

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero de Sistemas

Proyecto Técnico:

“DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA ABIERTA PARA EL ALMACENAMIENTO Y GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE NODOS MÓVILES PARA INTERNET DE LAS COSAS DE LA CÉLULA INTELIGENTE DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”

AUTOR:

LUIS ALFONSO CHUQUI NIETO

DIRECTOR:

ING. PABLO GALLEGOS

CUENCA – ECUADOR

2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Luis Alfonso Chuqui Nieto, con documento de identificación N° 0105165484, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado intitulado: “DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA ABIERTA PARA EL ALMACENAMIENTO Y GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE NODOS MÓVILES PARA INTERNET DE LAS COSAS DE LA CÉLULA INTELIGENTE DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero de Sistemas con mención en Telemática, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Luis Alfonso Chuqui Nieto

C.I.: 0105165484

Septiembre de 2016

CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi dirección fue desarrollado el trabajo de titulación: “DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA ABIERTA PARA EL ALMACENAMIENTO Y GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE NODOS MÓVILES PARA INTERNET DE LAS COSAS DE LA CÉLULA INTELIGENTE DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”, realizado por el autor Luis Alfonso Chuqui Nieto, obteniendo este Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, septiembre de 2016



Pablo Leonidas Gallegos Segovia

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

C.I.: 0102593589

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Luis Alfonso Chuqui Nieto con número de cédula 0105165484, autor del “DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA ABIERTA PARA EL ALMACENAMIENTO Y GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE NODOS MÓVILES PARA INTERNET DE LAS COSAS DE LA CÉLULA INTELIGENTE DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA” certifico que el total contenido de este Proyecto Técnico, es de mí exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, septiembre de 2016



Luis Alfonso Chuqui Nieto

C.I.: 0105165484

DEDICATORIA

A mis padres, por haber forjado en mí un hombre de valores, ética, lucha y perseverancia; por ser mi más grande motivación para alcanzar esta meta tan importante en mi vida y sobre todo por su infinito amor y apoyo incondicional, que fueron factores clave para que yo no me diera por vencido y luche día a día para alcanzar mis sueños. Sin ustedes queridos padres, nada de esto sería posible.

A mis hermanos por ser mi inspiración y mi fuente de energía para yo seguir adelante en este duro camino de la vida universitaria, para que ustedes puedan ver en mí un ejemplo de trabajo, responsabilidad y constancia; demostrándoles que con dedicación y esmero todo se puede lograr en la vida.

Finalmente, a todas esas personas que no creyeron que lo lograría, porque a veces el demostrar que estaban equivocados se convierte en una de las más grandes satisfacciones.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana, a cada uno de los docentes y compañeros que fueron parte de esta etapa de aprendizaje, por todas las experiencias y conocimientos compartidos y sobre todo por la formación como profesionales que nos han brindado.

Al grupo de investigación Cloud Computing Smart Cities & High Performance Computing y a su coordinador el Ing. Gabriel León, por brindarme su apoyo incondicional para que se pueda efectuar este proyecto.

Finalmente, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi director de trabajo de titulación, el Ing. Pablo Gallegos, por haberme prestado su apoyo incondicional en todo momento, por la paciencia, las ideas compartidas y sobre todo por ser un excelente guía para que este proyecto culmine de manera exitosa.

RESUMEN

En este documento se describe la importancia que tiene hoy en día el dotar de inteligencia a los sistemas convencionales que utilizan las ciudades en los servicios básicos que ofrecen a la ciudadanía. Se plantea como problema los altos niveles de contaminación que presenta en la actualidad la ciudad de Cuenca, por lo que se propuso como solución un sistema que fusiona el concepto del Internet de las Cosas con el paradigma emergente de las Ciudades Inteligentes y la Inteligencia Ambiental, con la finalidad de cubrir la necesidad latente de tener un monitoreo preciso, ubicuo y en tiempo real del medio ambiente de la ciudad.

Además, se especifica la arquitectura y las fases de funcionamiento que tiene el sistema propuesto, así como la construcción e implementación de cada uno de los elementos que lo componen. Este sistema consta de cuatro partes principales: un nodo inteligente móvil, un servicio web Rest, una plataforma web y una base de datos no relacional (Mongo DB); que en conjunto monitorean en tiempo real los niveles de temperatura, humedad y CO₂ del medio ambiente y obtienen un registro de los datos procesados para posteriormente ser analizados y estudiados por las autoridades de la ciudad o entidades interesadas en el cuidado y protección del medio ambiente.

Se detalla también, las condiciones sobre las que se realizaron las pruebas del sistema en distintos puntos de la ciudad y los inconvenientes que se presentaron a la hora de recolectar los datos mediante los nodos inteligentes móviles. Posteriormente, se analiza los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas, con la finalidad de conocer la precisión y efectividad de los datos capturados, la variación de temperatura y humedad y los niveles de contaminación que se presentan en cada uno de los sectores en los que fueron tomados las muestras.

Finalmente, en base a la experimentación y los resultados obtenidos, se realiza una valoración de las tecnologías y metodologías utilizadas; la cual se destaca en las conclusiones y recomendaciones que se hicieron con respecto al desarrollo, la implementación y el funcionamiento del proyecto.

ABSTRACT

This document describes the importance to provide intelligence to conventional systems nowadays that cities use in basic services provided to the citizens. It proposes as a problem the high levels of pollution that currently happen in Cuenca city, so that it was proposed as a solution a system that merges the concept of the Internet of Things with the emerging paradigm of Intelligent Cities and Environmental Intelligence, in order to cover the necessity of having for accurate, ubiquitous and in real time monitoring of the environment of the city.

Also, this document specifies the architecture and functioning phases having the proposed system as well as the construction and implementation of each of the elements that integrates the project. This system is formed by four main parts: an intelligent mobile node, a Rest web service, a web platform and a non-relational data base (MongoDB). All of this parts work together to monitor, in real time, the temperature, humidity and CO2 levels on the environment. Consequently, it will create a register of all the data so it can be analyzed or studied by the authorities or any entity that is interested in protecting the environment.

It highlights, in detail, the conditions and procedures that were part of the experimentation of this systems in different parts of the city and the disadvantages that appear when the data was being collected by the intelligent mobile nodes. Subsequently, is discussed the results obtained in each of the tests, in order to know the accuracy and effectiveness of the captured data, the change in temperature, humidity and contamination levels presented in each areas in which samples were taken.

Finally, based on the experimentation and the results obtained, is performed an evaluation of the technologies and methodologies used; which is pointed out in the conclusions and recommendations made regarding the development, implementation and functioning of project.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA	4
2.1. ANTECEDENTES	4
2.2. IMPORTANCIA Y ALCANCE	5
2.3. DELIMITACIÓN	6
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. GENERAL.....	7
3.2. ESPECÍFICOS	7
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
4.1. INTERNET DE LAS COSAS	8
4.2. INTERNET DE LAS COSAS EN CIUDADES INTELIGENTES.....	8
4.3. AVANCES EN EL INTERNET DE LAS COSAS	9
4.4. PROTOCOLOS USADOS EN EL INTERNET DE LAS COSAS	9
4.4.1. <i>MQTT</i>	9
4.4.2. <i>CoAP</i>	10
4.4.3. <i>AMQP</i>	10
4.4.4. <i>JMS</i>	11
4.4.5. <i>DDS</i>	11
4.4.6. <i>REST</i>	11
4.4.7. <i>XMPP</i>	12
4.5. BASES DE DATOS NO RELACIONALES	13
4.5.1. <i>Mongo DB</i>	13
5. MARCO METODOLÓGICO	14
5.1. ARQUITECTURA	14
5.2. FASES DE FUNCIONAMIENTO DEL PROYECTO	15
5.3. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LOS NODOS MÓVILES.....	17
5.3.1. <i>Nodo base para establecer conexión con la red GPRS</i>	17
5.3.2. <i>Geo Posicionamiento</i>	18

