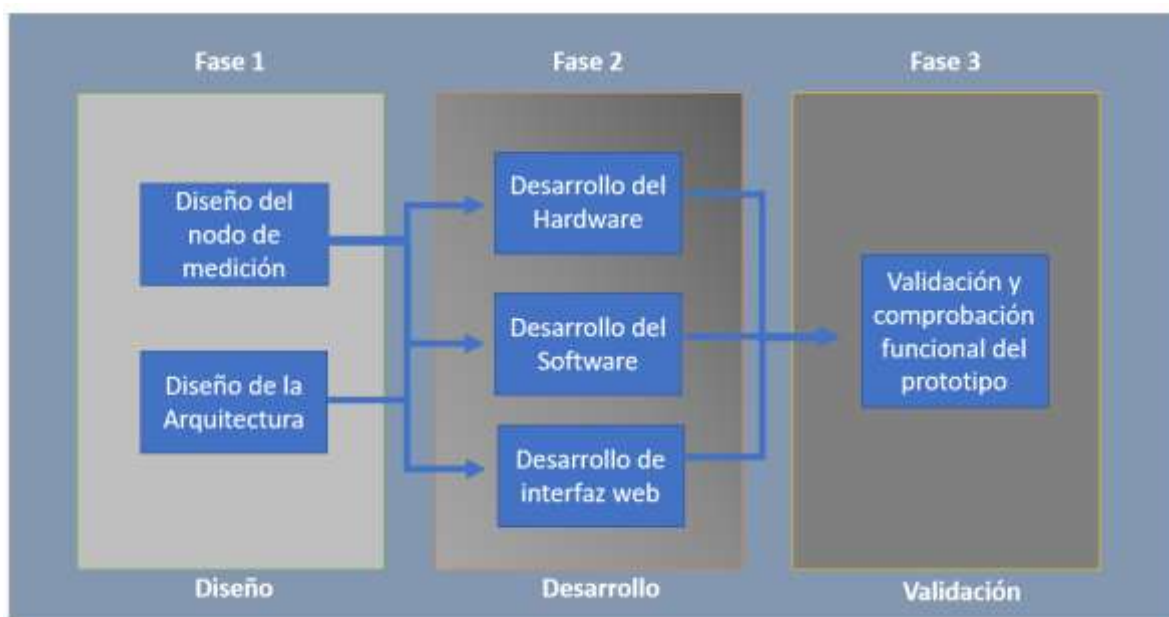


Ilustración 1. Metodología del proyecto.

Fase 1 (Diseño):

Esta fase cumple un papel importante, dado que un levantamiento de información idóneo sirve como una base sólida para la creación de un proyecto el cual se empieza por la construcción de un marco de referencia donde cuyos componentes son, diseño del nodo de medición y diseño de la arquitectura, el primero consiste en obtener un esquema de los requisitos principales para llegar a un producto terminado. Por otra parte, el segundo bloque corresponde al diseño de la arquitectura, en el cual se debe levantar la información

correspondiente a los componentes que deben hacer parte de esta para el diseño de una solución tecnológica [12], tomando en cuenta la información anterior, este bloque es uno de los más importantes ya que con la identificación y parametrización de nuestra arquitectura se podrá evaluar alternativas como los módulos en la nube de AWS [9].

Fase 2 (Desarrollo):

Con la integración de los resultados de la fase anterior de diseño y levantamiento de información se procede a realizar la implementación de la arquitectura que llevo a la construcción del prototipo, esta fase está dividida en tres sub-fases las cuales son:

- **Desarrollo del hardware:**

Esta sub-fase integra los componentes tecnológicos necesarios para construir el prototipo, en esta hablaremos de elementos como: sensores, placa de transmisión y batería, que son el soporte principal para llegar a tal fin.

- **Desarrollo del Software:**

Habiendo definido la línea de trabajo a utilizar y las tecnologías necesarias que en este caso es un servidor en AWS el cual en su interior cuenta con un servidor web configurado con NodeJs. Adicionalmente se procede a hacer el proceso de captura y procesamiento de la información a recolectar de los sensores tomados del procedimiento de la sub-fase anterior.

- **Desarrollo interfaz web:**

El desarrollo de una interfaz web permitirá estructurar y visualizar toda la información que será enviada por medio de las dos sub-fases anteriormente descritas. Esta última sub-fase cumple un papel importante ya que permitirá ver la información de manera limpia y fácil por lo cual se puede validar la información que están tomando los sensores utilizados en el prototipo para la medición de los principales gases de efecto invernadero.

Es importante mencionar que el servidor NodeJs cuenta con la característica de estar programado con ReactJs lo cual nos facilita el proceso de recolección de datos de cada uno de los sensores definidos como: temperatura, humedad relativa, metano y dióxido de carbono, esta interfaz web se desarrolla en el apartado 6.

Fase 3 (Validación):

En esta fase se valida y comprueba la capacidad funcional del prototipo, se desarrolla de forma estructurada y clara, además por medio de varias pruebas se busca ver cómo está funcionando el ecosistema de punta a punta para hacer el análisis respectivo de la información obtenida y finalizar con las conclusiones del proyecto.

El proyecto cuenta con tres fases definidas que nos brindan la información necesaria para solucionar la problemática planteada. Estas fases se conectan una a una para consolidar un prototipo funcional de bajo costo, eficaz y de tamaño razonable que cuente con interconectividad entre los sensores y el servidor web, que permita ser integrado a una interfaz web.

2 Contexto Nacional e Internacional para Gases de Efecto Invernadero GEI.

Los gases de efecto invernadero son generados por el aumento en la ganadería lo cual causa un crecimiento de gases como dióxido de carbono [1], los estudios demuestran que con los cambios climáticos tales fenómenos que afectan la salud y son nocivos para el ser humano, donde una inundación puede destruir todo un pueblo, desbordando los ríos y causando que sea destruido cobrando la vida de las personas.

Las temperaturas cada día son más altas por efecto de los cambios climáticos, estos causan sequedad en el aire y aumento de temperaturas, lo cual consiste en una carrera contra el tiempo dado que la salud de las personas se puede ver afectada por los altos índices de radiación al contacto directo con el sol [2]. Tomando en cuenta los incrementos y los contaminantes atmosféricos en estudios como los realizados por la universidad de Cantabria de España donde indica los constantes crecimientos en la temperatura y como están ligados con los aumentos en los infartos agudos del miocardio [2].

Los constantes cambios que atraviesa el planeta son relacionados con el aumento de los gases de efecto invernadero, por esta razón todos los países debe adoptar las indicaciones no son exigidas y sirven de guía para la reducción de las emisiones, se toma de referencia las recomendaciones de normas que están enfocadas a contextos nacionales e internacionales, existen factores como la polución atmosférica y el cambio climático van de la mano ya que muchos gases de efecto invernadero también son creadores de polución atmosférica [3].

Los componentes como la polución atmosférica son gases que contaminan el medio ambiente y causan efectos de daño a los ecosistemas [4], las grandes industrias intoxican el aire con la contaminación de estos gases de efecto invernadero lo que es un problema para las autoridades que se encargan de cada país en su normatividad nacional.

2.1 Normas medioambientales de carácter Nacional e Internacional.

Los gases de efecto invernadero son compuestos químicos contaminantes que están presentes en la atmosfera, este tipo de contaminación generan el incremento de la temperatura este proceso es conocido como baja atmosfera, por su capacidad de recibir y emitir radiación infrarroja, por ejemplo, el agua que es convertida en vapor pasa a ser un gas que al ser parte del efecto invernadero produce una tercera parte de la contaminación atmosférica a nivel mundial [5]. Existen gases que al tener un tiempo alto en su disipación son conocidos como los GEI (Gases de efecto invernadero), tales como, CO₂ (tiempo de vida mayor a 100 años), CH₄ (12 años), N₂O (121 años) y clorofluorocarbonos (entre 45 y 1020 años) [5], por este motivo el documento tiene como estructura conocer las normas medioambientales de carácter nacional e internacional y como están siendo plasmadas y adoptadas por Colombia.

Por lo anterior, tomando como referencia las múltiples normas y resoluciones emitidas por el gobierno nacional y el gobierno distrital se ven reflejados los cambios que trajo la pandemia a nivel mundial del COVID-19, existen medidas adoptadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) con base en el aislamiento preventivo del año 2020 el cual impacta directamente en los mecanismos de generación de estos gases como se observa en la Ilustración 2.



Ilustración 2. Medidas y resoluciones COVID-19 IDEAM [Autoría Propia].

Por medio de las TIC'S se establecen medidas para enfrentar la nueva realidad de una pandemia, desde muchas empresas se crean estrategias para evitar los choques a la economía [6], por lo anterior, las medidas se establecen como teletrabajo, home office con el fin de disminuir el impacto económico que sufre la economía, estas cargas laborales se enfocan en los hogares con el fin de continuar en gran medida con algunos trabajos para mantener una porción de la economía activa a nivel mundial, también esto afectó los desplazamientos de los ciudadanos ya que no necesitaban un medio de transporte para realizar sus actividades laborales o personales, por lo anterior, se establecen medidas en la movilidad para el desplazamiento por víveres y en su misma localidad, reduciendo la contaminación que ocasionan los automotores y utilizando las tecnologías emergentes [7].

También trajo medidas como horarios más flexibles [8][9],[10], lo cual en el diagrama anterior muestra algunas medidas tomadas por el IDEAM y como estas medidas también impactan el medio ambiente a nivel global por la disminución de las actividades en todo el mundo por la pandemia COVID-19. Por lo anterior, con el fin de atender la medida de dan suspensiones de laboratorios para la acreditación de pruebas y seguimientos de proyectos [11].

Las tecnologías e integraciones de la industria traen consigo la reducción de la movilidad como lo demostró el estudio realizado por una universidad de Bogotá en el año 2020 [12], el cual tiene como referente mostrar los estragos como impactos que sufre la movilidad en Colombia, esto trae una disminución importante que se ve reflejado en menos gases de efecto invernadero.



Ilustración 3. Cambios de la movilidad en Colombia Imagen tomada de [12].

La Ilustración 3 abre la cadena para tener un apoyo de las tecnologías como de las herramientas a nivel topológico como algoritmos para mapear cambios [13] y con estas unidades poder contar con un registro de crecimiento como disminución de enfermedades o su propagación, por lo anterior y tomando estudios con respecto que apoyan al medio ambiente, existen también estudios que son dirigidos por el Ministerio de Ambiente el cual se rige para disminuir la huella de carbono de la atmosfera.

Tabla 1. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire [14].

Contaminante	Nivel Máximo Permissible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de Exposición
PM₁₀	50	Anula
	100	24 horas
PM_{2.5}	25	Anual
	50	24 horas
SO₂	50	24 horas
	100	1 hora
NO₂	60	Anual
	200	1 hora
O₃	100	8 horas
CO	5.000	8 horas
	35.000	1 hora

En el artículo 2 del capítulo 1 referente a la resolución No. 2254 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el 01 noviembre del 2017 establece los niveles máximos de contaminantes en el aire para Colombia y que actualmente rigen en todo el territorio nacional [14].

2.1.1 Características de los Gases de Efecto Invernadero.

Los GEI se producen con diferentes factores como lo es la deforestación y destrucción de bosques y fauna en todo el mundo, como lo demuestra el estudio de la Universidad de los Andes que se realizó en el año 2020, que indica los daños causados por la deforestación que impacta en las comunidades de las áreas cercanas a esta deforestación [15], como lo describe el documento e indagando sobre Colombia y las zonas que están siendo violentadas por factores como la minería ilegal, el narcotráfico y deforestación ilegal en la amazonia causando daños irreparables al medio ambiente equivalente al 52.2% del territorio nacional y es el tercer país de Suramérica con mayor área de bosques.

En la actualidad los gases de efecto invernadero son constantes y en gran proporción [16], en algunos estudios también se evalúan como estos gases de efecto invernadero están causado aumentos en la temperatura del suelo afectando algunas áreas de los árboles en un promedio de 2°C, modificando los ecosistemas.

2.2 Políticas frente a los cambios medio ambientales en Colombia.

Tomando como referencia lo presentado en el Primer Informe Bienal de Actualización de Colombia ante la CMNUCC [17], se expresan las acciones de mitigación que están siendo adelantadas por Colombia y como puede apalancar los avances de medición, reporte y verificación de los Gases de Efecto Invernadero.

En el resumen ejecutivo elaborado para el 2015 [17], se evidencia la participación de Colombia en 198 proyectos que incorporan la reducción de carbono Co2 que es uno de los principales Gases de Efecto Invernadero, donde se busca para el 2020 incorporar alternativas energéticas que permitan tener garantía de Energía renovable de un % no inferior al 77%, como la estimulación de alternativas de combustibles que puedan marcar la diferencia, en este caso asociado a Etanol y el Biodiesel empleados en el año 2020 con el fin de tener mezclas de un 20% de aplicación, para el medio ambiente estas alternativas se ven reflejadas en mecanismos de mitigación para los efectos causados por los Gases de Efecto Invernadero, la aplicación que Colombia esta implementado en relación con el Cambio Climático.

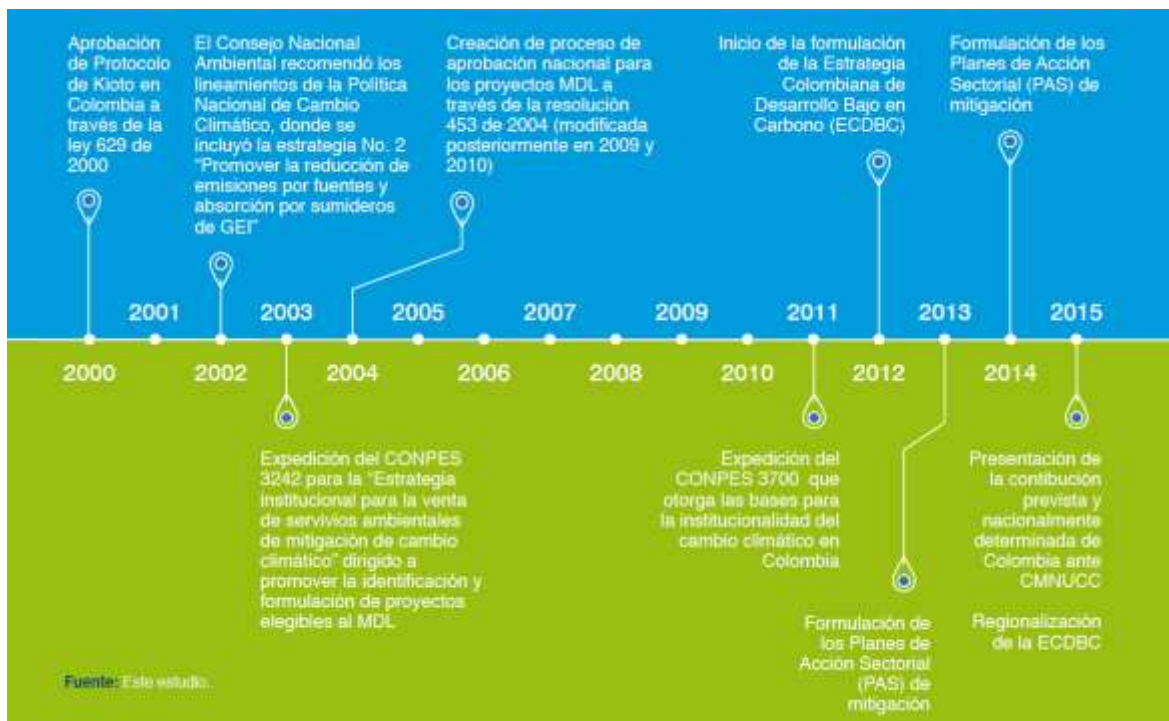


Ilustración 4. Evolución de las acciones de mitigación en Colombia [17].

La Ilustración 4 muestra los cambios referentes a la mitigación desde el año 2000 hasta el 2015, en algunos años se verán representados grandes cambios como base para la institucionalidad del cambio climático en Colombia, dando un margen y sentando unos cimientos para la formulación de los nuevos estudios en el futuro, mostrando los cambios que sufre la topología de Colombia y como afecta los ríos, mares y bosques [17].

En puntos específicos de Colombia se ven estructuras de bosques que cambian con respecto a la información referenciada en las reservas naturales, estos efectos se deben en muchos a la tala de árboles y deforestación ocasionando repercusiones a la población de ecosistemas de madera considerada perfecta para construcción [18], estos problemas también afectan a sociedades en aspectos socio económicos, salud, educación, alimentación entre otros, por ejemplo, en la población del choco la tala de árboles y la destrucción de los ecosistemas está afectando su economía gran parte de los negocios están tiendo problemas económicos los cuales complican las necesidades diarias de la población [19].

Con lo anterior, y tomando aspectos específicos hay componentes de transportes en donde en febrero del año 2020 se presentaron 94'524.387 validaciones en todo el sistema entre todos los componentes zonales como troncales y sus Fases [20], con lo anterior se demuestra en un informe el impacto que tiene el transporte y entre ello cabe resaltar que todos los buses no son amigables con el ambiente ya que existen articulados con motores euro 5 es el medio de trasporte de Bogotá, también son un factor de contaminación ya que en muchos países de Europa los sacaron por su alta contaminación ya que no son amigables con el medio ambiente [20].

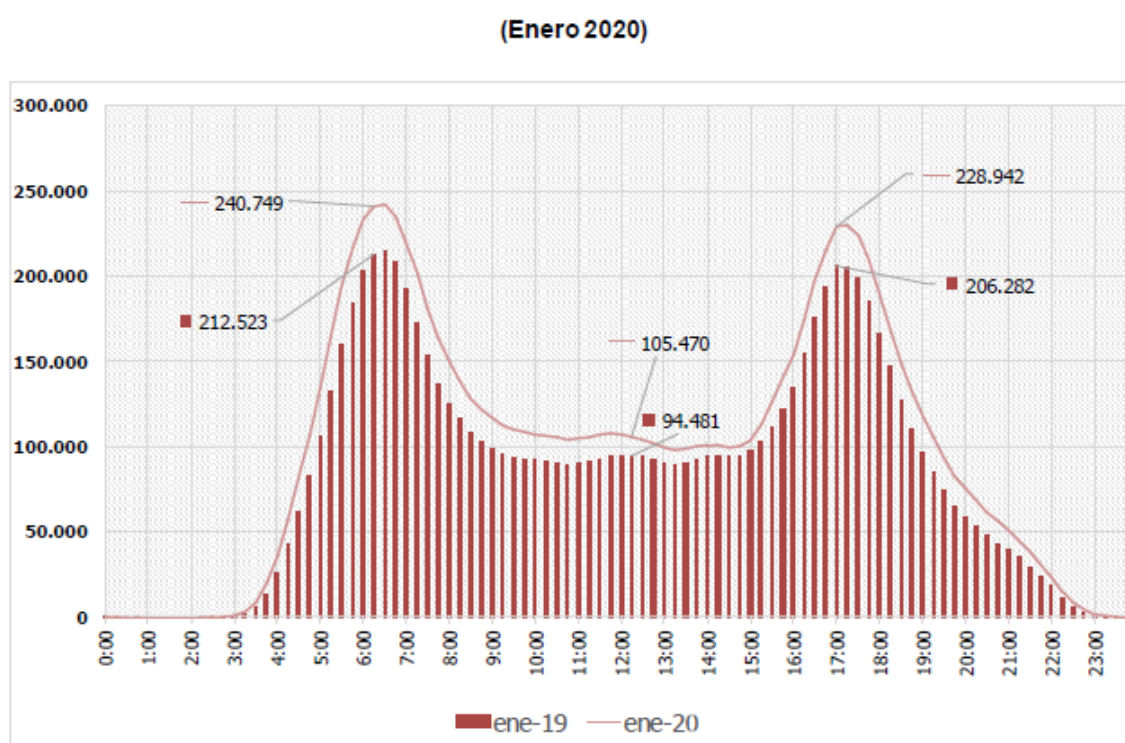


Ilustración 5. Perfil de demanda día típico Troncal Transmilenio, Grafica tomada [20].