5.3.3.	<i>Recolección de datos de temperatura y humedad.....</i>	19
5.3.4.	<i>Recolección de datos de los niveles de CO2.....</i>	20
5.3.5.	<i>Implementación completa de un Nodo Móvil</i>	21
5.4.	SERVICIO WEB REST.....	22
5.5.	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA WEB.....	23
5.5.1.	<i>Base de Datos</i>	23
5.5.2.	<i>Diagramas UML.....</i>	24
5.5.3.	<i>Interfaces Gráficas.....</i>	25
6.	EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS	35
6.1.	EXPERIMENTACIÓN.....	35
6.2.	RESULTADOS.....	36
7.	CONCLUSIONES.....	45
8.	RECOMENDACIONES	47
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
10.	ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Protocolos de Conectividad en la IoT [17].....	12
Figura 2 Arquitectura del proyecto	14
Figura 3 Esquema funcional del proyecto	15
Figura 4 Nodo base para la implementación de los Nodos Móviles.....	17
Figura 5 Registro del Nodo en la red GPRS	18
Figura 6 Esquema de conexión del Módulo GPS	18
Figura 7 Obtención de coordenadas del módulo GPS	19
Figura 8 Esquema de conexión del sensor DHT11.....	19
Figura 9 Esquema de conexión del sensor DHT22.....	20
Figura 10 Obtención de datos de temperatura y humedad.....	20
Figura 11 Esquema de conexión del sensor +MG811	21
Figura 12 Obtención de los niveles de CO2	21
Figura 13 Esquema de un Nodo Móvil completamente implementado.....	21
Figura 14 Funcionamiento del Nodo Móvil con todas sus funcionalidades.....	22
Figura 15 Servicio Web REST en ejecución	22
Figura 16 Inserción de datos a través del servicio web REST.....	22
Figura 17 Consulta de datos ingresados por los nodos móviles	23
Figura 18 Diagramas de Colecciones a manejar en Mongo DB	24
Figura 19 Diagramas de Casos de Uso del Administrador	24
Figura 20 Diagramas de Casos de Uso del Usuario.....	25
Figura 21 Interfaz principal de la plataforma “SmartCuenca”	25
Figura 22 Menú principal de la interfaz de usuario cliente	26
Figura 23 Opciones del submenú ‘Inicio’	26
Figura 24 Interfaz de Inicio de Sesión	26
Figura 25 Opciones del submenú ‘GIHP4C’	27
Figura 26 Buscador de Direcciones	27
Figura 27 Panel informativo	27
Figura 28 Botón que nos dirige a las gráficas estadísticas de un nodo específico.....	28
Figura 29 Gráficas por Nodo	28
Figura 30 Gráfica de variación de Temperatura	29

Figura 31 Gráfica de variación de Humedad	29
Figura 32 Gráfica de variación de Contaminación	30
Figura 33 Gráficas estadísticas comparativas	30
Figura 34 Gráfica comparativa de la variación de los niveles de Contaminación.....	31
Figura 35 Interfaz principal de Administración.....	32
Figura 36 Menú principal de la interfaz de un usuario administrativo	32
Figura 37 Interfaz de Administración de Nodos.....	33
Figura 38 Interfaz de Reportes de Nodos	34
Figura 39 Interfaz de Administración de Usuarios	34
Figura 40 Caída del envío de la información por horas.....	36
Figura 41 Caída del envío de la información por un día entero.....	36
Figura 42 Variación de Temperatura registrado con el sensor DHT22	38
Figura 43 Variación de Temperatura registrada por el sensor DHT11.....	38
Figura 44 Variación de Temperatura en un mes	39
Figura 45 Pico presentado por la caída del Nodo C.....	39
Figura 46 Variación de Humedad registrada por el sensor DHT22.....	40
Figura 47 Variación de Humedad registrada por el sensor DHT11.....	40
Figura 48 Variación de Humedad en un mes	41
Figura 49 Variación de los niveles de CO2 en unas horas	42
Figura 50 Variación de CO2 en un día en el que el Nodo B presenta un mayor nivel de contaminación.....	42
Figura 51 Variación de CO2 en un día en el que el Nodo A presenta un mayor nivel de contaminación.....	43
Figura 52 Variación de CO2 en una semana	43
Figura 53 Variación de CO2 en un mes.....	44

1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el Ministerio del Ambiente ha desarrollado un “Plan Nacional de la Calidad del Aire”, el cual se basa en estudios realizados en muchas de las ciudades del país para determinar los niveles de contaminación del aire. En la ciudad de Cuenca, desde el año 2003 se han estado monitoreando las emisiones de gases por parte de los vehículos e industrias, y se ha determinado que los niveles de contaminación por partículas de diámetros menores a 2.5 micrones, superan la normativa nacional y los niveles recomendados por la OMS. En la actualidad la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Cuenca (CUENCAIRE) es la entidad encargada del monitoreo de la calidad del aire en la ciudad. [1]

Dados estos datos preocupantes para la ciudadanía se ha buscado a través de sistemas tecnológicos e innovadores encontrar soluciones que nos permitan disminuir los niveles de contaminación en la ciudad de Cuenca, para esto se han considerado nuevas tendencias tecnológicas que en la actualidad se encuentran en auge a nivel mundial y que se están implementando en muchas ciudades del mundo precisamente para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, optimizando el consumo de los servicios públicos y mejorando el uso y la distribución de los recursos naturales. Estas tendencias son: la Internet de las Cosas, las Ciudades Inteligentes y la Inteligencia Ambiental.

En la actualidad existen dispositivos fijos y móviles que se conectan a la Internet con el fin de comunicarse entre sí, teniendo la posibilidad de compartir datos y acceder a cualquier tipo de información. Sin embargo, se ha estudiado y se ha planteado la posibilidad de que los usuarios necesiten cubrir otro tipo de necesidades o simplemente puedan preferir servicios similares, pero desde otros dispositivos como relojes, pulseras, bolígrafos o cualquier otro artículo que tenga una función parecida y por qué no, que pueda abarcar varias funciones al igual que un dispositivo móvil inteligente. [2] [3]

A partir de esta idea, surgió el concepto de la Internet de las Cosas (IoT) que básicamente es la aplicación de varias tecnologías que trabajan en conjunto para interconectar toda clase de objetos de uso cotidiano. La IoT coadyuva al concepto de ‘Ciudades Inteligentes’, que son una revolución tecnológica necesaria para el correcto uso de los recursos de una ciudad y que permiten tener un control y monitoreo adecuado de los servicios básicos prestados a la ciudadanía, así como de los factores que podrían perjudicar su salud o a su vez afectar al medio ambiente; todo esto lo realiza a través de una plataforma que gestiona una red de sensores o

equipos inteligentes que pueden recolectar, procesar y analizar la información del comportamiento de los servicios públicos o del entorno en el que se encuentren operando y además pueden ser operados ubicuamente. Como consecuencia de todas estas características y funcionalidades, nace la llamada ‘Inteligencia Ambiental’, que usa la IoT para el desarrollo de algún tipo de sistema o artefacto que contribuya con el estudio y el cuidado del medio ambiente, siendo ésta la columna vertebral de una ‘Ciudad Inteligente’. [4] [5] [6]

Este proyecto, nace con la finalidad de cubrir la necesidad latente de tener un monitoreo preciso, ubicuo y en tiempo real del medio ambiente que nos permita determinar las variaciones y los niveles de temperatura, humedad y contaminación en la ciudad de Cuenca. Por lo tanto, se ha fusionado el concepto de la IoT con el paradigma emergente de las Ciudades Inteligentes y de la Inteligencia Ambiental para el desarrollo e implementación de un prototipo de medidor inteligente que se denominará **nodo inteligente móvil**, un **servicio web REST** y una **plataforma web** que permitirá el monitoreo y la gestión de los nodos.

El **nodo inteligente móvil** estará integrado principalmente por una placa Arduino, la cual contendrá sensores de temperatura, humedad y CO₂, que tendrán como función la medición de estos parámetros dentro del medio ambiente de la ciudad de Cuenca; además contendrá un módulo GPS, que será el encargado de obtener las coordenadas de ubicación del nodo (geo posicionamiento) y por último un módulo GPRS, el cual permitirá la conexión del nodo móvil a la red de transporte GPRS, la misma que tendrá dos importantes funcionalidades; la primera, que será el medio de transmisión de los datos recolectados por el nodo hacia un servicio web alojado en un servidor del centro de investigación GIHP4C de la Universidad Politécnica Salesiana; y la segunda, que ofrecerá la característica de movilidad al nodo inteligente ya que ésta es una red utilizada por la telefonía móvil y por ende ofrece una cobertura relativamente extensa en la ciudad de Cuenca y en varias partes del país (dependiendo de la operadora que se haga uso), permitiendo al nodo inteligente movilizarse a lo largo de la ciudad tomando muestras de los parámetros medidos por los sensores que contiene. Este nodo inteligente tiene dos formas de alimentación energética; la primera, por medio de la energía eléctrica tradicional, usando un cargador de 5V-12V y la segunda, por medio de una batería que se alimenta con energía solar.

El **servicio web REST**, será el encargado de establecer una conexión con la base de datos no relacional (Mongo DB) y de realizar la inserción de los datos recolectados por los

nodos inteligentes sobre la misma. Por lo tanto, este servicio será consumido por todos los nodos inteligentes para el registro de la información censada.

La **plataforma web** permitirá la gestión de la información registrada por los nodos inteligentes en la base de datos y el monitoreo de los mismos en tiempo real, teniendo la posibilidad de que el usuario pueda conocer su ubicación y los datos que se encuentra midiendo en ese preciso instante, ya sea que los nodos se estén desplazando a lo largo de la ciudad o se encuentren ubicados de manera fija en algún punto estratégico de la urbe.

2. PROBLEMA

La ciudad de Cuenca en la actualidad registra uno de los más altos índices de contaminación, siendo éste un motivo de preocupación por parte de las autoridades. Además, la ciudad carece de un sistema de monitoreo ambiental en tiempo real que sea capaz de obtener datos precisos de distintos parámetros del medio ambiente por medio de dispositivos que sean capaces de movilizarse a lo largo de la ciudad mientras realizan sus mediciones y que puedan ser gestionados y monitoreados a través de una plataforma. Un sistema que podría ser aprovechado para analizar el comportamiento del medio ambiente o la variación de los niveles de contaminación según diversos factores (temperatura y humedad), permitiendo a las autoridades tomar a tiempo medidas adecuadas para mejorar la calidad de vida del ciudadano. [1] [7]

2.1. ANTECEDENTES

La Universidad Politécnica Salesiana a través del grupo de investigación ‘GIHP4C’ de la carrera de Ingeniería de Sistemas, mención Telemática, busca fomentar la investigación dentro de los campos técnicos y tecnológicos más relevantes en la actualidad y por ende el desarrollo de proyectos innovadores que tengan un enfoque social, científico o empresarial, con el fin de que el estudiante busque y proponga soluciones a los problemas encontrados o propuestos en éstas áreas.

Entonces, este proyecto se origina a partir de la necesidad que se tiene en la actualidad de tener datos precisos del comportamiento ambiental en las distintas ciudades del mundo, debido al cambio climático que se presenta en el planeta y que a través de los años es mucho más evidente.

En la actualidad, existen ciudades inteligentes que poseen plataformas que tiene la finalidad de mejorar la calidad de vida de las personas, como, por ejemplo: Barcelona, Londres, Tokio, Sao Paulo, entre otras. Además, empresas como: National Instruments, Broadcom, IoBridge, etc. están enfocadas en desarrollar e implementar hardware y software que permita la interconexión de elementos o cosas al Internet y a su vez ofrecerle un grado de inteligencia a su funcionamiento. Esto nos lleva al concepto del Internet de las Cosas (IoT), que nos permite interconectar cosas u objetos de uso cotidiano por medio del Internet sin la necesidad de la intervención del ser humano, logrando tener una mejor precisión en la obtención y manejo de

la información. Entonces, como fruto de esta gran característica del IoT nace la llamada Inteligencia Ambiental, que ya está siendo aplicado en muchas ciudades del mundo tanto para el estudio como para el cuidado del medio ambiente. [8]

2.2. IMPORTANCIA Y ALCANCE

Según el estudio 'Smart City' de Schneider Electric, para el año 2050 cerca del 70 por ciento de la población mundial vivirá en las grandes ciudades. [4]

Por esta razón es importante buscar maneras de distribuir mejor los recursos naturales y optimizar el consumo de los servicios básicos del ser humano dentro las grandes ciudades, con el fin de evitar gastos innecesarios de los recursos y disminuir los niveles de contaminación. Para lograr este objetivo es necesario empezar desde ya a convertir nuestras urbes en ciudades inteligentes y para esto no es necesario grandes avances tecnológicos con ideologías futuristas, sino basta con pequeños pero significativos cambios que mejoren la calidad de vida de sus habitantes.

Según la ONU, "ante este panorama, las ciudades, que hoy consumen el 75 por ciento de los recursos y la energía mundial, y producen el 80 por ciento de los gases efecto invernadero, deben poner a andar un modelo que no solo sea sostenible y amigable con el medio ambiente, sino que además supla las necesidades de los ciudadanos". [4]

Ante estos datos alarmantes y con la posibilidad de que sean aún mucho peores en el futuro, las grandes ciudades del mundo han implementado un modelo de monitorización del medio ambiente, mismo que se pretende desarrollar para la ciudad de Cuenca aplicando un concepto conocido como **Inteligencia Ambiental**, que no es más que la aplicación del Internet de las Cosas (IoT) para la interconexión de redes de sensores que nos permiten obtener datos mucho más precisos del comportamiento del medio ambiente en tiempo real, almacenarlos en una base de datos no relacional y una vez que se tenga una gran cantidad de muestras, tener la posibilidad de realizar un análisis con el que se pueda llegar a determinar el patrón de variación y los factores que generen altos índices de contaminación, permitiendo a su vez a las autoridades de la ciudad o a alguna entidad encargada del medio ambiente llevar un registro diario de los distintos parámetros que se requiera censar y así poder tomar medidas oportunas a tiempo o llevar a cabo planes de contingencia para el bien de la ciudadanía, como por ejemplo

la optimización del servicio de transporte público que puede generar mayor contaminación en ciertos sectores específicos de la ciudad. [9]

2.3. DELIMITACIÓN

El proyecto está enfocado en implementar: *nodos inteligentes móviles* que sean capaces de geo posicionarse y de censar la temperatura, la humedad y los niveles de CO2 del medio ambiente de la ciudad de Cuenca en tiempo real; una *plataforma* que permita la monitorización y gestión tanto de los nodos como de los datos que éstos recolecten, y por último; un *servicio web REST* que será consumido por los nodos inteligentes para el envío y almacenamiento de los datos en un servidor en el que se encuentre alojado una base de datos no relacional.