La Ilustración 5 describe el alto flujo que se realiza en un medio de transporte masivo para una ciudad capital, en este caso solo se toma una parte la cual es entre el año 2019 y 2020 para ver el crecimiento como el alto flujo automotor que un medio de transporte causa entre llegar a picos de 240.749 personas solicitando el sistema, esto demuestra horas pico donde la demanda del sistema es enorme sin contar con los SITP.

Colombia en el transcurso de los años está buscando e implantando alternativas de medición de los Gases de efecto invernadero y con alternativas tecnologías como Índice Bogotano de Calidad de Aire - IBOCA, Pronostico de calidad del aire, Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá e Inventario de emisiones de Bogotá, todas estas plataformas indicadas son para Bogotá, también existen para las ciudades principales alternativas de medición todo regido por cada ente regional y territorial.

Los meses más calientes coinciden con las épocas de lluvias en la capital existe un fenómeno denominado retención de energía térmica, esto sucede en el centro de la capital ya que, al estar rodeado de grandes fábricas como actividades comerciales, el alto flujo de automotores y la concentración de personas causa que la temperatura media de Bogotá este expuesta en valores de 15°C como lo demuestra el estudio realizado en el año 2010 [14].

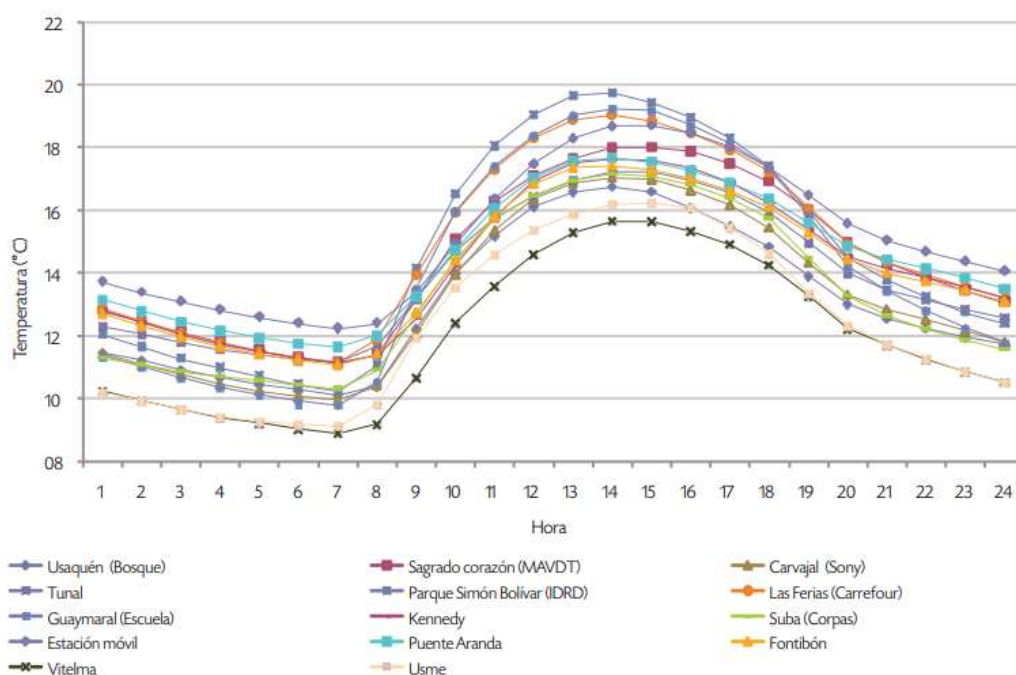


Ilustración 6. Plan decenal Comportamiento de la temperatura en un día 2010 Bogotá [14].

El comportamiento que se puede identificar en la sabana de Bogotá con la Ilustración 6 que el bosque de Usaquén registra la actividad más alta referente a la temperatura, por su alto número en este caso el pico está en 20 °C para una ciudad que está a un nivel superior del mar.

También existen factores que son muy importantes en este caso el plan decenal describe la multianual de radiación solar y la medida que se da en Bogotá en este caso la medida está entre 3500 y 4800 indicando los picos esto se debe a la contaminación atmosférica (fenómeno conocido como global dimming) indica la disminución de luz por los contaminantes que están presentes en el ambiente como hollín, carbón, carbonilla entre otros y el cual afecta a nivel mundial ya que son atribuidos a los Gases de efecto invernadero por ende la importancia de tomar datos para realizar acciones en contra de este fenómeno [14].

Entidades encargadas como red de Monitorio de Calidad del Aire de Bogotá el RMCAB, realiza estudios tanto mensuales como trimestrales, en este caso tomando en cuenta el impacto que tuvo la pandemia por el virus COVID-19 y las medidas tomadas por el gobierno nacional referente al aislamiento preventivo los datos se mantiene relativamente bajos durante el mes y con datos históricos por las concentraciones que se toman ya que mantiene sobre los niveles y no supera el máximo en la normatividad vigente (Resolución 2254 de 2017 del MADS), también se ven aumentos en algunas estaciones como lo es PTE Puente Aranda la cual presento un aumento de 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ causando un punto de verificación ya que aumenta el número de material particulado PM que está en el ozono [21][22].

Tabla 2. Resumen de los promedios 8 horas para Co Nov 2020 Bogotá tomado de [22].



Tomando la información anterior se realizó un resumen de los instrumentos de política pública nacionales más relevantes en materia de cambio climático en Colombia:

Tabla 3. Normas y resoluciones en Colombia frente al Cambio Climático [23].

#	Tipo y Número	año	Descripción.
1	Ley 164	1994	Aprobación Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
2	Ley 629	2000	Aprobación del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997.
3	Resolución 2733	2010	Procedimiento para la aprobación nacional de programas de actividades (PoA- por sus siglas en inglés) bajo el Mecanismo de Desarrollo

			Limpio (MDL) y se reglamenta la autorización de las entidades coordinadoras
4	Resolución 2734	2010	Procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio – MDL
5	Conpes 3700	Conpes 3700	Conpes 3700
6	Ley 1523	Ley 1523	Política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres
7	Decreto 1076	2015	Decreto Único Reglamentario Sector Ambiente
8	Ley 1753	2015	Formulación e implementación de planes sectoriales de adaptación al cambio climático y planes de acción sectorial de mitigación de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono. Implementación de la Estrategia Nacional de Reducción de Emisiones debidas a la Deforestación y Degradación Forestal, REDD+, en coordinación con otros ministerios y entidades públicas y el sector privado en el marco de la política nacional de cambio climático
9	Política	2016	Política Nacional de Cambio Climático

10	Ley 1819	2016	Se establece el impuesto nacional al carbono
11	Decreto 298	2016	Organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático-SISCLIMA
12	Ley 1844	2017	Aprobación del Acuerdo de París adoptado el 12 de diciembre de 2015 en París (Francia)
13	Decreto 926	2017	Reglamenta el impuesto nacional al carbono y el mecanismo de no causación del impuesto
14	Ley 1931	2018	Directrices para la gestión del Cambio Climático
15	Resolución 1447	2018	Reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional
16	Decreto 446	2020	Reglas aplicables a organismos de verificación de reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI)
17	Resolución 831	2020	Por la cual se modifica la Resolución 1447 de 2018

Tomado como referencia tanto los decretos, normas, leyes y resoluciones que rigen en la actualidad como en todo el territorio nacional, como modificación de resoluciones con el propósito de verificar las empresas que realizan estas mediciones referentes a GEI, en Colombia.

En Colombia está establecido por la resolución número 601 de 2006 los niveles de prevención, alerta y emergencia, donde muestra los contaminantes y tiempos de prevención

como niveles de alerta, por lo anterior la siguiente tabla muestra los contenidos que tiene en cuenta el gobierno nacional.

Tabla 4. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia valores tomados de la resolución 601 [24].

Contaminante	Tiempo de Exposición	Unidades	Prevención	Alerta	Emergencia
PST	24 horas	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$375 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$625 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$875 \mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10	24 horas	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$300 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$400 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$500 \mu\text{g}/\text{m}^3$
SO2	24 horas	ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.191 (500)	0.382 (1000)	0.612 (1600)
NO2	1 hora	ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.212 (400)	0.425 (800)	1.064 (2000)
O3	1 hora	ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.178 (350)	0.356 (700)	0.509 (1000)
CO	8 horas	ppm (mg/m^3)	14.9 (17)	29.7 (34)	40,2 (46)

Para la siguiente tabla se muestra la distribución y límites máximos de cada uno de los contaminantes y esta medida cada cuenta debe ser tomada, en este caso indica que medidas para el año 2009 al 2011 deben disminuir tomando en cuenta los controles que realiza el Ministerio de Ambiente.

Tabla 5. Niveles Máximos permisibles para contaminantes criterio [24].

Contaminante	Unidad	Límite máximo permisible	Tiempo de Exposición
PST	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	Anual
		300	24 horas
PM ₁₀	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	70	Anual
		150	24 horas
SO ₂	ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.031 (80)	Anual
		0.096 (250)	24 horas
		0.287 (750)	3 horas
NO ₂	ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.053 (100)	Anual
		0.08 (150)	24 horas
		0.106 (200)	1 hora
O ₃	ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.041 (80)	8 horas
		0.061 (120)	1 hora
CO	ppm (mg/m^3)	8.8 (10)	8 horas
		35 (40)	1 hora

Nota: mg/m^3 ó $\mu\text{g}/\text{m}^3$: a las condiciones de 298,15 ° K y 101,325 K Pa . (25 ° C y 760 mm Hg)

2.2.1 Iniciativas que desarrolla actualmente el Ministerio de ambiente referente a las políticas existentes.

El Ministerio de Ambiente de Colombia tiene algunas alternativas las cuales aplican políticas e iniciativas sobre la gestión del cambio climático, donde convoca diferentes entidades administrativas y publicas relacionadas a Nivel Nacional, Regional y por último Departamental y Local, con lo anterior se busca la articulación de las entidades por medio de las políticas nacionales sobre el cambio climático como lo indica el Documento Resumen de la PNCC dirigido a tomadores de decisión [25].

La Ilustración 7 muestra un mapa conceptual de la articulación y coordinación para la gestión del cambio climático y los niveles en este caso son: Nivel Nacional, Nivel Regional y por último el Nivel Departamental y Local.

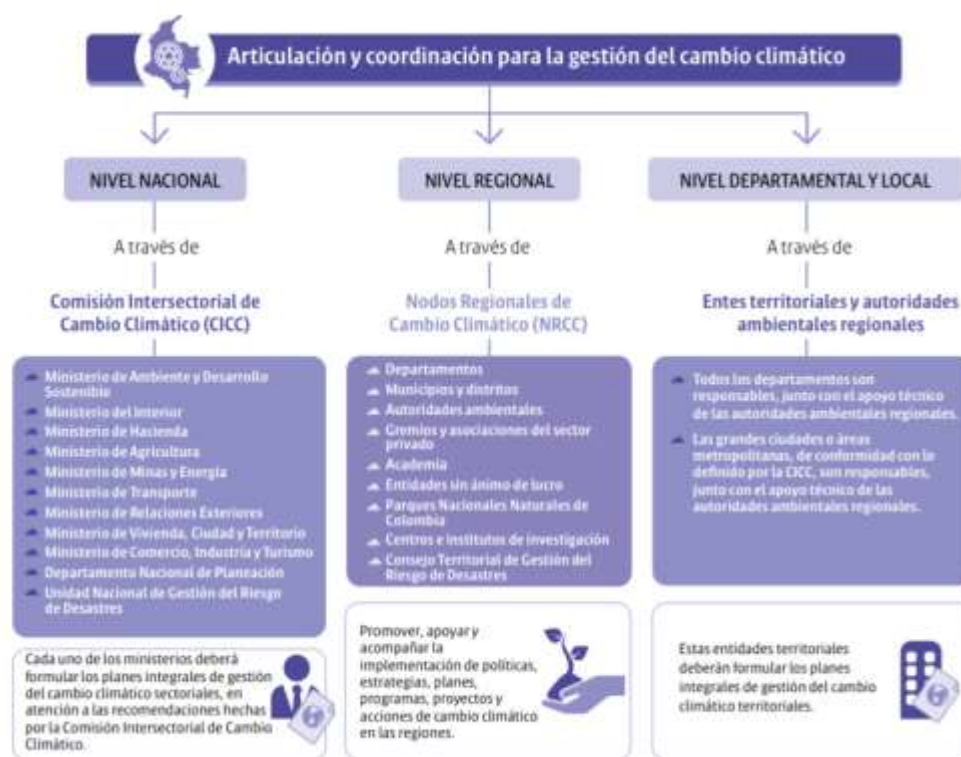


Ilustración 7. Diagrama de la estructura del cambio climático en Colombia [25].

- **Nivel Nacional:** El nivel nacional cumple el papel más importante ya que es el encargado de cada uno de los ministerios con ellos crear los planes de integración y tomar la información para la gestión del cambio climático como base de insumo [25].
- **Nivel Regional:** Desde el nivel regional toma los nodos regionales y con ellos los departamentos para apoyar, promover las políticas, estrategias y planes que traen los proyectos para el cambio climático en las regiones y como este se puede implementar con los consejos territoriales en centros como institutos de investigación Sistema Nacional Ambiental y el Consejo Territorial de Gestión del Riesgo de Desastres [25].
- **Nivel Departamental y Local:** Por ultimo y no menos importante se llega al nivel local el cual tiene el fin de tomar las entidades territoriales para la formulación de los planes de gestión del cambio climático, para integrar a los

ciudadanos los cuales son el punto fundamental en los cambios del medio ambiente ya que las actividades pueden darse en planificaciones de acciones y estrategias prioritarias en materia de mitigación de GEI como de adaptación al cambio climático [25]. En la actualidad existen herramientas digitales que permiten realizar capturas de información en este momento, una aplicación móvil y web desarrollada por la secretaria de ambiente en Bogotá, conocida como IBOCA [26], tiene como principal pilar la catalogación de los distintos niveles de medida.

Tabla 6. Información sensores IBOCA [26].

Atributos del IBOCA				Intervalos de concentración media móvil ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁽²⁾					
Intervalos de valores adimensionales ⁽¹⁾	Color	Estado de calidad del aire	Nivel de riesgo	PM ₁₀ (24 h)	PM _{2.5} (24 h)	CO (8 h)	SO ₂ (1 h)	NO ₂ (1 h)	O ₃ (8 h)
0 – 50	Verde	Favorable	Prevención	0 - 54	0 - 12,0	0 - 5094	0 - 92	0 - 100	0 - 106
51 – 100	Amarillo	Moderada	Prevención	55 - 154	12,1 - 35,4	5095 - 10818	93 - 197	101 - 188	107 - 137
101 – 150	Naranja	Regular	Alerta Fase 1	155 - 254	35,5 - 55,4	10819 - 14253	198 - 485	189 - 677	138 - 167
151 – 200	Rojos	Mala	Alerta Fase 2	255 - 354	55,5 - 150,4	14254 - 17688	486 - 796	678 - 1220	168 - 206
201 – 300	Morado	Peligrosa	Emergencia ⁽²⁾	355 - 604	150,5 - 250,4	17689 - 34861	797 - 1582	1221 - 2349	207 - 392
301 – 500				425 - 604	250,5 - 500,4	34862 - 57703	1583 - 2681	2350 - 3853	-----

La Tabla 6 está definida como IBOCA en Bogotá, muestra las medidas estandarizadas con el fin de tener definidos los diferentes niveles de riesgo, que abarcan los colores, dependiendo del color que este reflejado en la aplicación se identifica el nivel de contaminación que es expuesto en esa zona de Bogotá.

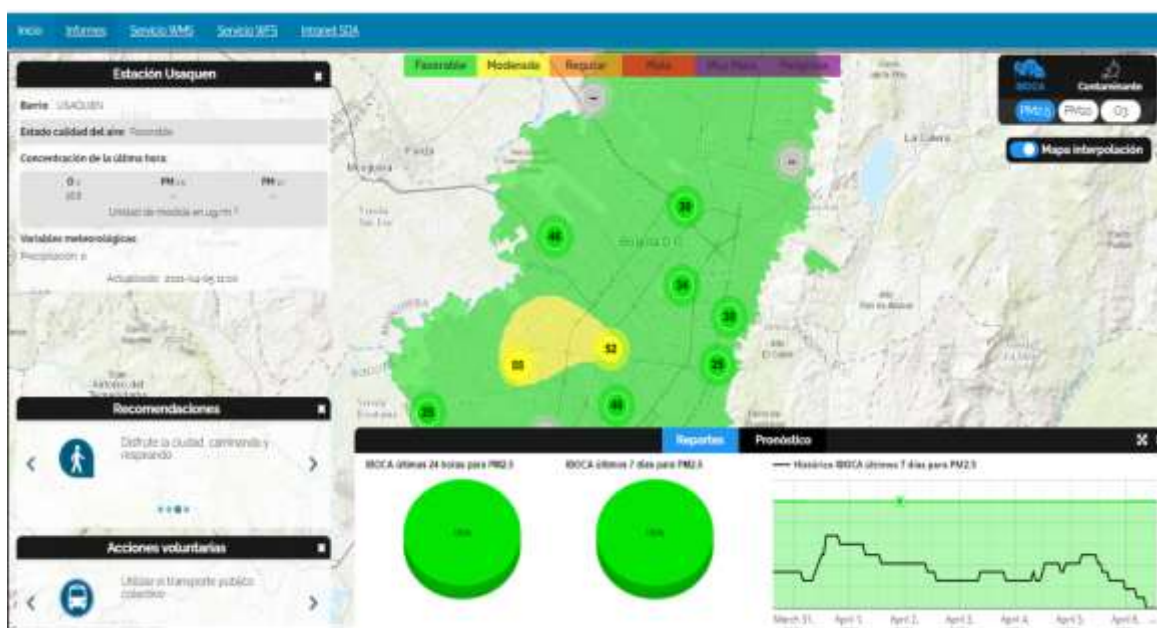


Ilustración 8. Imagen de Bogotá con los distintos puntos y sensores de IBOCA [26].

La Ilustración 8 algunos de los componentes que tiene la herramienta IBOCA, muestra las estaciones que existen referente al entorno que mide en la ciudad de Bogotá, cada punto tiene distintos colores que varían dependiendo de la información procesada.

Los niveles de contaminación son un margen que se utiliza con distintas tonalidades para definir lo peligroso que puede llegar a ser un punto a comparación de otro, en Bogotá con el sistema IBOCA el cual fue estructurado a principio de enero del año 2021, tenía como fin identificar y buscar los puntos máximos en cada color y con esto crear una tabla de estándar para el aplicativo como se demuestra con la siguiente tabla.

Tabla 7. Índice Bogotano de Calidad de Aire tomado de [27].



ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE

Atributos del IBOCA				Rangos de concentración y tiempo de exposición para cada contaminante ¹					
Rangos numéricos	Color	Estado de calidad del aire	Estado de actuación y respuesta ²	PM ₁₀ , 24h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5} , 24h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O ₃ , 8h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) [ppb]	CO, 8h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) [ppm]	SO ₂ , 1h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) [ppb]	NO ₂ , 1h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) [ppb]
0 - 10	Azul claro	Favorable	Prevención	(0-54)	(0-12)	(0-116) [0-59]	(0-5038) [0.0-4.4]	(0-931) [0-35]	(0-100)
10,1 - 20	Verde	Moderada	Prevención	(55-154)	(12,1-35,4)	(117-148) [60-75]	(5039-10762) [4,5-9,4]	(94-198) [36-75]	(101-188)
20,1 - 30	Amarillo	Regular	Alerta Amarilla	(155-254)	(35,5-55,4)	(149-187) [76-95]	(10763-14197) [9,5-12,4]	(199-486) [76-185]	(189-677) [101-360]
30,1 - 40	Naranja	Mala	Alerta Naranja	(255-354)	(55,5-150,4)	(188-226) [96-115]	(14198-17611) [12,5-15,4]	(487-797) [186-304]	(678-1221) [361-649]
40,1 - 60	Rojo ³	Muy Mala	Alerta Roja ³	(355-424)	(150,5-250,8)	(227-734) [116-174]	(17632-34805) [15,5-30,4]	(798-1583) [305-604]	(1221-2349) [650-1249]
60,1 - 100 ⁴	Morado	Peligrosa	Emergencia	(425-604)	(250,5-500,4)	(734-938) [374-938]	(34806-57703) [30,5-50,4]	(1584-2630) [605-1004]	(2350-3851) [1250-2049]

Aparte de tener una representación gráfica de los distintos colores y cada color que rango numérico representa, también se conoce los rangos de concentración de cada contaminante como su tiempo de exposición, entre el rango número sea más alto la contaminación será mayor y un riesgo potencial para la salud como se expresa a lo largo del informe boletín radicado por la secretaria de ambiente de Bogotá [27].