3. OBJETIVOS

3.1. GENERAL

Desarrollar una plataforma de almacenamiento y gestión de la información de los distintos nodos móviles ubicados en puntos estratégicos de la ciudad, para monitorear la humedad, temperatura y contaminación ambiental, con la finalidad de tener datos precisos de los lugares de mayor contaminación ambiental de la ciudad de Cuenca y además aplicarlo en la UPS.

3.2. ESPECÍFICOS

- Obtener movilidad y posicionamiento de cada uno de los nodos que se coloquen en la ciudad.
- Recolectar la información de cada uno de los sensores ubicados en los nodos móviles en una base de datos.
- Consultar y cuantificar la información procesada, gráfica y estadísticamente.
- Geo posicionar la ubicación de cada uno de los nodos móviles.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1. INTERNET DE LAS COSAS

Kevin Ashton señaló que la mayoría de los datos en Internet eran en un principio introducidos o capturados en el sistema por los seres humanos. *Desde el punto de vista del sistema, un ser humano no es más que un router lento y propenso a errores, y poco eficiente de los datos que pone límites a la cantidad y calidad de los datos disponibles y, a veces, incluso se atreve a interpretar los datos o corregirlo.* [10] Entonces una alternativa más eficiente sería si estos sistemas podrían conectarse a sensores que miden ciertos eventos o propiedades del mundo real directamente.

El problema con esta definición es que más que una definición, es una visión, aunque con un punto importante. Si los sistemas pueden acceder a los datos capturados por los sensores directamente, por supuesto, los datos serán tanto más abundantes y más precisos. Esto fue conocido hace décadas y es un campo de estudio por derecho propio, con la etiqueta "redes de sensores".

Por lo tanto, el Internet de las Cosas (IoT) no es más que lo que obtenemos cuando conectamos las cosas, que no son operados por los seres humanos, a Internet. [10]

La Internet de las cosas se basa en la integración de las tecnologías de la información, es decir su convergencia se puede dar en varios niveles: la nube, redes de datos, la comunicación y los artefactos de uso diario.

El avance de tecnologías como la nano-electrónica, los sensores, equipos inteligentes, la virtualización y otras se encuentra dando a las "cosas" la capacidad necesaria para ser operadas remotamente, sin importar el remoto lugar donde se encuentren. [2]

4.2. INTERNET DE LAS COSAS EN CIUDADES INTELIGENTES

Según el artículo "Internet of Things for Smart Cities", la Internet de las Cosas (IoT) sería capaz de incorporar de forma transparente y sin problemas un gran número de diferentes y heterogéneos sistemas finales, proporcionando además acceso abierto a los subconjuntos de datos seleccionados para el desarrollo de una gran cantidad de servicios digitales que pueden ser de gran utilidad en una ciudad, dándole inteligencia a los procesos requeridos.

Por lo tanto, en el artículo [11], se realiza un estudio de la implementación de un sistema urbano IoT, que serviría de apoyo en la visión de una ciudad inteligente, teniendo como objetivo la explotación de las tecnologías de comunicación más avanzadas para apoyar los servicios de valor añadido para la administración de la ciudad y para los ciudadanos.

4.3. AVANCES EN EL INTERNET DE LAS COSAS

Uno de los avances dentro del IoT es la computación ubicua y la Inteligencia Ambiental (AmI) ya que demuestran que los sistemas informáticos que interactúan directamente con los usuarios se caracterizan por el aumento del tamaño y complejidad, debido a que un usuario humano todavía no es capaz de gestionar adecuadamente un sistema por mucho tiempo. Debido a esta tendencia, el paradigma de la computación autónoma tiene como objetivo diseñar y desarrollar sistemas capaces de auto-configuración y auto-gestión. Por lo tanto, un sistema de Inteligencia Ambiental necesitaría una arquitectura cognitiva de varios niveles de agregación de la información sensorial en diferentes niveles de abstracción. *En una arquitectura tal, un componente central de razonamiento es capaz de comprender el estado del medio ambiente y las preferencias del usuario y por consiguiente para planificar las acciones oportunas a realizar. Mediante la explotación de este conocimiento, el sistema AmI puede desarrollar conciencia de sí misma y de sus procesos cognitivos, y en consecuencia la capacidad de gestionar de manera autónoma su propio funcionamiento.* [12]

4.4. PROTOCOLOS USADOS EN EL INTERNET DE LAS COSAS

Para poder utilizar todo el potencial del paradigma de la IoT, los dispositivos interconectados necesitan comunicarse mediante protocolos ligeros que no requieran el uso excesivo de los recursos del CPU. [13] [14]

Uno de los aspectos más importantes para estos protocolos es admitir el intercambio de información entre dominios, es decir, tener la capacidad de transmitir información (datos) contenida en un dominio particular a otros dominios. [15]

El libro [15] señala a los siguientes protocolos como los más importantes:

4.4.1. MQTT

El Transporte de Telemetría de Cola de Mensajes (MQTT) es un protocolo de código abierto para el paso de mensajes entre múltiples clientes a través de un broker central. Fue

diseñado para ser simple y fácil de implementar. La arquitectura MQTT está basada en ese broker, y utiliza una conexión TCP de larga duración de salida al broker. Además, MQTT utiliza el método de “publicación/suscripción” para el transporte de mensajes y está orientado a redes grandes con dispositivos pequeños que necesitan la supervisión de un servidor en la Internet. [13] [16]

4.4.2. CoAP

El Protocolo de Aplicación Restringida (CoAP), es un protocolo de transferencia de documentos de Internet basado en el modelo cliente/servidor similar al HTTP, pero diseñado para dispositivos con restricciones. Un sensor es típicamente un "servidor" de la información y el "cliente" el consumidor que también puede alterar sus estados. Este protocolo es compatible con un protocolo one-to-one para la transferencia de información de estado entre el cliente y el servidor. [13] [16]

CoAP utiliza UDP y soporta direccionamiento broadcast y multicast, por lo tanto, no es compatible con TCP. La comunicación CoAP se llevan a través de datagramas sin conexión, y puede ser usada por encima de SMS y otros protocolos de comunicaciones basados en paquetes. CoAP soporta la negociación y el descubrimiento de contenido, permitiendo que los dispositivos se sondeen entre sí para encontrar la manera de intercambiar datos. CoAP fue diseñado para la interoperabilidad con la red y admite una comunicación asíncrona. [13]

4.4.3. AMQP

El Protocolo de Colas de Mensajes Avanzado (AMQP) es un protocolo de mensaje centrado en un broker que trabaja en la capa de aplicación y que surgió del sector financiero con el objetivo de sustituir los sistemas de mensajería propietarios y que no eran interoperables. Las características clave de AMQP son la orientación a mensajes, colas, enrutamiento, fiabilidad y seguridad. El descubrimiento se hace a través del intermediario. [13]

Proporciona un flujo controlado, la comunicación orientada a mensajes garantiza la entrega de mensajes en las siguientes situaciones: más de una vez, por lo menos una vez y exactamente una vez, además de la autenticación y/o cifrado basado en SASL y/o TLS. [17]

4.4.4. JMS

El Servicio de Mensajes Java (JMS) es una API que funciona como middleware para crear, leer, enviar y recibir mensajes entre dos o más clientes, basada en la Java Enterprise Edition. Esto suponía separar las funciones de la capa de aplicación y transporte y permitir que las comunicaciones entre los diferentes componentes de una aplicación distribuida sean fácilmente acoplados, fiables y asíncronas a través de TCP/IP. [13]

JMS es compatible tanto con el modelo punto a punto como el de publicación/suscripción utilizando la cola de mensajes y suscripciones duraderas. El control de suscripción es a través de temas y colas con el filtrado de mensajes. El descubrimiento es a través del intermediario (servidor). Las mismas clases de Java pueden ser utilizados para comunicarse con diferentes proveedores de JMS mediante el uso de la interfaz Java Naming y Directory para el proveedor deseado. [13] [16]

4.4.5. DDS

DDS es un lenguaje de middleware centrada en los datos que es utilizados para permitir escalabilidad, transmisión en tiempo real, fiabilidad, alto rendimiento y el intercambio de datos interoperables. [13]

Es un protocolo descentralizado con comunicaciones directas punto a punto entre los editores y suscriptores y fue diseñado para ser independiente del lenguaje y el sistema operativo. DDS envía y recibe datos, eventos, y manda la información en la cabecera del UDP, pero también puede funcionar sobre otros medios de transporte tales como la multidifusión IP, TCP/IP, memoria compartida, etc. DDS soporta conectividad administrada en tiempo real de muchos a muchos y también soporta el descubrimiento automático. [13] [16]

4.4.6. REST

REST es una arquitectura para el diseño de aplicaciones de red usando HTTP simple para lograr conectividad entre máquinas, independientemente del lenguaje y del sistema operativo que se manejen. Fue diseñado como un protocolo punto a punto ligero, cliente/servidor sin estado y además capaz de almacenarse en caché para lograr comunicaciones cliente/servidor (petición/respuesta) simples desde los dispositivos hacia la nube a través de TCP/IP. [13] [16]

El uso de modelo sin estado soportado por HTTP puede simplificar el diseño de servidor y se puede utilizar fácilmente en presencia de los servidores de seguridad, pero puede dar lugar a la necesidad de intercambio de información adicional. Esto no soporta cookies o intercambios de mensajes asíncronas débilmente acoplados de publicación y suscripción. [13]

REST soporta sistemas con más de un millar de nodos y que tan solo al llegar a este número podría afectar negativamente al rendimiento y la complejidad. [17]

4.4.7. XMPP

XMPP es un protocolo de comunicaciones para middleware orientado a mensajes basado en XML. Es un modelo cliente-servidor descentralizado y es utilizado por las próximas aplicaciones de mensajería. Es casi en tiempo real y masivamente escalable a cientos de miles de nodos. [13]

Los datos binarios deben ser codificados en base64 antes de que pueda ser transmitidos en banda. Es útil para los dispositivos con un tráfico grande y potencialmente complicado, y donde se requiere mayor seguridad. Por último, añade nuevas extensiones para mejorar su aplicación a la IoT, incluyendo el servicio de descubrimiento, condensadores para la conexión de sensores y dispositivos de legado, datos de sensores, de control y transporte de XMPP sobre HTTP. [13] [16]

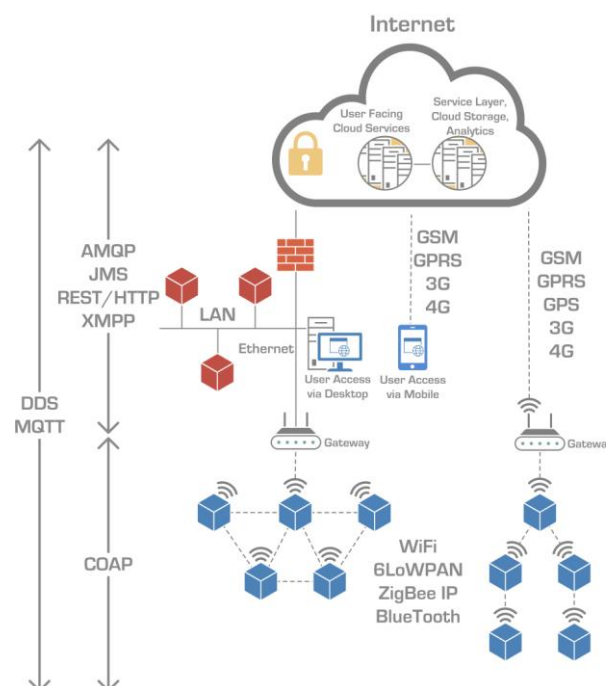


Figura 1 Protocolos de Conectividad en la IoT [17]

4.5. BASES DE DATOS NO RELACIONALES

Las bases de datos no relacionales o también conocidas como NoSQL, son consideradas como las bases de datos del futuro o de la nueva generación; ya que, al no ser relacional, no están sujetas a modelos rígidos de tablas, no usan el SQL como el lenguaje principal de consultas y comúnmente no utilizan relaciones JOIN; lo que conlleva a que tengan grandes ventajas como el tener una estructura distribuida, una escalabilidad horizontal, manejar grandes cantidades de datos (Big-data), alta tolerancia a fallos, redundancia, consistencia eventual, replicación sencilla y muchas más. Un ejemplo de este tipo de base de datos y que se va a utilizar en el proyecto es Mongo DB y que define brevemente a continuación.

4.5.1. Mongo DB

Mongo DB (derivado de la palabra gigantescos) es una familia relativamente nueva de la base de datos que no tiene concepto de tablas, esquemas, SQL, o filas. No soporta transacciones, compatibilidad ACID, joins, claves foráneas, o muchas de las otras características que tienden a causar dolores de cabeza en las bases tradicionales. Mongo DB es una base de datos muy diferente de lo que probablemente se está acostumbrado, especialmente si se ha usado un sistema de gestión de bases de datos relacionales (RDBMS) en el pasado. [18]

Mongo DB es como JSON (JavaScript Object Notation), siendo un modelo que proporciona una forma altamente rica y expresiva de almacenamiento de datos. Por otra parte, JSON describe de manera efectiva todo el contenido de un documento dado, así que no hay necesidad de especificar la estructura del documento de antemano. JSON no requiere un esquema, ya que los documentos se pueden actualizar de forma individual o cambiar independientemente de cualquier otro documento. Como un beneficio adicional, JSON también proporciona un excelente rendimiento, manteniendo todos los datos relacionados en un solo lugar. [18]

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. ARQUITECTURA

En esta etapa inicial se procedió a definir la arquitectura (ver Figura 2) que seguirá este proyecto, donde se especifica cada uno de los protocolos, tecnologías y dispositivos (o elementos) que intervendrán en la implementación del mismo.

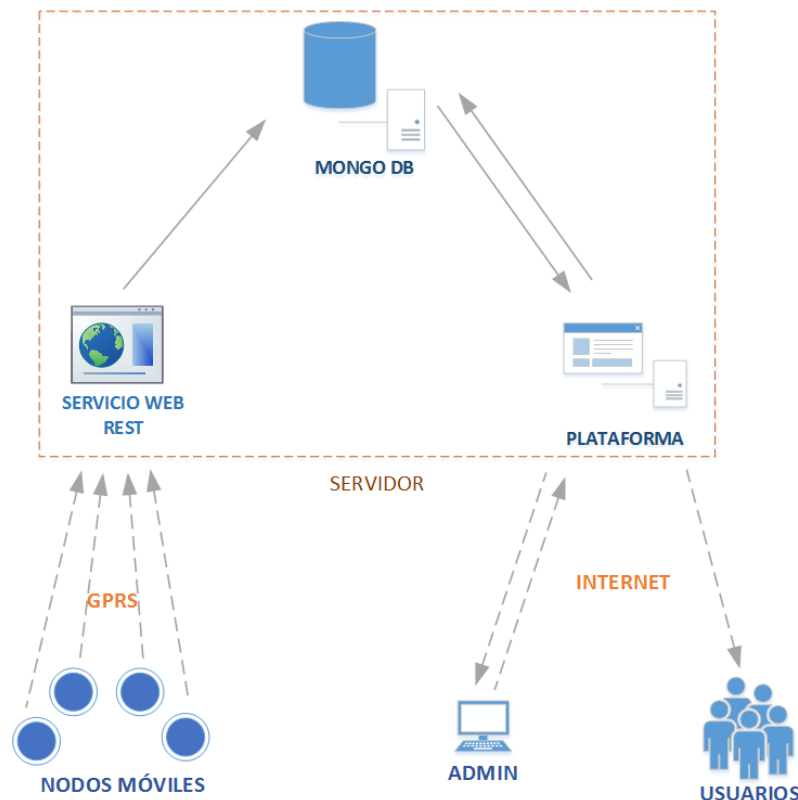


Figura 2 Arquitectura del proyecto

A continuación, se detallan brevemente cada uno de estos:

- **Nodos Móviles:** Se refiere a los dispositivos encargados de censar los valores de temperatura, humedad y CO2 del medio ambiente de la ciudad de Cuenca, y de movilizarse a lo largo de la misma emitiendo sus coordenadas de ubicación y los datos censados en tiempo real hacia un servicio web Rest, para posteriormente ser guardados en una base de datos y ser monitoreados a través de una plataforma web.
- **Red GPRS:** Es el medio de transporte utilizado para el envío de los datos recolectados por el nodo móvil hacia el servicio web REST.

- **Servicio Web REST:** Es el servicio web encargado de establecer conexión con la base de datos y de realizar la inserción de datos sobre la misma. Será consumido por todos los nodos móviles a través de la red GPRS.
- **Mongo DB:** Es la base de datos no relacional encargada de alojar todos los datos recibidos desde los nodos.
- **Plataforma:** Es la encargada de la gestión y monitorización de los nodos y de los datos que éstos recolecten.
- **Administrador:** Es la(s) persona(s) encargada(s) de gestionar o administrar los nodos móviles, los usuarios registrados en el sistema y la información almacenada en la base de datos.
- **Usuarios:** Son las personas que consumirán o harán uso de la información almacenada en la base de datos a través de la plataforma web.

5.2. FASES DE FUNCIONAMIENTO DEL PROYECTO

En esta etapa se definió las fases de funcionamiento que deberá seguir el proyecto para conseguir los resultados esperados y cumplir con los objetivos planteados inicialmente. Para esto se planteó un esquema de funcionamiento (ver Figura 3) en el que se indica la secuencia en la que deben efectuarse y como se relacionan cada una de estas fases con los elementos que intervienen en las mismas.

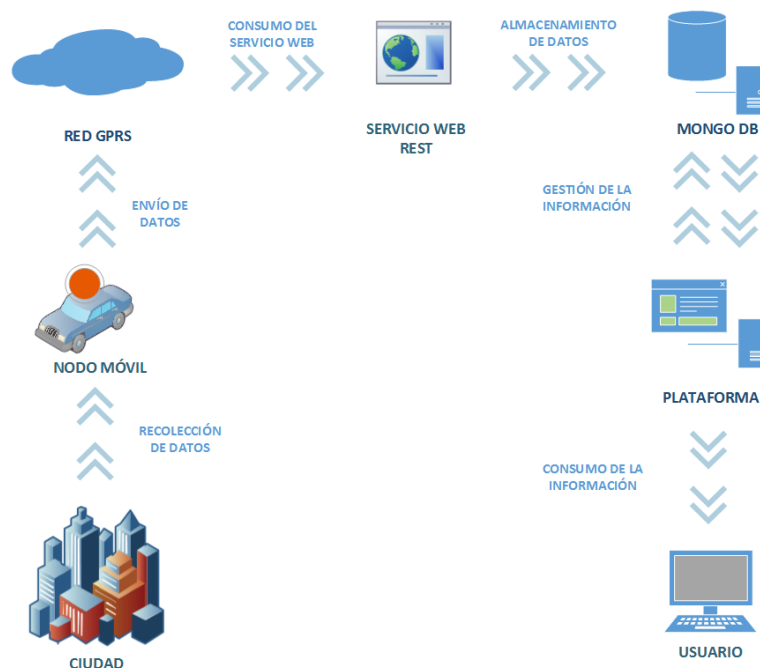


Figura 3 Esquema funcional del proyecto

A continuación, se describe brevemente cada una de las fases que se indican gráficamente en el esquema:

- **Recolección de datos:** En esta primera fase de funcionamiento del proyecto, los nodos móviles tendrán que movilizarse a lo largo de la ciudad de Cuenca censando datos de temperatura, humedad y CO2.
- **Envío de datos:** En esta fase los nodos móviles establecerán conexión con la red GPRS, la misma que servirá como medio de transporte para el envío de los datos censados. Cabe recalcar que se hace uso de esta red precisamente para tener movilidad mientras se realiza el envío de los datos, ya que este es un servicio utilizado por los teléfonos móviles.
- **Consumo del Servicio Web:** Una vez establecida la conexión con la red GPRS, los nodos móviles empezarán a consumir el servicio web Rest, el mismo que será el encargado de establecer una conexión con la base de datos Mongo DB.
- **Almacenamiento de Datos:** En esta cuarta fase, el servicio web Rest empezará a realizar la inserción de todos los datos que recibe de los nodos móviles en las colecciones creadas por cada nodo en la base de datos Mongo DB.
- **Gestión de la Información:** En esta fase la plataforma web establece conexión con la base de datos para realizar consultas sobre toda la información recolectada por los nodos móviles, bajo distintos parámetros que pueden ser establecidos a través de las interfaces web que utilizarán los usuarios. Además, se podrá gestionar los datos principales de los nodos creados en la plataforma y de los usuarios que podrán administrar la misma.
- **Consumo de la Información:** En esta última fase, tanto el administrador como los usuarios clientes podrán consumir la información almacenada en la base de datos de distintas maneras, como, por ejemplo: de forma gráfica, por medio reportes de datos diarios, semanales, mensuales, etc. Además, podrán monitorear los nodos en tiempo real, teniendo la posibilidad de consultar los datos censados y su ubicación exacta mientras estos se encuentran desplazándose en la ciudad.

5.3. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LOS NODOS MÓVILES

En esta segunda etapa se procedió a definir la construcción e implementación de los nodos móviles para la recolección de los datos, considerando los mecanismos y métodos adecuados para lograr una captura y envío de datos de manera rápida y eficiente, de tal manera que los datos sean consumidos por los usuarios a través de la plataforma web en tiempo real.

Entre las funcionalidades que tendrán estos nodos móviles están: generar sus coordenadas de ubicación para poder geo posicionarse, para lo cual necesitarían un módulo GPS; recolectar datos de humedad y temperatura por medio de un sensor que se encarga de detectar estas dos variables; censar los niveles de CO2 por medio de un sensor especializado y por último conectarse a la red GPRS para el envío de información a través de esta red celular, para lo cual utilizará una placa GSM/GPRS. Todo esto se realizará de forma simultánea cada cierto tiempo y se vería reflejado en la plataforma web en tiempo real.

5.3.1. Nodo base para establecer conexión con la red GPRS

Este nodo estará compuesto principalmente de una placa Arduino Mega 2560 que estará directamente conectado a un módulo Arduino GSM/GPRS Shield (ver Figura 4), el cual deberá contener un chip de alguna operadora de telefonía móvil para lograr el registro del nodo móvil en la red GPRS, conectarse a la misma y así poder realizar el envío de datos hacia el servicio web Rest, siendo este último el encargado de registrarlos en la base de datos (Mongo DB). Se lo ha denominado “nodo base” debido a que sobre éste se montará los distintos circuitos que permitirán llevar a cabo las funcionalidades ya mencionadas.