2.3 Requerimientos para sistemas de medición de Gases de Efecto Invernadero.

La metodología utilizada para calcular las emisiones de los GEI, fue la sugerida en las directrices del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés) de 2014 [28] . De acuerdo con lo anterior los gases reportados en la Primera Comunicación Nacional fueron: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el Óxido nitroso (N₂O), los Óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM) y el monóxido de carbono (CO), incluyendo de igual forma las emisiones de los Óxidos de azufre (SO₂) [29], estos cambios climáticos que están siendo interferidos por los principales gases de efecto invernadero. Por lo anterior, tomando en cuenta la información entregada por las distintas fuentes a nivel internacional se puede reconocer los GEI que son más comunes y con esto tener una pieza central para el desarrollo del documento.



Ilustración 9. Sistema de Gases de Efecto Invernadero [Autoría Propia].

Los principales gases de efecto invernadero que son tomados para el proyecto son los siguientes:

- **Metano (CH_4)**

La producción de metano en los últimos años toma mayor fuerza tanto por la producción animal y el crecimiento de esta actividad, actividad petrolera, rellenos sanitarios, aguas residuales, combustión, cultivos de arroz entre otros [30].

Como lo describe la siguiente tabla, muestra desde diferentes aspectos la contaminación que tiene este gas inmerso (Metano), tanto desde la parte natural como hasta desechos ocasionados por la agricultura y terminando desechos creados o sacados por el hombre.

Tabla 8. Información de fuentes de contaminación que contienen metano, tomado de [30].

Natural		Energía/desechos		Agricultura	
Pantanos	115	Gas y petróleo	50	Cultivos de Arroz	60
Océanos	15	Carbón mineral	40	Animales domésticos	80
Termitas	20	Carbón vegetal	10	Abonos orgánicos	10
Combustión	10	Relenos sanitarios	30	Combustión	5
		Aguas residuales	25		
Total	160		155		155

El metano es una fuerte GEI y juega un papel importante en la determinación de la capacidad de oxidación de la troposfera. Los cambios climáticos y el incremento procedente de carbono del permafrost que se va deshelando [31], causando que la capa atmosférica tenga una mayor carga de metano contribuyendo al crecimiento de los GEI a nivel mundial.

- **Óxido Nitroso (N_2O)**

La fuente más importante de óxido nitroso son las emisiones generadas por suelos agrícolas y en menor grado por el consumo de combustibles fósiles para generar energía y las emitidas por descomposición de proteínas de aguas residuales domésticas [32]. Las emisiones de óxido nitroso generadas por los suelos agrícolas se deben principalmente al proceso microbiológico de la nitrificación y desnitrificación del suelo. Se pueden distinguir tres tipos de emisiones: las directas desde el suelo, las directas de óxido nitroso del suelo debido a la producción animal y las indirectas generadas por el uso de fertilizantes.

- **Temperatura**

La temperatura es una medida que se da en una escala de grados Celsius [33], que permite por medio de herramientas digitales tomar información en tiempo real para la captura de la contaminación en distintas locaciones, en Bogotá, Colombia existe IBOCA, una aplicación móvil y web que es la encargada de mostrar un registro dinámico de la información capturada [26].

- ***Vapor de agua (H₂O)***

El vapor de agua es el más grande de los gases de efecto invernadero, de los GEI en la atmósfera es de los que más abunda y esto se puede ver en las nubes que recubren la tierra [34], tomando en cuenta los efectos que hay alrededor de los distintos gases de efecto invernadero, las nubes hacen el proceso de atrapar el calor y esto causa que se afecte la formación de las nubes, aumentando el efecto invernadero, es un proceso circular que al cargar la nubes con estos vapores se pueden convertir en vapores de agua.

En general, las nubes bajas y espesas reflejan la luz solar nuevamente hacia el espacio enfriando el planeta. Por otro lado, las delgadas nubes que se desplazan en lo alto forman una escasa sombra y debido a que son frías en sí mismas, atrapan el calor que irradia el planeta ubicado allá abajo. La temperatura del aire que se encuentra cerca del suelo, en efecto podría aumentar.

- ***Dióxido de Carbono (CO₂)***

El dióxido de carbono es uno de los gases traza más comunes e importantes en el sistema atmósfera-océano-Tierra, es el más importante GEI asociado a actividades humanas y el segundo gas más importante en el calentamiento global después del vapor de agua [34],[35]. Este gas tiene fuentes antropogénicas y naturales. Dentro del ciclo natural del carbono, el CO₂ juega un rol principal en un gran número de procesos biológicos [13]. En relación con las actividades humanas el CO₂ se emite principalmente, por el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y sus derivados y gas natural) y leña para generar energía, por la tala y quema de bosques, la Ilustración 10 muestra los niveles de concentración de Co₂.

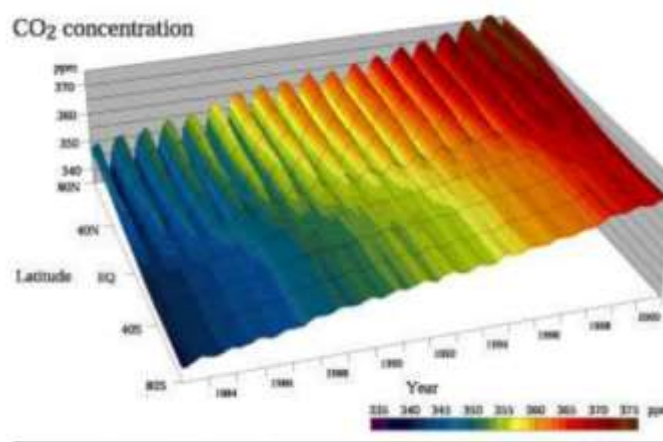


Ilustración 10. Concentraciones de Co₂ y sus niveles tomada de [34].

Con lo anterior, se requiere una alternativa para poder seguir más de cerca el cambio climático que se está viviendo a nivel mundial, tomando como referencia las políticas nacionales e internacionales en Colombia, con el estudio que realizó Colombia [17], se evidencia a corte de 2012, un país como Colombia emite anualmente en promedio 178.258.000 toneladas de CO₂ al año.

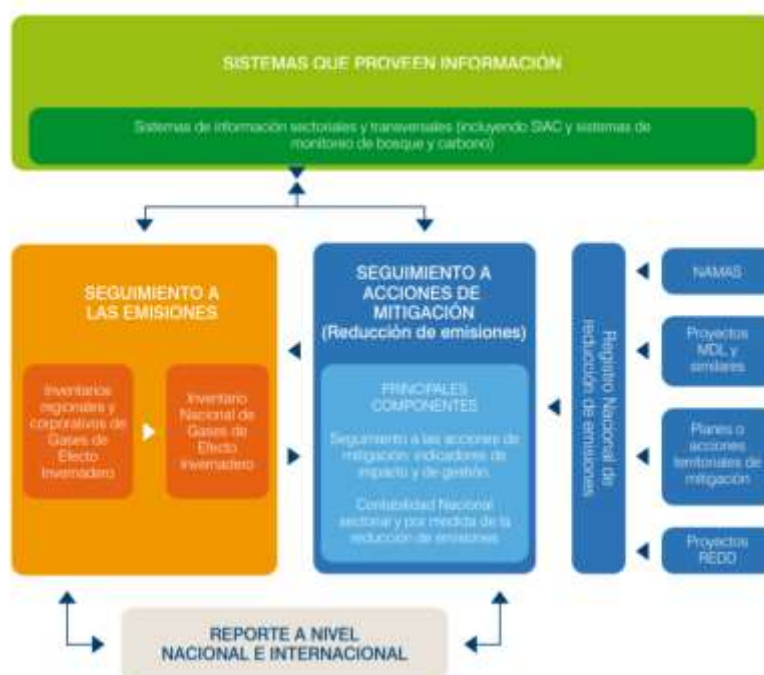


Ilustración 11. Sistema de información IDEAM [17]

Toda la información contenida mostrada en Ilustración 11 del reporte a nivel nacional e internacional que genera el IDEAM tiene algunas pautas como el seguimiento a las emisiones tanto regionales y llevar un inventario de estas, por otro lado, el seguimiento de las acciones de mitigación el más importante ya que desprende todos los proyectos y planes que se están ejecutando, indicando si se está cumpliendo con las metas planteadas en los objetivos del reporte.

3 Fundamentos de IoT

La tecnología IoT o más conocido como Internet de las cosas; ha tomado gran fuerza en los últimos 20 años y mucho más ahora con la llegada de nuevas tecnologías que permiten agrupar e interconectar diferentes dispositivos a través de una red permitiendo que cualquier cosa se pueda realizar sin necesidad de que alguien las esté operando; con todos estos avances esta tecnología funciona como sensores que permiten capturar datos como la temperatura de un lugar, la humedad, altitud, intensidad lumínica [36], para poder incorporar estas tecnologías que ya tiene unos fundamentos iniciales[12], contempla o consiste en tomar dispositivos para realizar mejoras en procesos de toma de datos a través de sensores en máquinas *Machine to Machine*.

Con lo anterior, para que la tecnología IoT siga teniendo éxito, se deberá seguir incorporando dispositivos inteligentes de última tecnología que permitan ser integrados y acoplados con objetos cotidianos para interconectar a los usuarios directamente con los dispositivos [37], las tecnologías permiten cambios dinámicos, interconectividad, escalabilidad, conectividad, seguridad entre muchos más usos.

Algunos estudios desean realizar un SVM (*Support Vector Machine*) que permita predecir por medio de sensores IoT y analizar esta información para determinar una predicción de factores ambientales con muestras de distintos puntos en el océano [38].

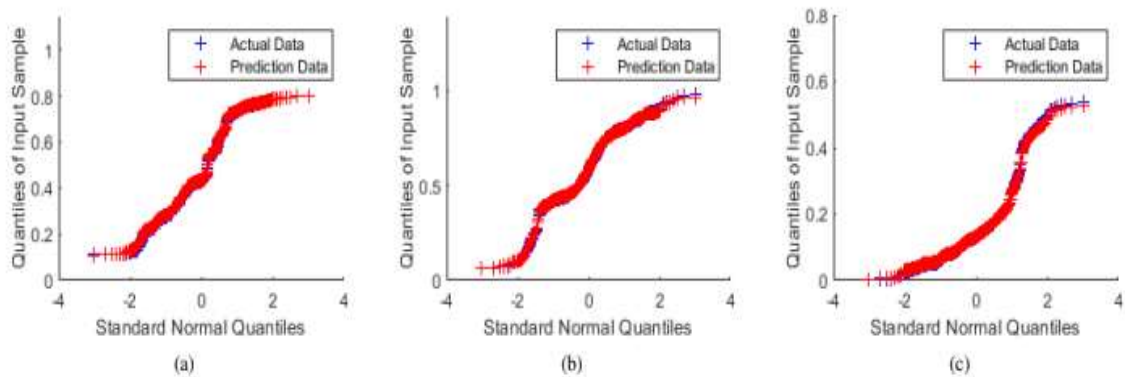


Ilustración 12. Estadísticas sobre las salidas reales de cada sensor marino de predicción para la construcción de un sistema Kernel, tomado de [38].

La Ilustración 12 describe el alto flujo de predicción que puede ser desarrollado con los datos que son recolectados en los sensores oceánicos como lo expresa el desarrollo de estos estudios [38].

Existen alternativas para prevenir y alertar por medio de las tecnologías IoT [39], en este caso se debe tener en cuenta el alcance de los dispositivos, cobertura y medios de transmisión. Encontramos sensores de largo alcance; por ejemplo, como los usados en la tecnología Narrowband IoT [40], la cual está en aumento por su bajo costo y fácil integración con dispositivos como sensores, utilizando la red ya existente de telefonía móvil, es decir, que por medio de la red móvil se realiza la conexión de los dispositivos de una manera segura y fiable.

3.1 Arquitectura de garthner IoT.

IoT ha revolucionado los modelos de negocios actuales por su gran acompañamiento y disminución en costos de producción de dispositivos, esta información está siendo tomada de los datos de Gartner que impulsa la nueva era y la cuarta revolución en donde se prevé 30 billones de dispositivos IoT [41].

Los grandes volúmenes de información traen alternativas de procesamiento y coordinación por bloques con el fin de expandir una solución a nivel global, como BIGDATA [42], la arquitectura diseñada es lo suficientemente genérica para ser utilizada y modificada en un

entorno IoT sin problemas, con el fin de abrir oportunidades de mejora en la tecnología con los avances de esta, la arquitectura de Garthner se divide en cuatro 4 capas conectas de manera jerárquicas, desde la parte de hardware como software que son el potencial de un proyecto o negocio,

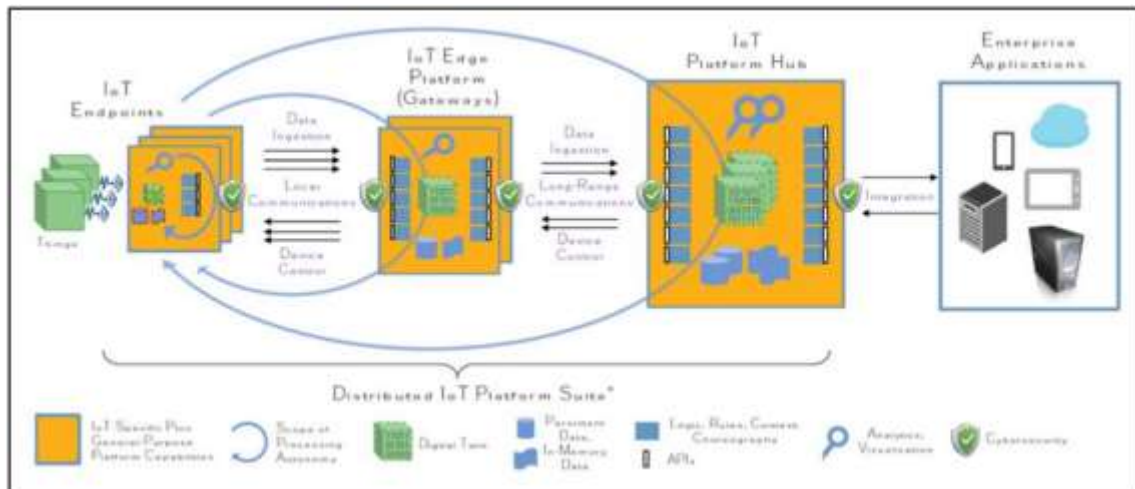


Ilustración 13. Modelo arquitectura Garthner referente para soluciones de negocios IoT [43].

Las etapas del modelo de Garthner son:

- IoT Endpoints
- IoT Edge Platform (Gateways)
- IoT Platform Hub
- Enterprise Applications

Todas las etapas trabajan en conjunto para brindar una solución de negocio IoT para un proyecto y es un marco de referencia para la arquitectura a diseñar en el proyecto.

Algunas Arquitecturas de IoT plantean la integración en tiempo real con clientes y cosas inteligentes el cual es uno de los principios de IoT, conectando sensores y actuadores por medio de herramientas tecnológicas que permiten convertirlo en inalámbrico, con el fin de recolectar datos y ejecutar tareas programables o automáticas como lo demostró el estudio realizado por la revista Researchgate [44], en donde se toman datos en tiempo real como

la temperatura los cuales son procesados y al mismo tiempo publicados para ser consultados por medio de un celular.

3.2 Tecnologías de transmisión con IoT del mercado

En el mercado existen distintas plataformas y tecnologías que buscan acoplar IoT, entre algunas de estas tenemos tecnologías que aprovechan los recursos ya existentes, es decir, infraestructura y cobertura móvil que ya está desplegada a nivel mundial, haciendo que tecnologías como SIGFOX, NARROWBAND Y LORA, se acoplen de manera correcta a la filosofía de IoT, la que consiste en poder interconectar dispositivos con objetos para poder realizar actividades de manera más fácil y de manera inalámbrica [45].

3.2.1 SigFox

La tecnología *SigFox* también como NB utiliza bandas de frecuencias en 902 MHz en América y 868 MHz en Europa, con una velocidad de transmisión de hasta 600 bps y un rango de 40KM siendo conocido por su largo alcance. En el mercado ofrecen este servicio a un costo elevado al consumidor [46], por lo que su venta es más seleccionada.

Esta tecnología cuenta con una topología de estrella la cual es eficiente ya que permite darle todo el control a un operador de red, de manera correcta ya que permite la transferencia de información pequeña, ideal para sensores de IoT [47], y está enfocado a niveles comerciales por su gran competitividad, comparado con otras tecnologías que no la pueden igualar su amplia cobertura.

3.2.2 LORA

La tecnología Lora es pionera en las redes de área amplia, mayor a 50 Kms, superando las tecnologías anteriores, pero al ser usada para LPWAN (Low Power Wide Area Networks) [48], es una tecnología punto a punto que permite usar el espectro por medio de placas especializadas que cuentan con un récord por su gran distancia de recepción, entre los gateways y los nodos.

Lora funciona en un rango de frecuencias entre 868 MHz (EU), 915 MHz (US) y 433 MHz (Asia) y 902-920 MHz Colombia, cabe resaltar que en entornos normales la distancia esta

entre 20 km y 30 km, todo se maneja con su protocolo LoRaWAN la cual administra y comunica los dispositivos de su propia red que ya se encuentra definida [49].

La tecnología lora es comúnmente utilizada en ambientes que requieran una comunicación en distancias amplias y se aplica en muchos proyectos por su fácil integración con sensores de todo tipo [50], en la **Tabla 12** se encuentra una descripción de sus características, entre estas una que es importante a tener en cuenta es el alto costo de esta tecnología, así como la baja disponibilidad en el mercado nacional debido a su baja demanda. Existen trabajos relacionados que por medio de estas tarjetas inalámbricas adquieren datos ambientales, como el desarrollado en la universidad Santo Tomas sede Bogotá, donde buscan medir datos ambientales en tiempo real como medio para analizar las variaciones climáticas, en este caso se aplicó con una tarjeta lora [50].

3.2.3 *Narrowband IoT.*

Narrowband IoT es una tecnología que incorpora LTE pues utiliza las redes móviles para cubrir grandes espacios y con ellos llegar a lugares más amplios por su versatilidad de estar en la banda inferior a 1GHZ, esta tecnología de Narrowband se sitúa entre los 700 MHz y los 800 MHz comúnmente [51], detrás de esta tecnología existe un desarrollo matemático alto el cual permite realizar controles para utilizar las frecuencias ya mencionadas del espectro electromagnético [52].

Las tecnologías en el mercado son variables porque existen alternativas para prevenir y alertar por medio de tecnologías IoT [39], en este caso se debe tener en cuenta el alcance de los dispositivos y medios de transmisión, existen de largo alcance, un ejemplo es Narrowband IoT [40], esta tecnología atrapa un gran auge por su bajo costo y fácil integración con dispositivos IoT, la cual utiliza la red ya existente móvil, es decir, que por medio de la red móvil realiza la conexión de los dispositivos de una manera segura y fiable.

4 IoT Core AWS.

Las aplicaciones en la nube toman fuerza, en los últimos años se ha evidenciado alternativas de dispositivos que pueden ser cargados y configurados en la nube, las redes

de IoT están tomando investigaciones con simulaciones la cuales dan a conocer por medio de técnicas de pruebas, en algunos casos son usados para la manipulación de drones [53], por su fácil integración entre las tecnologías, el desarrollo de la investigación busca acoplar por medio de investigaciones y verificaciones la interacción entre hardware y software, existen estudios que utilizan todo un ecosistema de AWS para hacer una medición de tomas de datos [54].