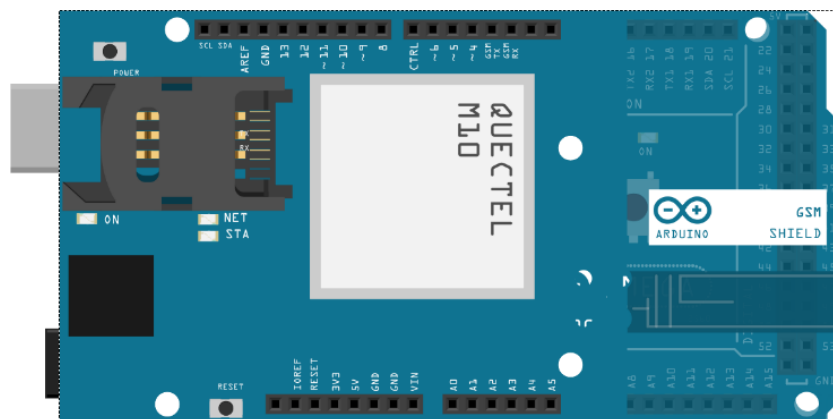


Figura 4 Nodo base para la implementación de los Nodos Móviles

```
COM4 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)
GSM Shield testing.
status=READY
status=ATTACHED
```

Figura 5 Registro del Nodo en la red GPRS

5.3.2. Geo Posicionamiento

Esta funcionalidad es primordial en el caso de nuestro nodo ya que su principal característica es el tener movilidad; es decir el nodo tendrá la posibilidad de estar en movimiento a lo largo y ancho de toda la ciudad realizando su labor de recolección de datos y como ya se explicó en apartados anteriores, mientras éste realiza su trabajo, el usuario debe tener la posibilidad de monitorear su desplazamiento por medio de la plataforma web y además de conocer la ubicación de donde se recolectó cada uno de los resultados registrados, por lo que las coordenadas obtenidas en su recorrido no solo servirán para el monitoreo de la ubicación del mismo sino también para el registro de información en la base de datos.

Para lograr tener geo posicionamiento del nodo móvil necesitaremos de un módulo GPS que será conectado al nodo base por medio de los pines 5V y GND correspondientes al módulo Arduino GSM/GPRS Shield y los pines 50 – 51 de la placa Arduino MEGA 2560 (ver Figura 6) y por supuesto programar la lectura de las coordenadas en la placa Arduino MEGA 2560.

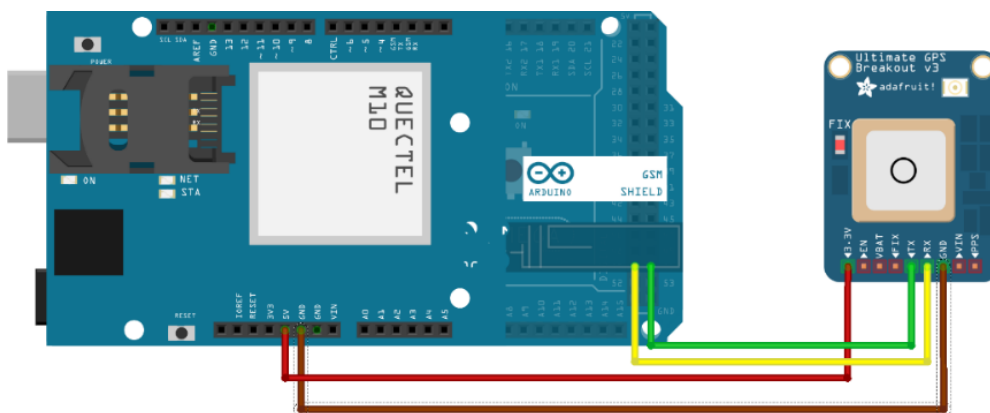


Figura 6 Esquema de conexión del Módulo GPS

COM4 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)

```

Testing TinyGPS library v. 13
by Mikal Hart

```

Sats	HDOP	Latitude (deg)	Longitude (deg)	Fix Age	Date	Time	Date Age	Alt (m)	Course --- from GPS	Speed ----	Card	Distance ---- to London	Course ----	Card	Chars RX	Sentences RX	Checksum Fail	
****	****	*****	*****	****	*****	*****	****	*****	*****	****	*****	*****	****	*****	****	0	0	0
7	149	-2.893001	-79.003585	675	09/02/2016	04:50:29	693	2572.000.00	0.13	N	9497	37.78	NE	471	2	0	0	
7	149	-2.893001	-79.003585	749	09/02/2016	04:50:30	766	2571.800.00	0.59	N	9497	37.78	NE	942	4	0	0	
7	149	-2.893001	-79.003585	822	09/02/2016	04:50:31	841	2571.700.00	0.65	N	9497	37.78	NE	1421	6	0	0	
7	149	-2.893001	-79.003593	913	09/02/2016	04:50:33	93	2571.500.00	0.43	N	9497	37.78	NE	2157	10	0	0	
7	149	-2.893003	-79.003585	162	09/02/2016	04:50:34	225	2571.300.00	0.37	N	9497	37.78	NE	2826	12	0	0	
7	149	-2.893002	-79.003593	350	09/02/2016	04:50:35	367	2571.600.00	0.57	N	9497	37.78	NE	3297	14	0	0	

Figura 7 Obtención de coordenadas del módulo GPS

5.3.3. Recolección de datos de temperatura y humedad

Otra funcionalidad no menos importante es la obtención de la temperatura y humedad del medio ambiente, para esto usaremos un mismo sensor que se encargará de medir estos dos parámetros a la vez. Por cuestiones de análisis se ha utilizado dos tipos de sensores: el DHT11 y el DHT22, ambos realizan la misma función (medir temperatura y humedad), con la diferencia que el DHT22 es mucho más preciso; entonces, con los datos obtenidos podremos revisar en cuánto difiere el valor obtenido de cada uno de éstos parámetros y realizar comparaciones de los valores registrados por ambos sensores.

Para lograr obtener la medición tanto de la temperatura como de la humedad se ha conectado cada uno de los sensores a los pines 5V, GND y 22 de la placa principal Arduino MEGA 2560 (ver Figura 8 y 9) y por último programar la lectura y registro de estos datos en la placa Arduino MEGA 2560.

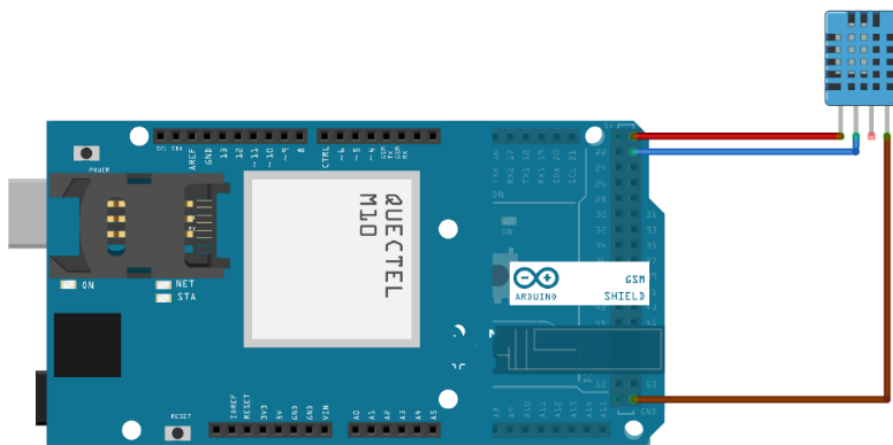


Figura 8 Esquema de conexión del sensor DHT11

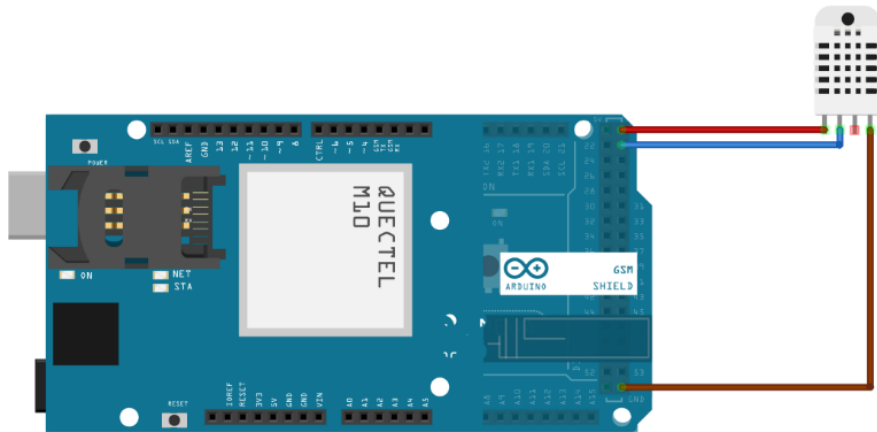


Figura 9 Esquema de conexión del sensor DHT22

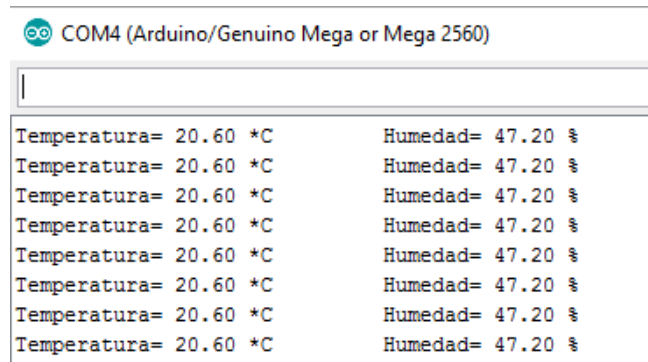


Figura 10 Obtención de datos de temperatura y humedad

5.3.4. Recolección de datos de los niveles de CO2

La medición de los niveles de CO2 del medio ambiente se realizará por medio del sensor +MG811 (ver Figura 11), que en la actualidad es el sensor con mayor precisión y exactitud que existe en el mercado. Este sensor necesita ser calibrado para lograr tener mediciones precisas y exactas con un rango de error mínimo, por lo que se recomienda leer el datasheet del mismo antes de ponerlo en funcionamiento.

Para lograr obtener la medición de CO2 (ver Figura 12) se requiere que nuestro sensor se conecte a los pines A0 (módulo Arduino GSM/GPRS Shield), 2, 5V y GND (correspondientes al Arduino MEGA 2560) y por último programar la lectura y registro de estos datos en la placa Arduino MEGA 2560.

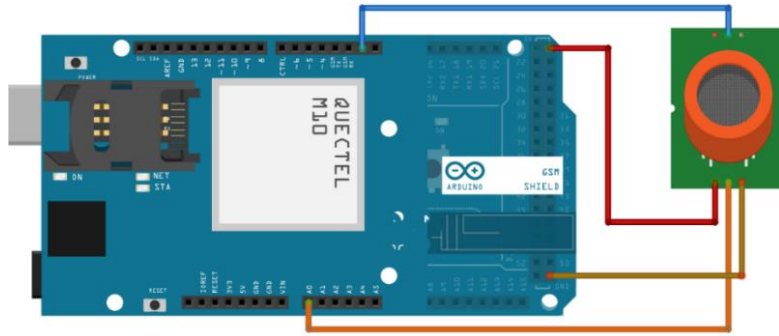


Figura 11 Esquema de conexión del sensor +MG811

```

COM4 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)

MG-811 Demonstration
SEN-00007:0.68V      CO2:800ppm
=====BOOL is LOW=====
SEN-00007:0.68V      CO2:800ppm
=====BOOL is LOW=====
SEN-00007:0.68V      CO2:809ppm
=====BOOL is LOW=====
SEN-00007:0.68V      CO2:800ppm
-----

```

Figura 12 Obtención de los niveles de CO2

5.3.5. Implementación completa de un Nodo Móvil

En los puntos anteriores se pudo ver como se montaron cada uno de los módulos y sensores necesarios para obtener las funcionalidades correspondientes. En esta apartado en cambio se muestra el bosquejo de cómo quedaría el nodo completamente armado (ver Figura 13) y efectuando todas las operaciones que se plantearon anteriormente (ver Anexo 2).

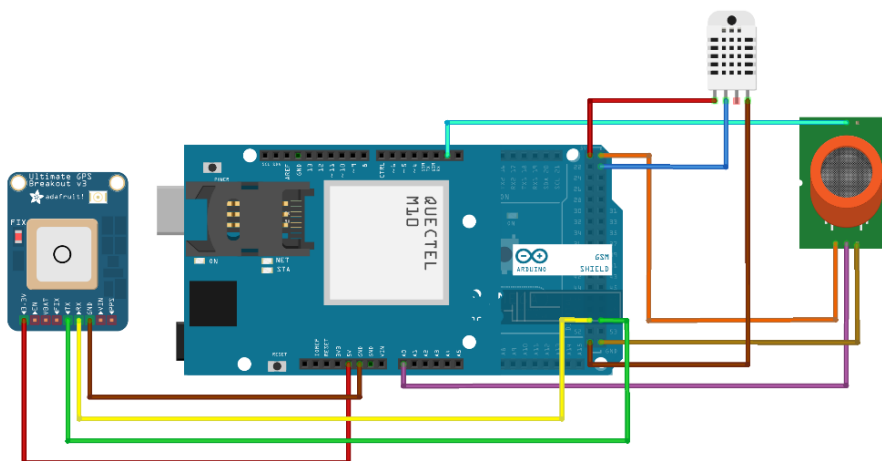


Figura 13 Esquema de un Nodo Móvil completamente implementado

```
COM4 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)

status=READY
status=ATTACHED
Latitud= -2.893022 Longitud= -79.003524 Temperatura= 20.50*C Humedad= 46.80% Contaminacion= 947ppm
Consumiendo el Webservice Rest...
Numero de datos recibidos= 49
```

Figura 14 Funcionamiento del Nodo Móvil con todas sus funcionalidades

5.4. SERVICIO WEB REST

Siendo REST uno de los protocolos más utilizados por el Internet de las Cosas (IoT) debido a su alto rendimiento y facilidad de uso e implementación, se estableció que era el protocolo más conveniente para este proyecto, ya que se tiene esperado que en la plataforma se manejen muchos más nodos de los que ahora se están manejando y REST soporta sistemas con miles de nodos que pueden consumir el servicio web simultáneamente.

El servicio web que se implementó para este caso en específico, se encarga de establecer una conexión con la base de datos Mongo DB para luego realizar la inserción de datos sobre la misma. Es decir, el servicio web recibe los datos de todos los nodos que se encuentran trabajando en la ciudad y los inserta en la base de datos. A continuación, se muestra el consumo del servicio REST a través de un navegador web:



Figura 15 Servicio Web REST en ejecución



Figura 16 