Las alternativas tecnologías en el mercado permiten tener distintos parámetros como características para determinar la mejor alternativa para el desarrollo del proyecto como la interacción con la nube, en este caso IoT de AWS por su integridad con NodeJs el cual permite el Framework Reactjs.

Tabla 9. Características Servidores.

Características	AWS	NodeJs	AZURE
Open source	x	x	X
Eventos asíncronos propios del servidor sin instalar o agregar componentes.	-	x	-
Modularidad	X	x	x
Fácil escalabilidad	x	x	x
Un alto rendimiento en proyectos donde necesitemos ejecución en tiempo real.	x	x	x
Compatibles con React js	x	x	x
Conexión libre sin costos por 12 meses	x	-	x
Interacción con Mongo DB	x	x	x

Con base en la tabla anterior se determina utilizar NodeJs ya que permite los eventos asíncronos sin tener que realizar más módulos o anexos en el servidor como sucede con

AWS con lambda y Azure, ya que el sistema recibirá un flujo de información referente a los sensores físicos, estos sensores cargan todo a un servidor de Back-end para procesar dicha información, también se realiza un servidor Front-end, con ReactJs nativo de JavaScript, este Framework con el fin de hacer un código más limpio y sustentable.

4.1 Aplicación bases de datos Dynamo y Mongo db

Dynamodb es un servicio de base de datos NoSQL totalmente gestionado. Una base de datos relacional acumula elementos en un conjunto de tablas afines para minimizar valores duplicados [55]. Sin embargo, esas relaciones de mesa hacen que el escalado requiera más recursos. La base de datos NoSQL normalmente almacena cada elemento como un documento único para alta escalabilidad. Las bases de datos NoSQL intercambian parte de la consulta y capacidades de transacción de bases de datos relacionales a favor de Rendimiento y escalabilidad, el desarrollador no necesita preocuparse por el mantenimiento de la base de datos, se puede descargar la versión local de Dynamodb y luego dar uso al servicio Dynamodb para escalar globalmente.

También existen bases de datos que son muy usadas para procesos Cloud como lo es MongoDB, permite realizar diseños y estructuras de particionamiento de datos y hasta en algunos casos dependiendo del desarrollo balanceo de datos automáticos entre nodos para realizar un proceso de ELB (Elastic Load Balancing), para el proyecto se escoge una base de datos MongoDB [56], la cual recibirá los datos capturados de cada uno de los sensores y poder ser cargados en un entorno visual.

Un aspecto importante que se tocó en el desarrollo del proyecto es independizar tanto el servidor de base de datos como el servidor web, esto con el fin presentar alguna mejora en el código o en la parte grafica no impacte la recolección de los sensores al servidor de MongoDB.

4.2 AWS servidores

Amazon web Services o conocido por sus siglas como AWS, permite integrarse con múltiples tecnologías, entre ellas lenguajes de programación y servidores nativos, en este caso EC2; estos servidores tienen múltiples características las cuales el usuario puede escoger distintos sistemas operativos y diferentes alternativas en sus recursos,

dependiendo la necesidad del cliente y como puede tener alternativas [57], también existen servicios creados para Amazon que permiten la integración como lo son:

- **Computación Lambda**, su función es ejecutar y facilitar tareas para el desarrollador, existe alternativas en el tema de almacenamientos con su propia base de datos DynamoDB.
- **El servicio de Simple Email Service**, es el encargado de manejar y tramitar todo el tema de correos electrónicos, esto siendo un plus para las empresas, con un amplio portafolio de integraciones listos para su uso [58], este y muchas más opciones están disponibles en AWS.

AWS al ser versátil con integrarse con algunos lenguajes de programación como lo es en este caso NodeJs, permitir que exista un periodo de prueba de 12 meses gratis con recursos físicos estándar, en dicho servidor se permite crear múltiples servidores web.

5 Diseño del nodo de gases de efecto invernadero.

Para el diseño del nodo se va a implementar en tres etapas; estas etapas son los requerimientos del sistema, las características de los dispositivos y los lenguajes de programación y desarrollos tecnológicos.

- **Etapas:** Requerimientos del sistema.

Este apartado describe los requerimientos que son necesarios para el sistema, el cual es necesario tener los sensores idóneos para realizar el proceso de captura de información y posteriormente envié de los mismos por medio de un sistema inalámbrico. Este proceso se realizará con una placa ESP8266, la cual recibe los datos capturados de cada sensor y por un protocolo de transferencia Wifi se envía a un servidor en la nube para ser almacenados, posterior a ello con una interfaz gráfica se puede ver en tiempo real los datos que son tomados desde el prototipo.

- **Etapas:** Características de los dispositivos

Consiste en conocer las características de los dispositivos físicos de bajo costo que se utilizan en el desarrollo del proyecto, por lo anterior, se hace un proceso de descripción de cada uno de los sensores a utilizar, en este caso la medición de metano, humedad, temperatura y Dióxido de carbono.

Sensor MQ-7:

Este sensor cumple con la función de medir el monóxido de carbono, consiente en recolectar datos en tiempo real, en este caso mediciones a nivel ambiental de un gas que es conocido como uno de los principales gases de efecto invernadero y que contribuyen a la huella de carbono [59] [60], este sensor valida la información en PPM y con esto obtener un dato de salida tanto analógica como digital, el cual permite determinar la contaminación con las medidas y normatividad impuesta por el MIN AMBIENTE [61] .

El monóxido de carbono es un gas que puede causar intoxicación en altas concentraciones, existen estudios que demuestran el riesgo de este tipo de gas de efecto invernadero [62], es uno de los gases más presentes en la industria por el alto flujo de maquinarias que son las principales causantes de la generación de dicho gas.

El nivel de monóxido de Carbono que se presenta tiene efectos para la salud humana asociados a los niveles de exposición, en este caso es un gas que afecta directamente la vida y la salud de los seres humanos como lo demuestra la siguiente tabla.

Tabla 10. Efectos en la Salud humana con respecto a los niveles de Monóxido de Carbono

Nivel de Monóxido de Carbono (ppm)	Síntomas
50	Nivel de exposición admisible para 8 horas (OSHA).
200	Posible dolor leve de cabeza en la parte frontal en 2 a 3 horas.
400	Dolor de cabeza en la parte frontal y náuseas después de 1 o 2 horas. Dolor de cabeza en la parte trasera después de 2 horas y media a 3 horas y media.
800	Dolor de cabeza, mareos y náuseas en 45 minutos. Descompensación y posible muerte en 2 horas.
1600	Dolor de cabeza, mareos y náuseas en 20 minutos. Descompensación y muerte en 1 hora.
3200	Dolor de cabeza y mareos en 5 a 10 minutos. Pérdida de la conciencia y peligro de muerte en 30 minutos.
6400	Dolor de cabeza y mareos en 1 a 2 minutos. Pérdida de la conciencia y peligro de muerte en 10 a 15 minutos.
12800	Pérdida de conciencia de efecto inmediato. Peligro de muerte en 1 a 3 minutos.

Fuente: Niveles de carbono y síntomas en los seres humanos, tomado de [63].

Tomando en cuenta la información de este gas de efecto invernadero, se busca un sensor de bajo costo que puede ser conseguido en el mercado con facilidad su representación gráfica es la siguiente:



Ilustración 14. Sensor Monóxido de carbono [60].

La Ilustración 14 muestra el sensor de monóxido de carbono para el desarrollo del documento, permite realizar mediciones de Monóxido de Carbono uno de los principales Gases de efecto invernadero.

Existen gases que contaminan en mayor medida como lo es el Dióxido de carbono, el nombre de este en sus siglas es CH_4 , es un hidrocarburo y uno de los principales componentes del gas natural, existe un estudio que indica que para el año 2014 el total de emisiones de metano en Colombia se estimó en 62,5 MtCo 62,5 MtCO₂e, de las cuales 8,7 MtCO₂e corresponden a emisiones por la industria de petróleo y gas natural [64].

Estas emisiones están muy presentes en la producción de combustibles fósiles, como referente a la producción, transporte y distribución de los puntos de gas.

Sensor MQ-4:

El sensor MQ-4 permite la medición referente al metano [65], por medio de una señal análoga envía la información obtenida por el sensor, permitiendo identificar el nivel de metano que está expuesto, este es uno de los gases que más se usa a nivel mundial en estufas caseras e industriales, este sensor se ve en la Ilustración 15.



Ilustración 15. Sensor Gas Natural Metano

Sensor de Temperatura y Humedad Dth11:

El sensor DTH11 tiene la particularidad que permite medir tanto temperatura como Humedad [66], siendo un sensor utilizado para proyectos de IoT, un ejemplo de esto es para realizar la medición de la temperatura de una cocina con ciertas afectaciones [67].

Este tipo de sensores son muy prácticos por su tamaño diminuto y puede ser utilizados para la creación de nuevas tecnologías, además son muy aplicados para proyectos IoT por su fácil integración, tomando en cuenta las características técnicas y el tipo de sensor se llegó a la conclusión que es ideal por su bajo costo y disponibilidad en el mercado [68], como lo muestra la Ilustración 16.



Ilustración 16. DTH11 sensor de temperatura y humedad [Autoría Propia].

El sensor DTH11 en la información obtenida en su ficha técnica datasheet indica tanto la precisión en la toma de la medida de temperatura la cual es de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, para la humedad está en un valor de $\pm 5\%\text{RH}$ [67].

Tabla 11. Índices de precisión DTH11 [67].

Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	$\pm 5\%\text{RH}$	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	1	4 Pin Single Row

Las tecnologías M2M son aplicadas con frecuencia en proyectos de IoT como lo muestran trabajos como el de la revista ITECKNE en el cual presentan un estudio de monitoreo de sensores en tiempo real, en donde lo presentan de la siguiente manera “M2M suelen ser inteligentes, propicio para la detección de incendios forestales” [69], aquí se utiliza para aplicaciones ambientales tales como detección de incendios, medición de niveles de

contaminación del agua y contaminación del aire; todo esto bajo la premisa de buscar ayudar al problema del cambio ambiental el cual puede impactar en el crecimiento de los ríos, contaminantes en los ríos, contaminantes en la agricultura entre muchos otros.

Multiplexor 4600

Los multiplexores son circuitos que permiten combinar múltiples entradas con variables distintas en un proceso de única salida de datos, en muchos desarrollos tecnológicos son utilizados por desarrolladores de tecnologías nuevas ya que permiten su unificación [70].

Con lo anterior, los multiplexores son una alternativa que permite para el desarrollo del proyecto tomar dos entradas de distintos sensores en este caso son sensores análogos los cuales son MQ7 y MQ4, estos datos luego de ser capturados se ingresan al multiplexor y luego en una salida que se integrara con una placa para el desarrollo del proyecto [71], ver Ilustración 17.



Ilustración 17. Multiplexor 4600 [54].

Tabla 12. características placas del mercado.

Características	NodeMCU	Arduino uno R2 wifi	Arduino MKR WAN 1300	Arduino Nano	RN2903 RF Transceiver Daughter Board LORA
Wifi integrado	x	-	-	-	x
Voltaje 3.3V	x	x	x	x	x
Memoria Flash:	4MB	48 KB	256 KB	32 KB	-
EEPROM	Si	Si	No	Si	si
Dimensión física	6 x 3 x 1 cm	68.6 mm x 53.4 mm	67.64 mm x 25 mm	0.73" x 1.70"	17.8 x 26.7 x 3.34 mm
Antena PCB	si	no	si	no	no
Valor	\$17.000	\$28.000	\$ 210.000	\$23.000	\$79.330

Existen múltiples tarjetas en el mercado como lo describe la Tabla 12, las características físicas, dimensiones y componentes internos también son de bajo costo, en este caso escogemos una tarjeta *Nodemcu* de Arduino [72], esta tarjeta tiene la particularidad que cuenta con un módulo wifi integrado, un tamaño compacto, cuenta con puertos digitales como análogo, el bajo costo en el mercado para su adquisición, la Ilustración 18 explica por medio de un diagrama de bloques la interoperabilidad de la tarjeta *Nodemcu* la cual fue escogida por su tamaño, wifi integrado y bajo costo.

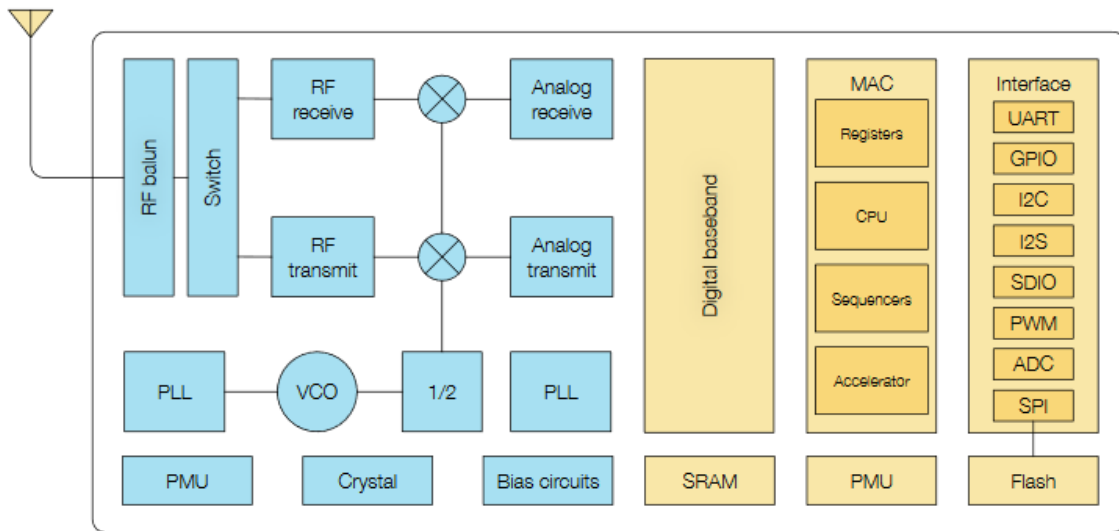


Ilustración 18. Diagrama funcional bloques [72].

Por medio del diagrama de bloques se puede evidenciar algunos componentes internos de la tarjeta *Nodemcu*, para realizar la incorporación de la tecnología con los distintos sensores en el proceso de construcción del prototipo de un sistema de gases de efecto invernadero.

Para el caso del proyecto desarrollado en esta tesis el cual consiste en poder hacer un prototipo de bajo costo y que sea fácil de replicar, dado que sus componentes se pueden adquirir fácilmente en el mercado en caso de requerir agregar más nodos “*devices*”. Al ubicarlos en diversas ubicaciones podrán medir áreas como barrios, localidades, pueblos entre otros; por lo anterior, luego de evaluar diversas alternativas en la **Tabla 12** en el trabajo referente se opta por seguir utilizando la tarjeta *Nodemcu* por su bajo costo y fácil integración.

También es importante indicar que estos componentes de microchip con la tecnología lora su adquisición es más reducida y con proveedores específicos a comparación de la *NodeMCU* que tiene más comercialización.

Etapas tres: Lenguajes de programación y desarrollos tecnológicos.

Es una de las más importantes ya que tiene como principal enfoque describir algunos lenguajes de programación que fueron usados para el desarrollo del proyecto, entre estas

estructuras de código se buscó un acoplamiento para poder realizar la integración de las distintas tecnologías con el fin de llegar a la construcción de un prototipo funcional.

- **NodeJs**

El lenguaje de programación NodeJs permite integrarse con múltiples alternativas como diseños de páginas, aplicaciones móviles, aplicaciones web, también permiten realizar programación de automóviles autónomos [73] como diseño de aplicaciones, en este caso estamos usando NodeJs, lenguaje de programación gratuito y de fácil integración con otros lenguajes y sistemas operativos siendo otra alternativa contra IIS de Windows [74], es uno de los Frameworks más conocidos y utilizados ya que admite JavaScript y es de fácil programación como aprendizaje [75].

NodeJs permite también ser engranado con otros códigos libres como lo es Express, un componente para realizar procesos de consulta [76], para realizar un flujo uniforme desde un punto de recolección de información hasta llegar a la visualización de dichos datos por medio de una gráfica.

La interoperabilidad para el desarrollo del proyecto como la construcción del código, se debe incorporar por medio del lenguaje de programación NodeJs, creando un api la cual permita realizar consultas a una base de datos que integra a su vez con ReactJs, el cual permite una estructura de código más limpio y fácil de entender con el desarrollo que va de la mano.

- **ReactJs:**

Componente de Framework en lo cual está cargado NodeJs, en este Framework se realiza la parte de diseño que esta interactuando con las librerías de NodeJs para integral el API Rest, en este caso hay distintos métodos Post y Get que permiten traer documentos, datos entre otros y para el desarrollo del proyecto esta tecnología puede aplicar de manera idónea con las tecnologías descritas en este documento.

- **Api Rest:**

El diseño del api tiene como fin utilizar por medio de los métodos de consulta una actualización sobre la información que trae desde una base de datos, la cual se puede usar para realizar un consumo del servicio Get y con este realizar peticiones para actualizar la información.

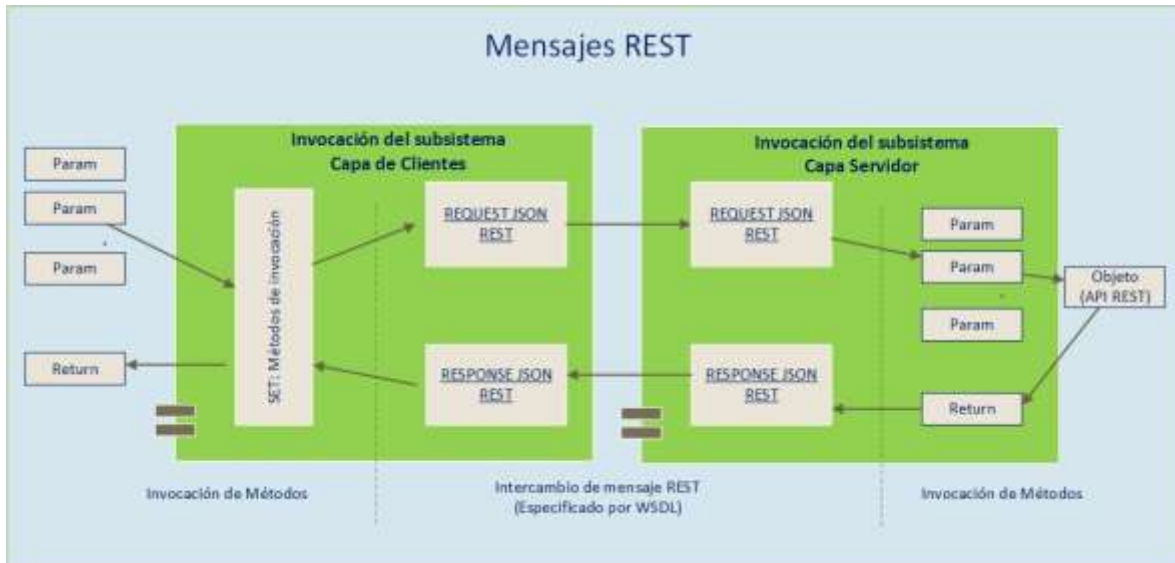


Ilustración 19. Diagrama API REST [Autoría Propia].

La Ilustración 19 describe un flujo del funcionamiento del API Rest, la función que realiza por medio de una petición, este servicio trae una estructura Jason la cual cambia según lo requerido en el diseño del software, es una identificación de los parámetros en la capa de servidor y como interactúa con una capa de cliente.

- **CSS:**

Con la ayuda de este lenguaje podemos darle estilo a lo más importante que es el desarrollo del entorno visual, en este documento el código fue ajustado para tener cada tarjeta y con ello crear el diseño de la página web [77].

Existen distintos Frameworks [78], que permite comparar lenguajes de programación como alternativas de integración con CSS lo cual permite modificación en el ámbito empresarial, dando estilo a documentos HTML y XML para separar el contenido de la presentación lo cual podrá dar movimiento a y controlar el estilo web.

5.1 Metodología de diseño.

Para el diseño se toma una metodología de prototipado la cual se basa en la construcción de un prototipo de software que puede llegar a la etapa de pruebas funcionales, es uno de los modelos más interactivos ya que su base consiste en realizar pruebas y errores e ir construyendo y avanzando para las especificaciones iniciales del producto.

Posterior a esto pasamos a componentes de diseño del sistema, en este apartado tenemos muy en cuenta limitaciones de los componentes físicos que nos den un panorama para la construcción de una arquitectura ideal que contenga los componentes idóneos para tener un flujo del proyecto y llegar al prototipo funcional de bajo costo.

En algunos componentes de lenguaje y estructuras de programación se integran para tener una información contenida y realizar un modelado por medio de graficas para cada uno de los sensores en este caso se realizará atreves de un componente llamado C3.

La interacción entre los lenguajes de programación existe librerías como parches que permiten una integración idónea que puede modular la información capturada desde los sensores hasta poder ser diagramados por medio de una gráfica, como se realiza en el desarrollo del proyecto para tomar los datos casi en tiempo real quitando el envío y recepción del sistema obteniendo una muestra limpia e idónea del proyecto.

en cuanto a la aplicación de la librería para el procesamiento de datos de JavaScript, se permite realizar graficas de distintas formas, barras, líneas, y como esta destina en vectores toma la estructura gráficamente con animaciones interoperabilidad por este motivo se escoge el SVG [79], el desarrollo está estipulado en vectores con la información de cada sensor y el código que permite realizar esta integración.

5.2 Diseño del sistema.

Para el diseño de los sensores y tomando como referencia la placa *Nodemcu* la cual cuenta con solo un puerto Análogo, es necesario incorporar al diseño un multiplexor, en la siguiente imagen se explica el funcionamiento de este para los sensores MQ7 y MQ4.

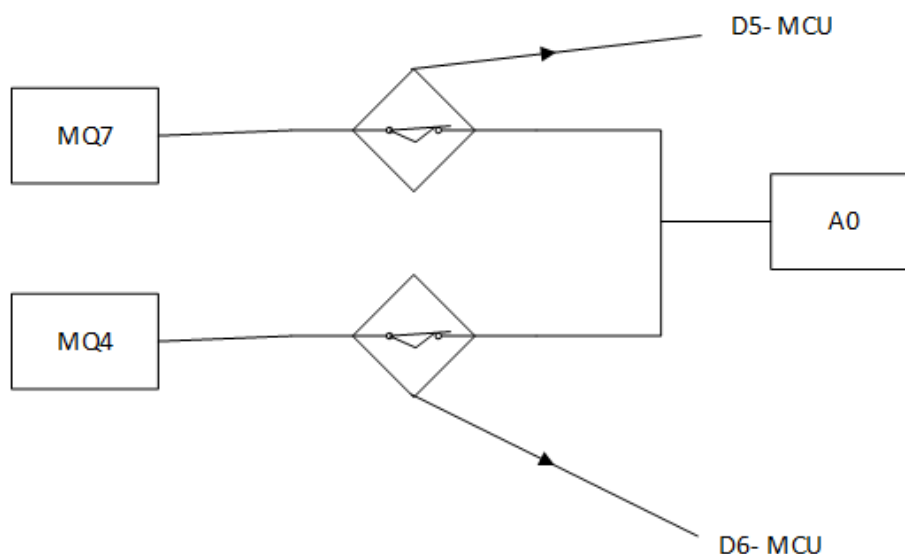


Ilustración 20. Diagrama captura información multiplexor [Autoría propia].

La Ilustración 20 muestra un diagrama de integración de los dos sensores que en este caso hacen parte importante del dispositivo que realiza el proceso de medición, por lo anterior y tomando el diseño se integra un dispositivo multiplexor en el circuito para permitir por medio de software indicar los tiempos de carga, que debe tener cada sensor para su posterior procesamiento.

El sistema tiene un principal parámetro que al ser de fácil acceso y poder disponer de una tarjeta en el mercado, se toma la tarjeta *Nodemcu* con el fin de integrar el multiplexor para tener dos sensores análogos por un mismo puerto y se da un tiempo de retardo para el cargue de esta información en la trama para su posterior envío.

5.3 Implementación del sistema

La implementación del sistema será a través de la arquitectura de la Ilustración 21 toman los elementos del apartado 5, donde ya identificados los dispositivos como sensores que realizaran el acoplamiento para el desarrollo del proyecto y construcción de un prototipo funcional.

Con lo anterior y tomando en cuenta la importancia del sistema como es articulado por medio de la arquitectura en donde con un diseño se mostrará los aspectos cruciales para la implementación del prototipo de medición de gases de efecto invernadero.

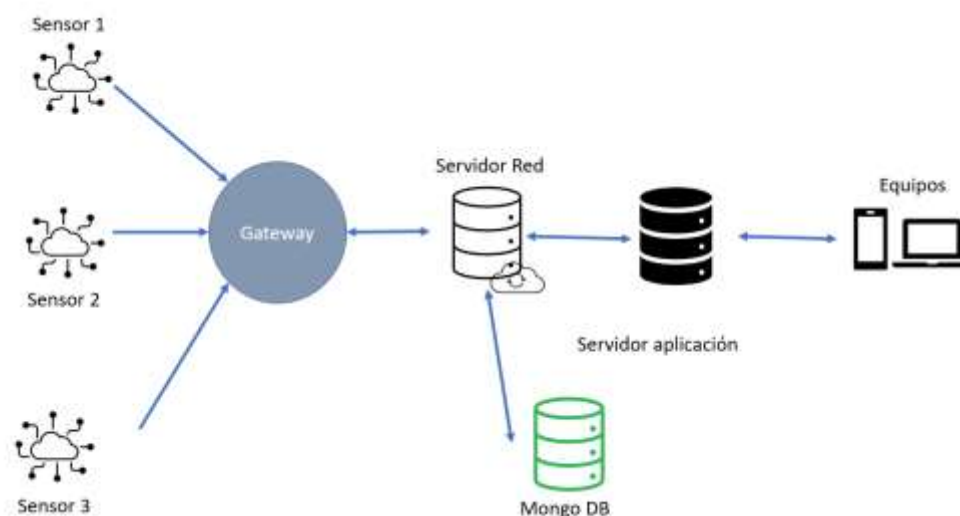


Ilustración 21. Arquitectura del sistema IoT para la medición de gases de efecto invernadero [Autoría Propia].

Los elementos que componen la solución, en este caso tres distintos tipos de sensores, como lo es el DTH11, MQ4 y por último el MQ7 perfectos para la captación de datos referentes a CO, uno de los principales gases de efecto invernadero, la arquitectura del prototipo busca un sistema idóneo de bajo costo que sea integrado con los componentes descritos anteriormente y con esto generar un entorno perfecto para la medición de gases con estaciones diseñadas para este estudio como en la actualidad lo realiza IBOCA [26] .

6 Integración y validación del sistema.

A través de un diagrama se mostrará el sistema donde se integran los distintos elementos tecnológicos. Este diseño posibilita la construcción de un prototipo funcional por medio de un diagrama. El prototipo permite la medición de algunos gases de efecto invernadero, razón por la que para el desarrollo del proyecto se tomaron los nodos con características.

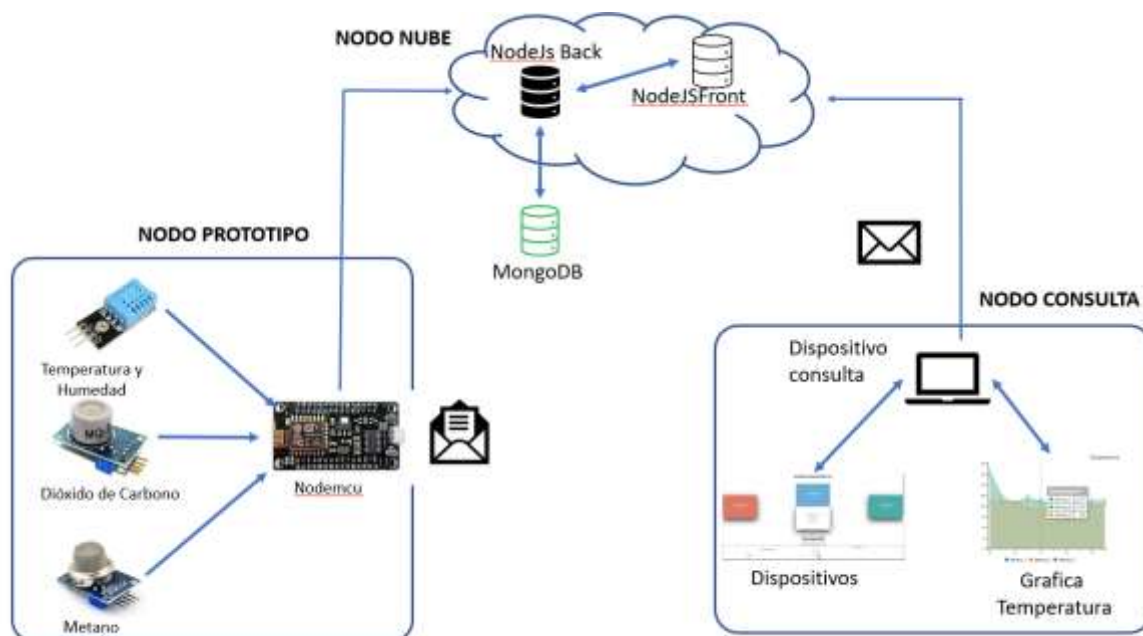


Ilustración 22. Diagrama integración sistema gas de efecto invernadero.

La Ilustración 22 presenta concretamente la incorporación del proyecto. Por tanto, es fácil observar que tanto los sensores como el *software*, y cada uno de los nodos, tiene una función específica en la conformación de un sistema IoT para la medición de gases de efecto invernadero.

- **Nodo prototipo:** tiene el papel más importante ya que captura la información de cada uno de los sensores, como: temperatura, humedad, dióxido de carbono y metano. En este nodo toda la información es almacenada en un paquete, el cual será enviado inalámbricamente con la tecnología wifi [80], a su vez, será transmitida a un servidor AWS en la nube.

- **Nodo Nube:** está distribuido en un servidor de base de datos el cual está montado en MongoDB. También existe un servidor principal: NodeJs, cuyo fin favorece lo relacionado al *back-end*, como UI (*user interface*); su estructura es idónea para realizar consultas a la base de datos. Por último, dentro del servidor AWS está el servidor de NodeJs, el cual tiene el papel de mostrar la página principal con la información de los sensores en tiempo real y se evidencia por medio de graficas sobre los sensores de consumo.
- **Nodo consulta:** muestra la página expuesta en el servidor configurado en AWS, conocida como *front-end*, que tiene el NodeJs. Esto permite medir de manera visual los dispositivos. A esto se le denomina UX (*user experience*), es decir, la experiencia que el usuario tendrá en la visibilización de datos; debe ser fácil e intuitiva para evitar problemas con las mediciones en tiempo real. No está demás aclarar que los datos de cada sensor fueron capturados en el lugar que el prototipo físico realizó el monitorio.

La validación del sistema consiste en realizar una verificación de toda la arquitectura planteada en el proyecto, con lo que es posible determinar la interoperabilidad del prototipo. Con lo anterior se pretende dar una guía y así pasar al siguiente punto del proyecto, el cual involucra el procedimiento con los implementos y las tecnologías interconectadas, cuyo fin es establecer el correcto funcionamiento del prototipo.

6.1 Procedimiento de pruebas.

En este procedimiento se ejecuta una prueba con el prototipo físico conectado a los 3 sensores. El fin es recolectar información en tiempo real para enviar medidas de cantidad de metano en el aire y así poder registrar impactos en algunos modelos climáticos, como CMIP5 [81]. En Colombia, este modelo se implementa para hacer estudios y comparaciones [82], un caso es el del IDEAM que toma muchos de los modelos existentes a nivel nacional e internacional como referencias y elabora simulaciones sobre los cambios de temperatura, los cuales incluyen afectaciones climáticas del planeta tierra. Así mismo, toma estudios

previos para compararlos con datos reales en relación con la destrucción de los diferentes ecosistemas que están siendo perjudicados por la contaminación actual [82].

Teniendo en cuenta lo anterior, en este proyecto se pretende realizar una prueba en conjunto con el ecosistema; en este caso, desde los datos adquiridos de cada uno de los sensores, los cuales son transferidos a una placa Nodemcu por medio del protocolo de transferencia de información. Este protocolo es vía wifi y toda la información es almacenada en una base de datos de MongoDB. El procedimiento de pruebas se estructura luego de la adquisición de datos entregada por cada sensor. Así, se procede a realizar un procesamiento de consulta y diagramación con el propósito de modelar la información obtenida y tener una estadística de cada uno de los datos, tales como temperatura, también se observa si se perciben cambios en el medio ambiente donde está el dispositivo.

El proceso de captura de información de datos está estructurado de la siguiente manera: para la temperatura se toma la información en grados Celsius, el sensor recibe los datos y los envía al dispositivo; para el sensor de Metano, se recolecta la información sobre este tipo de gas, posterior a esto la envía a una tarjeta Nodemcu y al servidor en la nube, este proceso se realiza con cada uno de los sensores descritos en el desarrollo de la tesis. Por otro lado, se estructura una verificación entre los datos obtenidos con el prototipo de esta tesis y las páginas que tiene el Estado. Cabe aclarar que el recurso físico y el *hardware* con el que cuenta el Estado es superior al del proyecto, aun así, con el análisis se verificaron diferencias e igualdad de datos.

6.2 Resultado de pruebas.

La información recopilada por cada uno de los sensores fue: temperatura, humedad, dióxido de carbono y metano. Los datos se capturaron en sus diferentes escalas, como grados o partes por millón. Se almacenó y ordenó en una placa Nodemcu que permite tomar los datos y crear un arreglo para su posterior envío. Luego de la toma, se estableció la conexión por medio de wifi y se validó la IP para realizar el envío de la información de manera inalámbrica. Posterior a esto, se consultó la página web creada: <http://34.213.7.34:3000/>.

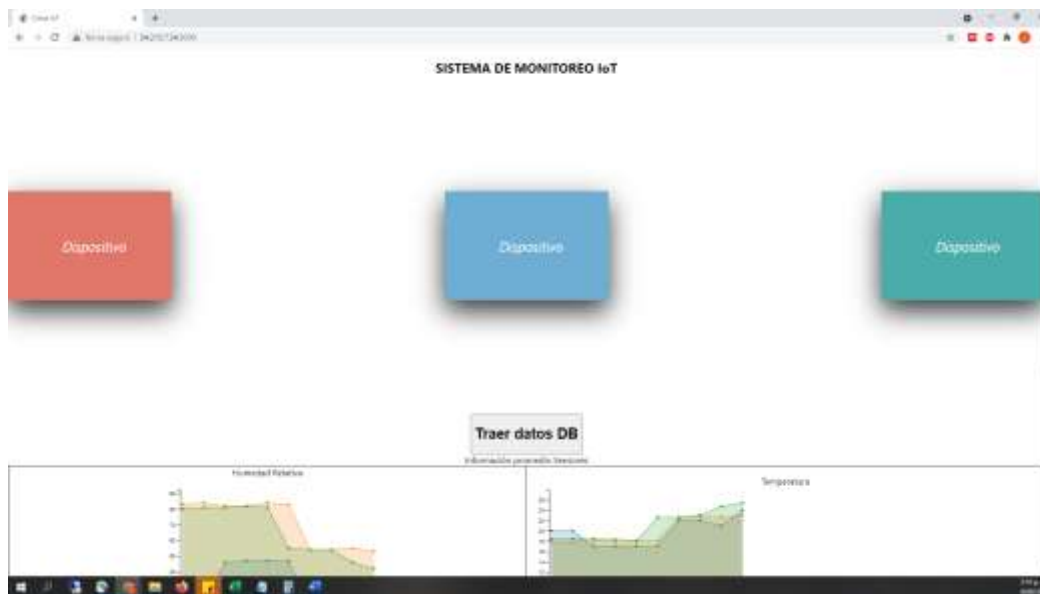


Ilustración 23. Imagen sistema de monitoreo IoT [Autoría Propia].

La Ilustración 23 es el resultado del *front-end*, en este caso, se presentan 3 dispositivos. Cada uno de estos es un *device* y cada uno hace referencia a un prototipo de dispositivo con 3 sensores: MQ7, MQ4, temperatura y humedad. Esto para entregar los datos correspondientes a la placa Nodemcu. Una vez tomada, la información fue direccionada a una base de datos en la nube que permite organizarlos por *device* (prototipo). Seguido, se graficaron los datos en tiempo real. Esto equivale a la información que fue almacenada referente al proceso transaccional de captura del dispositivo.

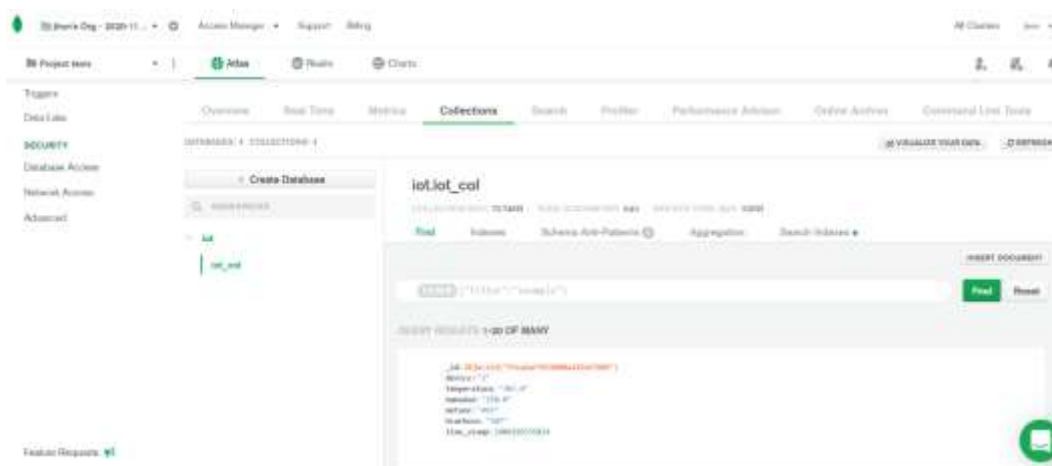


Ilustración 24. Datos sensores MongoDB [Autoría Propia].

La base de datos fue ubicada en una colección no solo para alcanzar los fines del proyecto, sino por razones nemotécnicas, por lo que se creó como `iot.iot_col`, ver Ilustración 24. Esta base de datos tiene una estructura predeterminada desde el diseño del código. Es por esto que se estructuró primero el *device* correspondiente al número de dispositivo.

```
_id: ObjectId("60ad9f150fc50c3c384cd709")
device: "2"
temperatu...: "25.2"
humedad: "39.0"
metano: "14"
Dcarbono: "15"
time_stamp: 1621991189332
```

Ilustración 25. Sistema de monitoreo MongoDB resultado *device* 2 [Autoría Propia].

La Ilustración 25 muestra cada uno de los *device* o prototipos distinguidos por colores. Para el desarrollo se restringieron a solo 3 dispositivos que reciben información y muestras de distintas temperaturas, como humedad relativa. Es necesario indicar que cada dispositivo es independiente y puede realizar su proceso sin necesidad de estar en un punto fijo, ya que solo se precisa contar con conexión a Internet para cargar la información indicada.

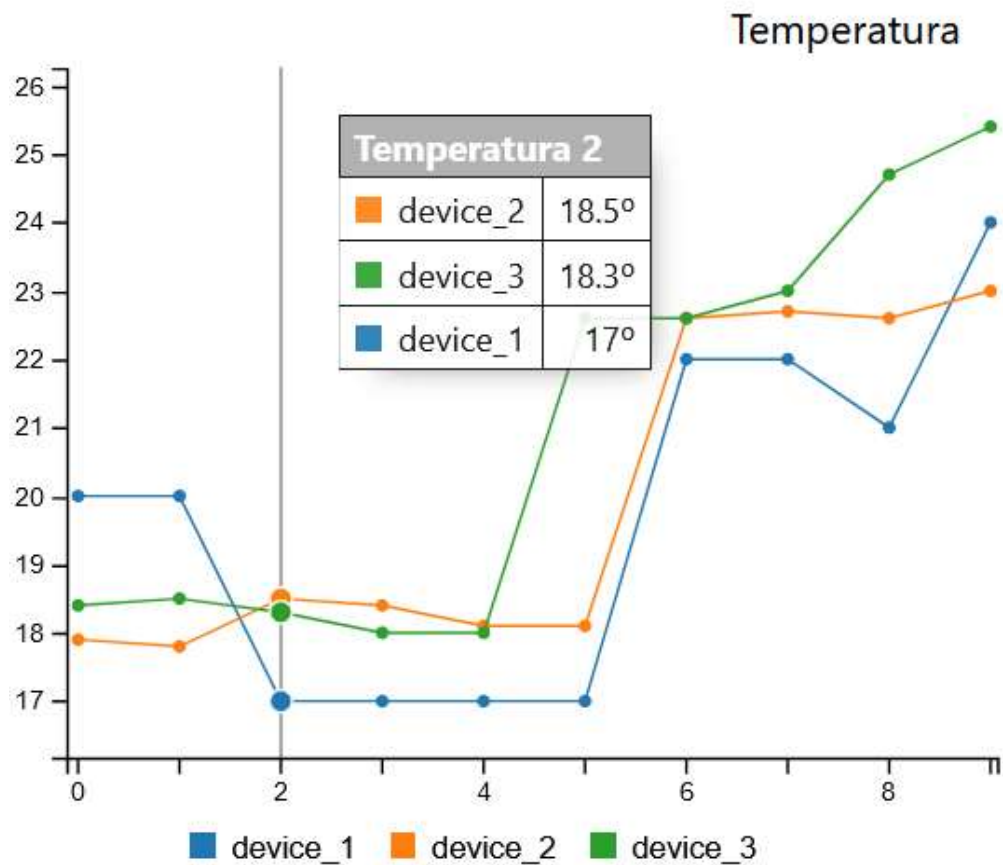


Ilustración 26. Grafica humedad relativa prototipo de sistema GEI [Autoría Propia].

La Ilustración 26 del sensor de humedad tiene la información de cada dispositivo. Esta contiene las ultimas 8 muestras del *device 1*, el cual pasa la información con un *delay* en los componentes. Cada que se consulta la información se actualizan las gráficas de la base de datos, como se evidencia en la siguiente imagen:

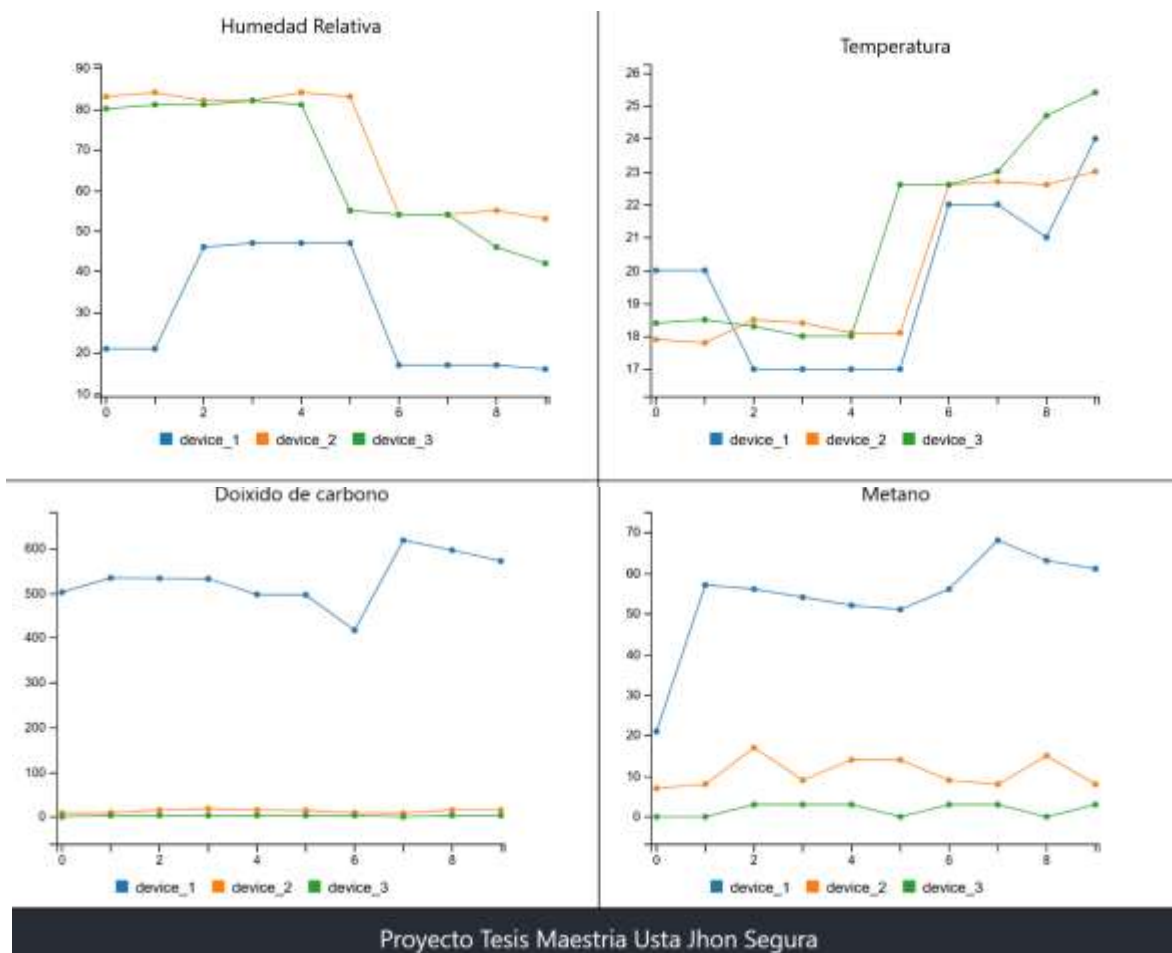


Ilustración 27. Graficas de los distintos sensores, tomado de página web servidor AWS [Autoría Propia].

En la Ilustración 27 se brinda un resumen de lo consultado en la base de datos destinada para el proyecto. En cada grafica se describen los sensores, como el *device* al que pertenece, con el fin graficar un promedio de la información obtenida de los sensores para el sistema IoT de gases de efecto invernadero.

6.3 Validación del sistema.

En esta sección se realiza la validación del sistema en dos partes: la primera, relacionada con los gases de efecto invernadero, la segunda, con las variables ambientales. Para la ratificación de los gases de efecto invernadero, se realizaron medidas de referencia de Co2 con equipos certificados para emisiones de gases. Se tuvo en cuenta la norma

ambiental NTC 4983 de 2012 [83], la cual es utilizada por las empresas certificadoras de emisión de gases de vehículos automotores. En cuanto a las medidas de variables ambientales (temperatura y humedad) realizadas por el prototipo, se compararon con las tomadas por sistemas oficiales del IDEAM, cuyos datos son públicos.



Ilustración 28. Equipo de medición de gases MotorScan [84] .

En la primera parte se realizó una medición comparativa entre el prototipo desarrollado y un equipo comercial de la marca MotorScan (Ilustración 28), el cual pertenece a una empresa encargada de realizar verificación de gases de automotores en la ciudad de Bogotá. Se pretendió comparar los valores de Co₂ medidos por el prototipo (tubo PVC blanco en la Ilustración 29) con los valores medidos por el equipo MotorScan [84] (Ilustración 29). Por tanto, se utilizó un vehículo modelo 2005 de gasolina y las mediciones se realizaron de manera simultánea en el tubo de escape siguiendo los protocolos de la empresa. El modelo de MotorScan [84] reportó un valor de porcentaje de Co₂ del 13p.1%, equivalente 131000 ppm.

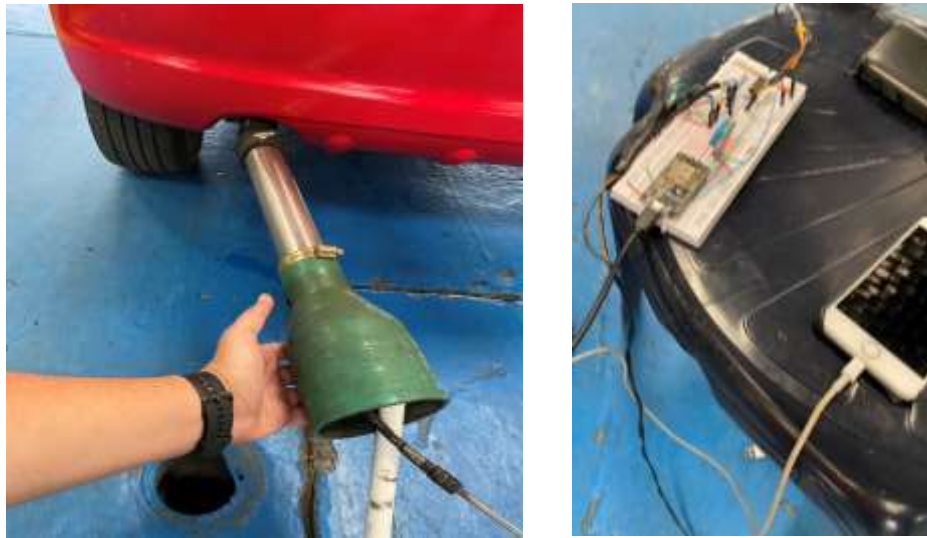


Ilustración 29. Montaje para la medición simultanea de Co2 en vehículo a través del equipo MotorScan y el prototipo [Autoría Propia].

Por otra parte, del prototipo se obtuvieron 9 datos durante el procedimiento. A estos se les calculó el promedio y se convirtieron los datos del sensor a voltaje, para lo cual se usó la ecuación 1. Esta relaciona el voltaje máximo del conversor ADC de la tarjeta (3,3V) con la resolución del conversor (10 bits), lo que brindó un valor de voltaje de salida del sensor de 0.0487V.

$$V = \frac{V_{max} * MedidasPromedio}{ResolucionADC} \quad (1)$$

$$V = \frac{3,3V * 15,1}{1024} = 0.0487V \quad (2)$$

Con el propósito de comparar los datos obtenidos del prototipo y el equipo MotorScan fue necesario convertir el valor de voltaje a ppm; para esto se usó la gráfica entregada por el fabricante. Por otra parte, se realizó un cambio de escala de logarítmica a una escala lineal con Excel y se tomaron los puntos 39 entre el eje Y con (Rs/Ro) y en el eje X en ppm. Finalmente, se agregó una línea de tendencia potencial a la gráfica de la cual se obtuvo la ecuación $Y = 11,113x^{-0.348}$ y un $R^2 = 0,9999$.

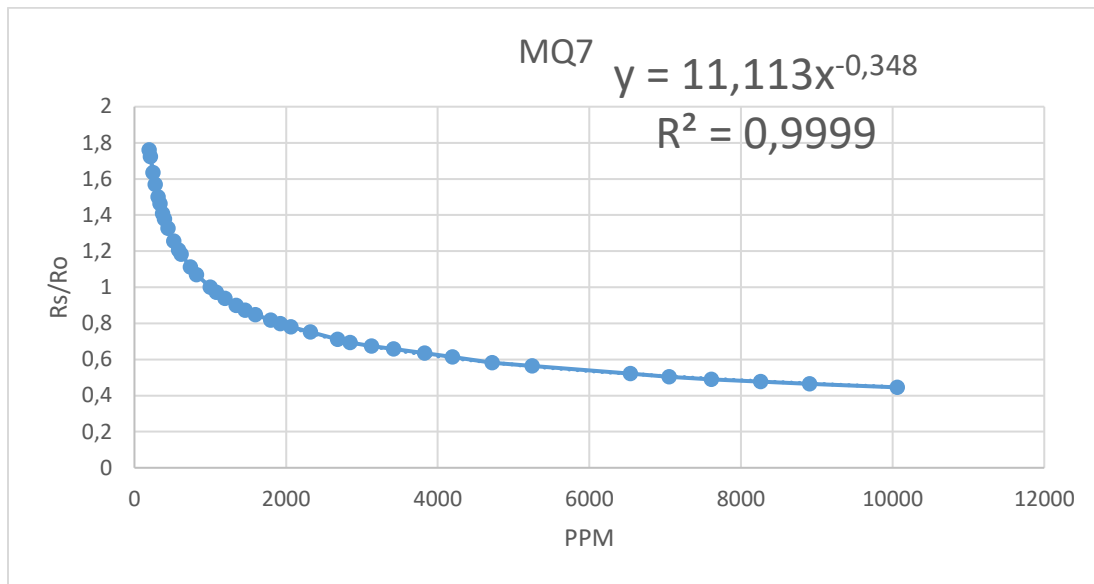


Ilustración 30. Grafica ecuación sensor MQ-7 [Autoría Propia]

Según la Ilustración 30, se procedió a despejar la ecuación 3 y se reemplazaron los valores en la ecuación 4 con el fin de buscar el valor de Rs.

$$R_s = 10000\Omega \left(\frac{(5-V)}{V} \right) \quad (3)$$

$$R_s = 10000\Omega \left(\frac{(5 - 0.0487)}{0.0487} \right) = 101749,35 \quad (4)$$

Seguido se despejó la ecuación 5 para obtener el valor de Ro. De esta forma, se establecieron todos los valores para ser reemplazados, como se evidencia en la ecuación 6.

$$R_0 = \left(\frac{(R_s * y)}{V} \right) \quad (5)$$

$$R0 = \left(\frac{(101749,35 * 11,113^{0,348})}{11,113} \right) = \mathbf{556448,127} \quad (6)$$

En la Ilustración 30 se despejó X de la función y se obtuvo la ecuación 7. Además, se remplazaron los valores para obtener el valor de ppm que tomado por el prototipo; con este valor fue posible comparar lo obtenido con el equipo MotorScan [84].

$$X = \left(\frac{(11,113)}{\left(\frac{Rs}{Ro} \right)} \right)^{\left(\frac{1}{0,348} \right)} = \quad (7)$$

$$X = \left(\frac{(11,113)}{\left(\frac{101749,35}{556448,127} \right)} \right)^{\left(\frac{1}{0,348} \right)} = \mathbf{133832,7648 \text{ PPM}} \quad (8)$$

Por medio de la ecuación 9 se determinó el error relativo entre el equipo MotorScan[84] y la información obtenida por el prototipo para este sensor, como se evidencia en la siguiente ecuación cuyo error relativo es del 2%:

$$Error \text{ Relativo} = \left(\frac{131000 - 133832,765}{131000} \right) = 2\% \quad (9)$$

Con el error relativo se corroboró una diferencia de 2% entre los datos obtenidos por el prototipo y el equipo MotorScan, el cual está calibrado para realizar su labor.



(a)

```
_id: ObjectId("60ae7af6da46055706d588d3")
device: "2"
temperatura: "24.7"
humedad: "43.0"
metano: "15"
Dcarbono: "16"
time_stamp: 1622047478402
```

```
_id: ObjectId("60ae7b16da46055706d588d4")
device: "2"
temperatura: "24.8"
humedad: "42.0"
metano: "15"
Dcarbono: "15"
time_stamp: 1622047510700
```

(b)

Ilustración 31. Comparativo entre las mediciones Co2 realizadas con el prototipo y las mediciones realizadas con el dispositivo MotorScan: a) Resultados equipo MotorScan b) Resultados prototipo [Autoría Propia].

Por último, la Ilustración 31 muestra un comparativo de los datos obtenidos a través de un prototipo: el "device 2". Esta información fue enfrentada con un equipo comercial cuya interfaz muestra los niveles de Co2 capturados en la ciudad de Bogotá, localidad de Teusaquillo, barrio La Esmeralda.

- **Calibración Sensor MQ4**

Para la calibración se ejecutó el mismo proceso del sensor MQ7, con la diferencia interna de que el sensor cambia. Para identificar estos datos fue necesario tomar la información referente del *datasheet* del sensor, para buscar los datos con las mismas ecuaciones y remplazar los valores de (Y), como lo muestra la Ilustración 32.

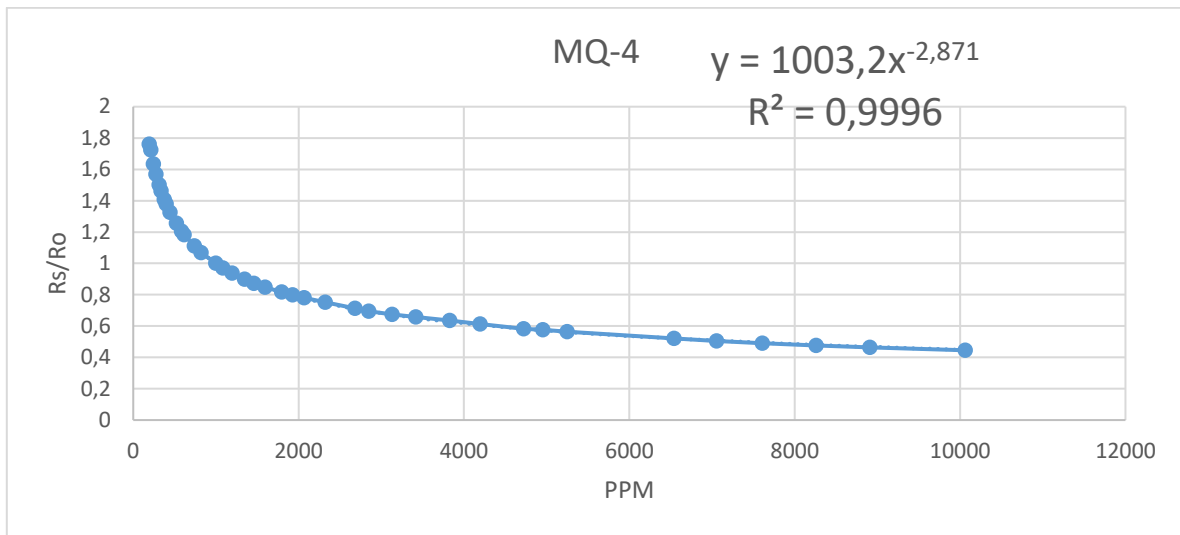


Ilustración 32. Grafica ecuación sensor MQ-4 [Autoría Propia].

Se inició obteniendo la ecuación sobre ppm, pero como no se contaba con los valores de R_o y R_s , fue necesario realizar el mismo proceso con la ayuda de Microsoft Excel.

$$Ch4 = 1003,2 \left(\frac{R_s}{R_o} \right)^{-2,871} \quad (10)$$

En ese sentido, el monóxido equivale a la cantidad de concentración de alcohol a la que está expuesta el sensor, que equivale a una concentración de 1000 ppm y R_s es la resistencia del sensor. Así, se procede a calcular R_s , despejando la ecuación 10 de divisor de voltaje que forma el sensor con la resistencia de carga R_L , para el caso, 20KΩ. Esto varía dependiendo del sensor y se representa por el *datasheet* del fabricante, como muestra la ecuación 12.

$$Voltaje\ leído = 5 \left(\frac{20000}{R_s + 20000} \right) \quad (11)$$

$$R_s = 20000 \left(\frac{(5-V)}{V} \right) \quad (12)$$

$$Ch4 = 1003,2 \left(\frac{R_s}{R_o} \right)^{-2,871} \quad (10)$$

La ecuación 10 dio un valor de CH₄ en ppm. Este es imposible de cotejar para hallar un error relativo, ya que el metano al estar presente en tantos contaminantes es un GEI muy común. Por tanto, se despejó la ecuación 10 y se indicó que para este sensor no fue posible realizar la comparación con un equipo comercial. A pesar de esto es un factor que se puede comparar en trabajos futuros.

- **Calibración sensor DTH11**

Para calibrar el sensor de temperatura y humedad, se realizó una prueba con 3 prototipos de dispositivos el día 15 de octubre del 2021, entre las 4:30 p.m. y las 6:30 p.m. Se tomaron los valores de cada sensor por separado, con el fin de encontrar el valor *average* y comparar con la estación del IDEAM situada en el aeropuerto El Dorado. Después, se procedió a cotejar los valores obtenidos de la temperatura, los cuales fueron: estación 19,70°C; *device 1* 19,76°C; *device 2* 19,35°C y *device 3* 21,56°C. Estos tres últimos se representan en la ilustración 33 y así determinar el error relativo entre la página del IDEAM y la estación meteorológica del aeropuerto El Dorado de Bogotá. Por su parte, el IDEAM define la distancia y localización de cada estación dependiendo de los fenómenos meteorológicos de la red donde se determina un valor de topo escala o escala local entre 100 m a 3 km [85]. En este caso, la distancia entre la estación y los prototipos es de 2.5 km, ubicados a dos cuadras del parque Simón Bolívar, como lo demuestra la tabla 13:

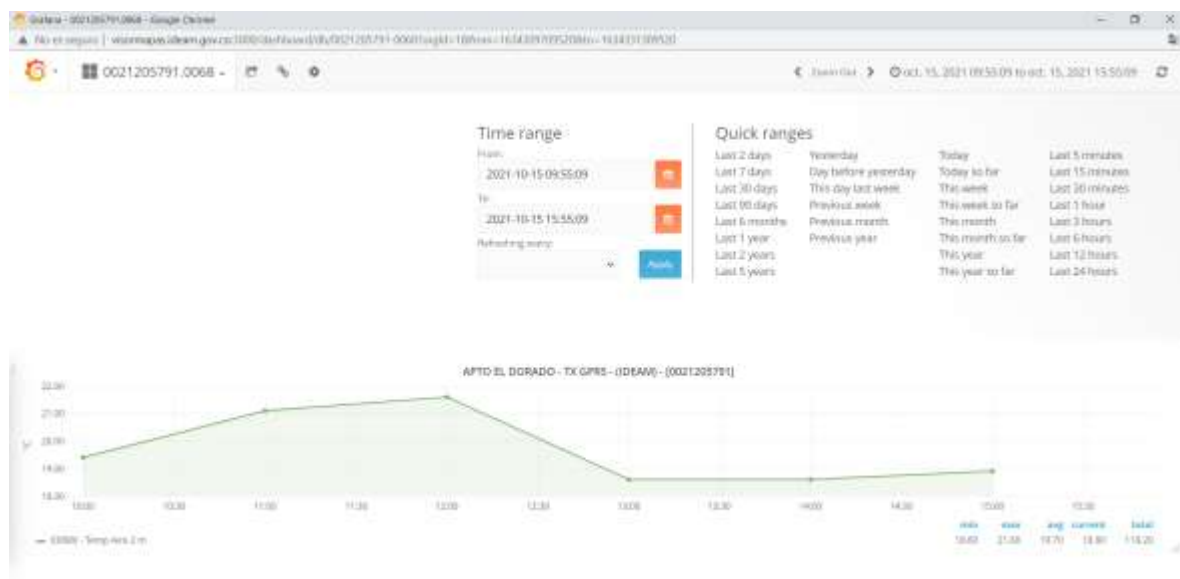


Ilustración 33. Grafica grafana temperatura estación El Dorado IDEAM.

Tabla 13. Datos prototipo 15 oct 2021.

Device	Temperatura	Humedad	Metano	Dcarbono	Time_stamp
1	21,6	73	13	13	1,6342E+12
1	21,5	73	13	13	1,6342E+12
1	20,4	78	24	18	1,6342E+12
1	20,1	77	14	14	1,6342E+12
1	20,1	77	12	10	1,6342E+12
1	20	78	14	14	1,6342E+12
1	20,1	81	7	14	1,6342E+12
1	20,1	80	10	9	1,6342E+12
1	20,1	80	14	17	1,6342E+12
1	20,1	81	14	12	1,6342E+12
1	20,1	81	14	14	1,6342E+12
1	19,8	80	9	15	1,6342E+12
1	19,7	80	16	16	1,6343E+12
1	19,6	80	15	16	1,6343E+12
1	19,4	81	15	9	1,6343E+12
1	19,3	83	10	25	1,6343E+12
1	19,2	83	9	10	1,6343E+12
1	18,9	84	18	10	1,6343E+12
1	19,1	83	18	10	1,6343E+12
1	18,7	85	8	15	1,6343E+12

1	18,5	86	10	5	1,6343E+12
1	18,4	86	9	19	1,6343E+12
Promedio	19,7636364	80,4545455	13	13,5454545	
Device	Temperatura	Humedad	Metano	Dcarbono	Time_stamp
2	19	50	316	9	1,6342E+12
2	20	36	451	9	1,6342E+12
2	21	51	294	7	1,6342E+12
2	21	50	398	15	1,6342E+12
2	19	49	379	15	1,6343E+12
2	19	50	366	13	1,6343E+12
2	19	50	409	9	1,6343E+12
2	19	50	385	16	1,6343E+12
2	19	50	355	15	1,6343E+12
2	19	49	337	14	1,6343E+12
2	19	49	320	8	1,6343E+12
2	19	49	304	13	1,6343E+12
2	19	49	309	14	1,6343E+12
2	19	49	322	14	1,6343E+12
Promedio	19,3571429	48,6428571	353,214286	12,2142857	
Device	Temperatura	Humedad	Metano	Dcarbono	Time_stamp
3	23,3	62	3	542	1,6342E+12
3	21,9	66	4	507	1,6342E+12
3	21,8	65	3	478	1,6342E+12
3	21,8	65	4	461	1,6342E+12
3	21,8	65	0	453	1,6342E+12
3	21,8	66	3	438	1,6342E+12
3	21,9	66	4	428	1,6342E+12
3	21,8	66	3	426	1,6342E+12
3	21,8	66	4	416	1,6342E+12
3	21,8	66	3	409	1,6342E+12
3	21,7	66	0	403	1,6342E+12
3	21,6	67	3	397	1,6342E+12
3	21,6	66	4	393	1,6343E+12
3	21,4	66	0	389	1,6343E+12
3	21,3	67	4	406	1,6343E+12
3	21,3	67	3	392	1,6343E+12
3	21,3	68	4	388	1,6343E+12
3	21,2	67	0	377	1,6343E+12
3	21,1	68	4	377	1,6343E+12
3	20,9	67	0	366	1,6343E+12
3	20,8	67	0	374	1,6343E+12

3	20,6	68	0	374	1,6343E+12
promedio	21,5681818	66,2272727	2,40909091	417,909091	

En los datos de la tabla 13 se referencian los valores *average* de la temperatura. Gracias a esto, se procedió con la búsqueda del error relativo de cada uno de los sensores, como se indican en las ecuaciones 13,14 y 15.

$$Error\ Relativo1\ Temperatura\ DTH11 = \left(\frac{19.70-21.56}{19.70} \right) = 9,44\ \% \quad (13)$$

$$Error\ Relativo2\ Temperatura\ DTH11 = \left(\frac{19.70-19.35}{19.70} \right) = 1,78\ \% \quad (14)$$

$$Error\ Relativo3\ Temperatura\ DTH11 = \left(\frac{19.70-19.76}{19.70} \right) = 0,30\ \% \quad (15)$$

Así mismo, los datos obtenidos muestran que el valor de error relativo más pequeño de los tres prototipos es de 0,30% en la temperatura, que fue para el prototipo número 1. Esto da un resultado satisfactorio, debido que confirma que 2 de 3 dispositivos están calibrados para la medición de temperatura. Es importante aclarar que estos valores pueden variar por algún daño en el componente o deterioro del mismo, como lo indicó el fabricante [67], el error puede variar entre +- 2%. Para los datos referentes al sensor de humedad, se realizó el mismo proceso, los datos se compararon en la siguiente tabla 13.



Ilustración 34. Grafica grafana humedad estación El Dorado IDEAM.

$$Error\ Relativo1\ Humedad\ DTH11 = \left(\frac{83,5-80,45}{83,5} \right) = 4\ \% \quad (16)$$

$$Error\ Relativo2\ Humedad\ DTH11 = \left(\frac{83,5-48,64}{83,5} \right) = 42\ \% \quad (17)$$

$$Error\ Relativo3\ Humedad\ DTH11 = \left(\frac{83,5-66,22}{83,5} \right) = 21\ \% \quad (18)$$

En las ecuaciones 16,17 y 18 se evidencia el valor más cercano en el sensor 1. Estas medidas también pueden variar ya que, como se indicó anteriormente, existe una distancia de 2.5 km entre la estación y el prototipo. Esto ocasiona que exista una variación en los resultados. Además, la ubicación también es un factor determinante, en esta ocasión, los sensores se ubicaron en una terraza expuesta al aire libre.

- Validación sistema GEI durante 24 horas

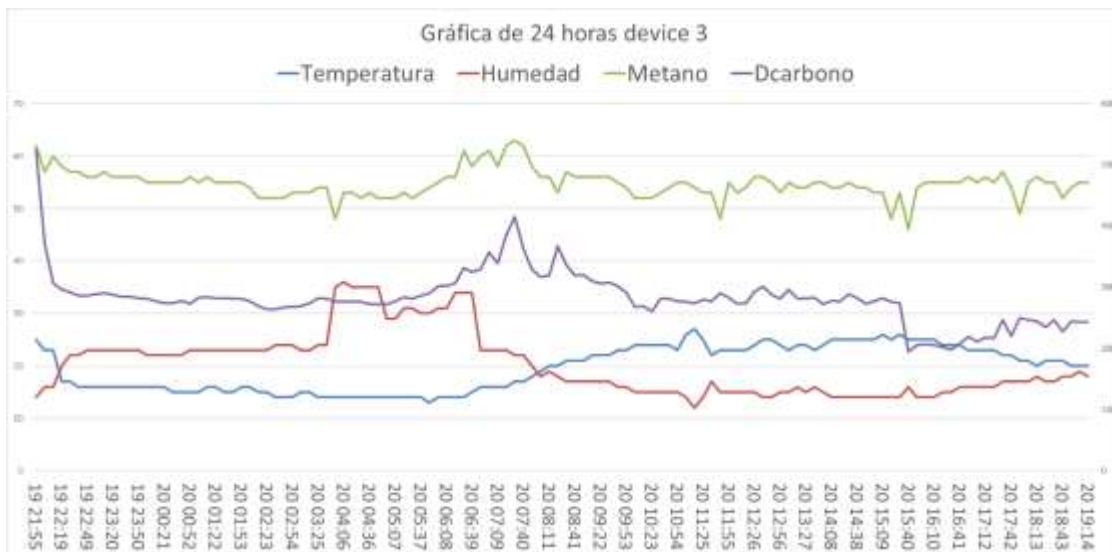


Ilustración 35. Grafica consumo sensores 24 horas entorno casero [Autoría Propia].

Se tomaron muestras cada 20 minutos durante 24 horas. Gracias a esto fue posible evidenciar picos en horas específicas, los cuales correspondieron a las 7:00 a.m., inicio de

la jornada laboral, y a las 5:00 p.m. Posterior a esas horas, hubo una normalización e incluso una disminución de la contaminación.

La Ilustración 35 evidencia las siguientes relaciones: el aumento en la temperatura con relación a la humedad se vio afectada, esta disminuyó notablemente, como se demuestra en la información de los sensores; a las 8:00 a.m. se presentó un cambio significativo en los indicadores. Por lo anterior, se puede deducir que las horas que tienen un cambio drástico y de mayor contaminación están relacionadas con las horas laborales (8:00 a.m. - 5:00 p.m.). Esta prueba fue realizada el día 19 de mayo de 2021 entre semana, ya que es la forma adecuada para tomar datos reales.

La siguiente ilustración muestra el montaje para llegar al prototipo final. No está demás mencionar que dicho prototipo estará recubierto por una caja de fácil acceso que lo protege de las condiciones ambientales.



Ilustración 36. Prototipo del sensor [Autoría Propia].

Con lo desarrollado a lo largo del proyecto se puede señalar un factor diferenciador de la propuesta: que es de fácil acceso y portable. Además, el proceso tuvo un lugar adecuado para ser instalado, esto le otorga facilidad de implementación tanto en instituciones y hogares. Por supuesto, sus fines son reducir la distancia entre sensores e identificar focos de contaminación con más precisión para tomar las medidas pertinentes y mitigar la contaminación.

7 Conclusiones.

- Durante el proceso se estableció un sistema IoT flexible basado en NodeJs, React y en dispositivos de bajo costo. Sin duda, el sistema responde a los requerimientos del estudio en concordancia con la regulación nacional e internacional.
- El *hardware* utilizado dentro del sistema tuvo un costo aproximado de \$45.000 pesos colombianos.
- Dado que se usaron servidores en la nube, el sistema es escalable. Eso permitió una visualización dinámica de los datos brindados por los sensores de los distintos dispositivos.
- Se creó un sitio en un servidor en AWS que alojó los componentes de NodeJs y React. En dicho sitio fue posible integrar las mediciones de los sensores para la recolección de la información ambiental.
- Se seleccionó la tarjeta Nodemcu y destacó por su fácil integración con proyectos de IoT. Otro elemento para destacar fue su flexibilidad para integrar los sensores.
- En Colombia, las regulaciones y los tratados están descentralizados en entidades como el IDEAM o IBOCA de la Alcaldía de Bogotá. Ambas plataformas realizan mediciones similares para seguir la contaminación de las ciudades.
- Después de la ejecución del proyecto, se encontró un error relativo del 2% en el caso de la medición de Co₂. Para el sensor de temperatura, se encontró un error del 0,30%. Finalmente, en humedad hubo un valor de 4%, lo cual indicó que la mayoría de los sensores están calibrados desde fábrica.

Referencias.

- [1] G. M. D'Silva, A. K. Scariah, L. R. Pannapara, and J. J. Joseph, "Smart ticketing system for railways in smart cities using software as a service architecture," *Proc. Int. Conf. IoT Soc. Mobile, Anal. Cloud, I-SMAC 2017*, pp. 828–833, 2017, doi: 10.1109/I-SMAC.2017.8058295.
- [2] D. Royé, M. T. Zarrabeitia, P. Fdez-Arroyabe, A. Álvarez Gutiérrez, and A. Santurtún, "Role of Apparent Temperature and Air Pollutants in Hospital Admissions for Acute Myocardial Infarction in the North of Spain," *Rev. Esp. Cardiol.*, vol. 72, no. 8, pp. 634–640, 2019, doi: 10.1016/j.recesp.2018.05.032.
- [3] B. Roca Villanueva, M. Beltrán Salvador, and R. Gómez Huelgas, "Change climate and health," *Rev. Clin. Esp.*, vol. 219, no. 5, pp. 260–265, 2019, doi: 10.1016/j.rce.2019.01.004.
- [4] J. Ferrís i Tortajada *et al.*, "Enfermedades asociadas a la polución atmosférica por combustibles fósiles. Aspectos pediátricos," *Rev. Esp. Pediatr.*, vol. 57, no. 339, pp. 213–225, 2001.
- [5] IDEAM, *Y Departamental De Gases Efecto Invernadero - De Gases Efecto*. 2016.
- [6] L. Mejía, "Choque dual y posibles efectos sobre la economía colombiana," *Fedesarrollo*, vol. 0, pp. 4–6, 2020, [Online]. Available: <http://dams.fedesarrollo.org.co/tendenciaeconomica/publicaciones/204/>.
- [7] IDEAM, "RESOLUCIÓN 0249.pdf." IDEAM, colombia, p. 8, 2020.
- [8] ideam, "RESOLUCIÓN N°. 005.pdf." 2020, colombia, p. 2, 2020.
- [9] Y. A. A. L. A. Investigación, "Madrid, 30 de Abril de 2020," no. 30, pp. 1–7, 2020.
- [10] S. Ciudadano, G. Del Gallego, O. Angel, and F. Garcia, "Información de interés para la ciudadanía."
- [11] IDEAM, "RESOLUCIÓN N°. 266 de 19/03/2020." colombia, p. 2, 2020.

- [12] M. Jobst, "Reporte de situación: movilidad y covid-19 en Colombia," *Univ. del Rosario*, p. 24, 2020.
- [13] A. Knudson *et al.*, "Spatio-temporal dynamics of *Plasmodium falciparum* transmission within a spatial unit on the Colombian Pacific Coast," *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–16, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-60676-1.
- [14] SDA, *Plan decenal de descontaminación del aire de Bogotá*. 2010.
- [15] D. Paola and R. López, "Deforestación en Colombia : ‘ una verdadera guerra contra los mundos relacionales ,’" pp. 1–21, 2020.
- [16] M. Escobar, A. Navas, C. Medina, J. Corrales, A. Tenjo, and L. Borrás, "Efecto de prácticas agroecológicas sobre características del suelo en un sistema de lechería especializada del trópico alto Colombiano," *Livest. Res. Rural Dev.*, vol. 32, no. 4, 2020, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Claudia_Medina7/publication/340998749_Efecto_de_practicas_agroecologicas_sobre_caracteristicas_del_suelo_en_un_sistema_de_lecheria_especializada_del_tropico_alto_colombiano/links/5ea91120a6fdcc705097830a/Efecto-de-prac.
- [17] IDEAM; PNUD; MADS; DNP; CANCELLEÍA, "Primer Informe Bienal de Actualización de Colombia," p. 252, 2015, doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- [18] I. C. Restrepo, A. M. Aldana, and P. R. Stevenson, "Forest dynamics under different levels of selective logging in the middle Magdalena River (Colombia)," *Colomb. For.*, vol. 19, no. 2, pp. 195–208, 2016, doi: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a05.
- [19] G. Ramírez Moreno and E. Ledezma-Rentería, "Efectos de las actividades socio-económicas (minería y explotación maderera) sobre los bosques del departamento del Chocó," *Rev. Inst. Univ. Tecnológica del Chocó*, vol. 26, no. 1, pp. 58–65, 2007, doi: 10.18636/biodesarrollo.v26i1.467.g479.
- [20] S. A. Transmilenio, "Informe No. 64," no. 64, 2020.
- [21] I. Mensual and A. Enero, *Secretaría Distrital de Ambiente Subdirección de Calidad*

del Aire , Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB. 2016.

- [22] C. Nayibe and L. Hernández, *Informe Tecnico No . 02138 , 28 de diciembre del 2020*, no. 02138. 2020.
- [23] Minambiente, “Respuesta consulta normatividad vigente radicado No. 08284 de 10/03/2021,” *ISSN 2502-3632 ISSN 2356-0304 J. Online Int. Nas. Vol. 7 No.1, Januari – Juni 2019 Univ. 17 Agustus 1945 Jakarta*, vol. 53, no. 9, p. 2, 2021, [Online]. Available: www.journal.uta45jakarta.ac.id.
- [24] S. Suárez Pérez, “Resolución número 601 (04 de abril de 2006),” *Minist. Ambient. Vivienda y Desarro. Territ.*, no. 601, pp. 1–13, 2006.
- [25] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial - MADS, *Política Nacional de Cambio Climático*. 2018.
- [26] S. de Ambiente, “Abecé el IBOCA se renueva,” p. 8, 2021, [Online]. Available: [http://www.kresttechnology.com/krest-academic-projects/krest-major-projects/ECE/BTech Major ECE EMBEDDED 2016-17/Btech ECE Embedded Major BP 2016-17/3. Automated Irrigation System In Agriculture.pdf](http://www.kresttechnology.com/krest-academic-projects/krest-major-projects/ECE/BTech%20Major%20ECE%20EMBEDDED%202016-17/Btech%20ECE%20Embedded%20Major%20BP%202016-17/3.%20Automated%20Irrigation%20System%20In%20Agriculture.pdf)<http://www.ijtre.com/images/scripts/2016040325.pdf>.
- [27] P. Clave and E. De Temas, “BOLETÍN DIARIO DE PRONÓSTICO EXPERIMENTAL DE CALIDAD DEL AIRE PARA BOGOTÁ,” *Secr. Dist. Ambient. Dir. Control Ambient. Subdirección Calid. del Aire, Audit. y Vis. Cent. Inf. y Model. Ambient. Bogotá – CIMAB Sist. Integr. Model. Calid. Aire Bogotá - SIMCAB BOLE*, pp. 1–6, 2021.
- [28] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change*. 2014.
- [29] M. de A. vivienda y desarrollo territorial Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD-, “Capitulo 3. Modulo de procesos industriales,” *Inventar. Nac. Fuentes y Sumideros Gases Ef. Invernadero 2000-2004*, pp. 175–224, 2009.

- [30] J. Carmona, D. Bolívar, and L. Giraldo, "El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo," *Rev. Colomb. Ciencias Pecu.*, vol. 18, no. 1, pp. 49–63, 2005.
- [31] IPCC, *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos*. 2014.
- [32] I. Pastrana V., S. Reza G., M. Espinosa C., E. Suárez P, and E. Díaz A., "Efecto de la fertilización nitrogenada en la dinámica del óxido nitroso y metano en *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickhardt.," *Corpoica Cienc. y Tecnol. Agropecu.*, vol. 12, no. 2, p. 134, 2011, doi: 10.21930/rcta.vol12_num2_art:223.
- [33] N. Gondchawar and R. S. Kawitkar, "IoT based smart agriculture," *Int. J. Adv. Res. Comput. Commun. Eng.*, vol. 5, no. 6, pp. 838–842, 2016, doi: 10.17148/IJARCCCE.2016.56188.
- [34] H. O. Benavides, "Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático.," *Ideam*, pp. 1–102, 2007, doi: IDEAM–METEO/008-2007.
- [35] V. M. Mendoza, R. Garduño, E. E. Villanueva, and B. Mendoza, "Mexico's contribution to global radiative forcing by major anthropogenic greenhouse gases: CO₂, CH₄ and N₂O," *Atmosfera*, vol. 28, no. 3, pp. 219–227, 2015, doi: 10.20937/atm.2015.28.03.06.
- [36] WASHINGTON Felix and P. A. Tipán, "Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.," 2010, [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec>.
- [37] A. G. MORILLO RUANO, "Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito," *Tesis*, pp. 1–100, 2017, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
- [38] X. Sun, Y. Li, N. Wang, Z. Li, M. Liu, and G. Gui, "Toward Self-Adaptive Selection of Kernel Functions for Support Vector Regression in IoT-Based Marine Data Prediction," *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 10, pp. 9943–9952, 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.2988050.

- [39] I. A. Gil, “Dispositivo de prevención y alertas ciudadanas con tecnologías IoT,” 2020.
- [40] E. Migabo, K. Djouani, and A. Kurien, “A modelling approach for the narrowband IoT (NB-IoT) physical (PHY) layer performance,” *Proc. IECON 2018 - 44th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, vol. 1, pp. 5207–5214, 2018, doi: 10.1109/IECON.2018.8591281.
- [41] T. Doctoral, “Universidad de Salamanca Tesis Doctoral Arquitectura Inteligente Edge Computing para entornos IoT,” 2020.
- [42] D. F. Sarabia Jácome, “Arquitectura de análisis de datos generados por el internet de las cosas IoT en tiempo real,” 2020, [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/149398>.
- [43] J. P. Moreno Calderon and N. Parra Santamaria, “[,” *Diseño e implementación una solución IoT para el Sist. Control acceso en cicloparqueadero Intel.*, 2019, doi: 10.15332/tg.pre.2019.00325.
- [44] S. K. Datta, C. Bonnet, and N. Nikaein, “An IoT gateway centric architecture to provide novel M2M services,” *2014 IEEE World Forum Internet Things, WF-IoT 2014*, no. March, pp. 1–8, 2014, doi: 10.1109/WF-IoT.2014.6803221.
- [45] N. Elena and P. Jones, “Sistema IoT para el control del nivel de tanques en Aguas de La Habana,” vol. 1, pp. 38–52, 2020.
- [46] N. I. Osman and E. B. Abbas, “Simulation and Modelling of LoRa and Sigfox Low Power Wide Area Network Technologies,” *2018 Int. Conf. Comput. Control. Electr. Electron. Eng. ICCCEEE 2018*, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/ICCCEEE.2018.8515816.
- [47] A. Lavric, A. I. Petrariu, and V. Popa, “SigFox Communication Protocol: The New Era of IoT?,” *2019 Int. Conf. Sens. Instrum. IoT Era, ISSI 2019*, pp. 1–4, 2019, doi: 10.1109/ISSI47111.2019.9043727.
- [48] P. Edward, E. Tarek, M. El-Aasser, M. Ashour, and T. Elshabrawy, “Further LoRa Capacity Enhancement through Interleaved Chirp Spreading LoRa Expansion,” *Int.*

Conf. Wirel. Mob. Comput. Netw. Commun., vol. 2019-Octob, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/WiMOB.2019.8923337.

- [49] E. Ahmad, Z. Hamidi, and T. Juhana, “The Design of Application for Smart Home Base on LoRa,” *IEEE Explor.*, p. 6, 2020.
- [50] C. L. Villate Barrera, “Sistema para la medición de gases de efecto invernadero mediante los principios del internet de las cosas, alineado al cumplimiento de los compromisos de Colombia ante las naciones unidas,” *Univ. St. TOMÁS Fac. Ing. TELECOMUNICACIONES Maest. EN TELECOMUNICACIONES Y Regul. TIC*, p. 91, 2018, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11634/10735>.
- [51] T. Xu, C. Masouros, and I. Darwazeh, “Waveform and space precoding for next generation downlink narrowband IoT,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 3, pp. 5097–5107, 2019, doi: 10.1109/JIOT.2019.2896724.
- [52] B. Fontal, B. Fontal, T. Suárez, M. Reyes, and F. Bellandi, “Química,” pp. 1–151.
- [53] A. Gudjonsson, “Drones in the Cloud: A Study of IoT Architectures and Simulation in AWS,” *Dep. Comput. Sci. LTH | LUND Univ.*, 2020.
- [54] V. S. Supekar and A. Ahmadina, “Sensor data visualization on google maps using AWS, and IoT Discovery Board,” *2020 7th Int. Conf. Internet Things Syst. Manag. Secur. IOTSMS 2020*, 2020, doi: 10.1109/IOTSMS52051.2020.9340202.
- [55] A. Martín, S. Chavez, N. Rodriguez, A. Valenzuela, and M. Murazzo, “Bases de datos NoSql en cloud computing,” *XV Work. ...*, pp. 166–170, 2013, [Online]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27121>.
- [56] M. J. Antiñanco, “Bases de Datos NoSQL : Escalabilidad y alta disponibilidad a través de patrones de diseño,” p. 70, 2013, [Online]. Available: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/36338/Documento_completo.pdf?sequence=5.
- [57] G. Adolfo Alegria, “Análisis comparativo entre arquitecturas sin servidor y arquitecturas orientadas a servicios aplicado a computación en la nube provista por

AWS,” *Univ. Los Andes*, vol. 1, no. 1, pp. 1–62, 2018.

- [58] D. Jinete, J. Aviles, and A. Rojsa-cordero, “Subordinación de servidores para clúster en cloud usando aws-ec2,” p. 4, 20AD.
- [59] J. S. Farfán Parra, “Informe Cálculo de la huella de carbono de la universidad Sato Tomás 2018,” pp. 30–40, 2018.
- [60] H. H. Electronics, “MQ-7 Datasheet,” pp. 2–4, 2018, [Online]. Available: <https://www.pololu.com/file/0J313/MQ7.pdf%0A%0A>.
- [61] M. D. E. Carbono, “Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño Universitat Politècnica de València Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática DESARROLLO DE SENSOR WIFI PARA LA MONITORIZACIÓN DE,” 2020.
- [62] G. E. Oliu, S. A. Nogué, and Ò. S. Miró, “Intoxicación por monóxido de carbono: claves fisiopatológicas para un buen tratamiento,” pp. 451–459, 2010, [Online]. Available: http://ssibe.cat/documents/doc_1066.pdf.
- [63] D. S. Wahyuni, “NIVELES DE CARBOXIHEMOGLOBINA COMO PRODUCTO DE INTOXICACIÓN POR MONÓXIDO DE CARBONO EN PERSONAS FUMADORAS, FUMADORES PASIVOS Y EX FUMADORES EN EL SUR DE GUAYAQUIL, 2019,” *Univ. GUAYAQUIL Fac. CIENCIAS Quím. CARRERA QUÍMICA Y Farm.*, vol. 5, no. 1, p. 55, 2020.
- [64] E. E. Yáñez and M. A. Gualdrón, *Metodología para la identificación y cuantificación de emisiones fugitivas de metano en campos de producción*. 2014.
- [65] H. Electronics, “Technical Mq-4 Gas Sensor,” *Tech. Data*, pp. 3–4, 2015.
- [66] Pleva GmbH, “Temperature sensor,” *Melliand Textilberichte*, vol. 76, no. 12, p. 1112, 1995, doi: 10.1007/978-3-319-19303-8_17.
- [67] H. Pudugosula, “Automatic smart and safety monitoring system for kitchen using internet of things,” *2019 Int. Conf. Intell. Comput. Control Syst. ICCS 2019*, no. Icccs, pp. 1174–1177, 2019, doi: 10.1109/ICCS45141.2019.9065663.

- [68] Jonathan Xavier Zurita Flores, "SISTEMAS ELECTRÓNICOS CON TECNOLOGÍA 4.0 PARA LA TRANSFORMACIÓN DE LA GESTIÓN ADMINISTRATIVA Y SERVICIOS DEL HOTEL DEL SOL DE LA CIUDAD DE AMBATO," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 1, no. 9, p. 182, 2021.
- [69] E. Cubillas-hernández, C. Anías-calderón, and T. Delgado-fernández, "Arquitectura M2M para el monitoreo ambiental en tiempo real," *Rev. ITECKNE - Univ. St. Tomás, Secc. Bucaramanga, Colomb. Vol. 18 N° 1 enero - junio 2021*, vol. 18, no. 1, pp. 1–8, 2021, [Online]. Available: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/32619>.
- [70] O. Information, "datasheet Cd4066b cmos quad bilateral switch," *Office*, no. February, pp. 1–13, 2003.
- [71] Saúl Guadamuz Brenes, "Instituto Tecnológico de Costa Rica," p. 93, 2002.
- [72] E. Systems, "ESP8266EX," 2020.
- [73] M. K. Mwila, "Design and implementation of a Node.js based communication framework for an unmanned autonomous ground vehicle," *2017 Pattern Recognit. Assoc. South Africa Robot. Mechatronics Int. Conf. PRASA-RobMech 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 74–79, 2017, doi: 10.1109/RoboMech.2017.8261126.
- [74] L. P. Chitra and R. Satapathy, "Performance comparison and evaluation of Node.js and traditional web server (IIS)," *2017 Int. Conf. Algorithms, Methodol. Model. Appl. Emerg. Technol. ICAMMAET 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1–4, 2017, doi: 10.1109/ICAMMAET.2017.8186633.
- [75] W. Jiang, B. Zhou, and M. Zhang, "Architecture Analysis and Implementation of 3D Theatre Display System Based on Node.js," *Proc. - 2015 Int. Conf. Netw. Inf. Syst. Comput. ICNISC 2015*, pp. 496–499, 2015, doi: 10.1109/ICNISC.2015.55.
- [76] E. M. Hahn, *In action*. Manning, 2016.
- [77] U. Manual, "Arduino Nano," *arduino*, vol. 2.3, p. 5, 2020.
- [78] R. C. Luparello, "GUÍA COMPARATIVA DE FRAMEWORKS PARA LOS

LENGUAJES HTML 5, CSS Y JAVASCRIPT PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES WEB,” *Pontif. Univ. Catol. del Peru*, vol. 8, no. 33, p. 44, 2014.

- [79] E. Volikova, “The System for Social Survey Data Analysis Created with React.js and Apollo GraphQL Libraries,” *Fac. Cybersecurity, Comput. Softw. Eng.*, vol. 1, p. 84, 2013.
- [80] W. N. Fatihah Wan Mustapha, M. A. Abdul Aziz, M. Masrie, R. Sam, and M. N. M. Tan, “WiFi Approximated Strength Measurement Method with Brute Force Algorithm for a Minimum Number of AP and Maximum WiFi Coverage,” *ISCAIE 2020 - IEEE 10th Symp. Comput. Appl. Ind. Electron.*, pp. 180–185, 2020, doi: 10.1109/ISCAIE47305.2020.9108833.
- [81] S. Kamworapan and C. Surussavadee, “Performance of CMIP5 global climate models for climate simulation in Southeast Asia,” *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON*, vol. 2017-Decem, pp. 718–722, 2017, doi: 10.1109/TENCON.2017.8227954.
- [82] A. Rodríguez, “Evaluación de las simulaciones de precipitación y temperatura de los modelos climáticos globales del proyecto CMIP5 con el clima presente en Colombia,” *Ideam-Meteo*, p. 34, 2012, [Online]. Available: <http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/Niveles/Definiciones.pdf>.
- [83] ICONTEC, “Ntc 4983,” *INCONTEC*, no. 571, p. 31, 2012.
- [84] A. Gas and D. I. Scarico, “8050 SMALL 8060 SMALL,” *HANWEI Electron.*, p. 2, [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>.
- [85] IDEAM, “Metodología De La Operación Estadística Variables Meteorológicas,” *Inst. Hidrol. Meteorol. y Estud. Ambient.*, p. 113, 2018, [Online]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Documento+metodologico+variables+meteorologicas.pdf/8a71a9b4-7dd7-4af4-b98e-9b1eda3b8744>.

Lista de figuras.

Ilustración 1. Metodología del proyecto.....	5
Ilustración 2. Medidas y resoluciones COVID-19 IDEAM [Autoría Propia].....	9
Ilustración 3. Cambios de la movilidad en Colombia Imagen tomada de [12].	10
Ilustración 4. Evolución de las acciones de mitigación en Colombia [17].	13
Ilustración 5. Perfil de demanda día típico Troncal Transmilenio, Grafica tomada [20].....	14
Ilustración 6. Plan decenal Comportamiento de la temperatura en un día 2010 Bogotá [14].	15
Ilustración 7. Diagrama de la estructura del cambio climático en Colombia [25].	22
Ilustración 8. Imagen de Bogotá con los distintos puntos y sensores de IBOCA [26].	24
Ilustración 9. Sistema de Gases de Efecto Invernadero [Autoría Propia].	26
Ilustración 10. Concentraciones de Co2 y sus niveles tomada de [34].	29
Ilustración 11. Sistema de información IDEAM [17]	29
Ilustración 12. Estadísticas sobre las salidas reales de cada sensor marino de predicción para la construcción de un sistema Kernel, tomado de [38].	31
Ilustración 13. Modelo arquitectura Garthner referente para soluciones de negocios IoT [43].	32
Ilustración 14. Sensor Monóxido de carbono [60].	39
Ilustración 15. Sensor Gas Natural Metano.....	40
Ilustración 16. DTH11 sensor de temperatura y humedad [Autoría Propia].	41
Ilustración 17. Multiplexor 4600 [54].	42
Ilustración 18. Diagrama funcional bloques [72].	44
Ilustración 19. Diagrama API REST [Autoría Propia].	46
Ilustración 20. Diagrama captura información multiplexor [Autoría propia].	48

Ilustración 21. Arquitectura del sistema IoT para la medición de gases de efecto invernadero [Autoría Propia].....	49
Ilustración 22. Diagrama integración sistema gas de efecto invernadero.....	50
Ilustración 23. Imagen sistema de monitoreo IoT [Autoría Propia].	53
Ilustración 24. Datos sensores MongoDB [Autoría Propia].....	53
Ilustración 25. Sistema de monitoreo MongoDB resultado <i>device 2</i> [Autoría Propia].	54
Ilustración 26. Grafica humedad relativa prototipo de sistema GEI [Autoría Propia].....	55
Ilustración 27. Graficas de los distintos sensores, tomado de página web servidor AWS [Autoría Propia].....	56
Ilustración 28. Equipo de medición de gases MotorScan [84]	57
Ilustración 29. Montaje para la medición simultanea de Co2 en vehículo a través del equipo MotorScan y el prototipo [Autoría Propia].....	58
Ilustración 30. Grafica ecuación sensor MQ-7 [Autoría Propia]	59
Ilustración 31. Comparativo entre las mediciones Co2 realizadas con el prototipo y las mediciones realizadas con el dispositivo MotorScan: a) Resultados equipo MotorScan b) Resultados prototipo [Autoría Propia].	61
Ilustración 32. Grafica ecuación sensor MQ-4 [Autoría Propia].	62
Ilustración 33. Grafica grafana temperatura estación El Dorado IDEAM.	64
Ilustración 34. Grafica grafana humedad estación El Dorado IDEAM.	66
Ilustración 35. Grafica consumo sensores 24 horas entorno casero [Autoría Propia].....	67
Ilustración 36. Prototipo del sensor [Autoría Propia].	68

Lista de tablas.

Tabla 1. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire [14].	11
Tabla 2. Resumen de los promedios 8 horas para Co Nov 2020 Bogotá tomado de [22].	17
Tabla 3. Normas y resoluciones en Colombia frente al Cambio Climático [23].	17
Tabla 4. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia valores tomados de la resolución 601 [24].	20
Tabla 5. Niveles Máximos permisibles para contaminantes criterio [24].	21
Tabla 6. Información sensores IBOCA [26].	23
Tabla 7. Índice Bogotano de Calidad de Aire tomado de [27].	25
Tabla 8. Información de fuentes de contaminación que contienen metano, tomado de [30].	27
Tabla 9. Características Servidores.	35
Tabla 10. Efectos en la Salud humana con respecto a los niveles de Monóxido de Carbono	39
Tabla 11. Índices de precisión DTH11 [67].	41
Tabla 12. características placas del mercado.	43
Tabla 13. Datos prototipo 15 oct 2021.	64

Anexo A. CÓDIGO NODEMCU ARDUINO.

Código desarrollado para cada uno de los sensores (device) placa *Nodemcu*

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
//IP or name of address root: ie: google.com
//NOT google.com/nothing/after/the/dotcom.html
const char* hostGet = "192.168.0.150";
/* Set these to your desired credentials. */
const char *ssid = "CAMI."; //ENTER YOUR WIFI SETTINGS
const char *password = "c1032418603";
//=====
====//          Power on setup
//=====
=====
void setup() {
  delay(1000);
  Serial.begin(115200);
  WiFi.mode(WIFI_OFF);    //Prevents reconnection issue (taking too long to connect)
  delay(1000);
  WiFi.mode(WIFI_STA);    //This line hides the viewing of ESP as wifi hotspot
  WiFi.begin(ssid, password); //Connect to your WiFi router
  Serial.println("");
  Serial.print("Connecting");
  // Wait for connection
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  //If connection successful show IP address in serial monitor
  Serial.println("");
  Serial.print("Connected to ");
  Serial.println(ssid);
  Serial.print("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP()); //IP address assigned to your ESP
}

void postData() {
  WiFiClient clientGet;
  const int httpGetPort = 5000;
  //the path and file to send the data tod:
  String urlGet = "/insertar";
  // We now create and add parameters:
```

```

String device = "3";
String temperatura = "70";
String humedad = "66";
String metano = "22";
String Dcarbono = "81";

urlGet += "?device=" + device + "&temperatura=" + temperatura + "&humedad=" +
humedad + "&metano=" + metano + "&dcarbono=" + Dcarbono;

Serial.print(">>> Connecting to host: ");
Serial.println(hostGet);

if (!clientGet.connect(hostGet, httpGetPort)) {
  Serial.print("Connection failed: ");
  Serial.print(hostGet);
} else {
  clientGet.println("GET " + urlGet + " HTTP/1.1");
  clientGet.print("Host: ");
  clientGet.println(hostGet);
  clientGet.println("User-Agent: ESP8266/1.0");
  clientGet.println("Connection: close\r\n\r\n");

  unsigned long timeoutP = millis();
  while (clientGet.available() == 0) {

    if (millis() - timeoutP > 10000) {
      Serial.print(">>> Client Timeout: ");
      Serial.println(hostGet);
      clientGet.stop();
      return;
    }
  }
  //just checks the 1st line of the server response. Could be expanded if needed.
  while(clientGet.available()){
    String retLine = clientGet.readStringUntil('\r');
    Serial.println(retLine);
    break;
  }
} //end client connection if else
Serial.print(">>> Closing host: ");
Serial.println(hostGet);
clientGet.stop();
}

void loop () {Justificar las diferencias entre mi prototipo y las aplicaciones que pueda
ar validación que funciona correctamente postData ();

delay(1000);
}

```

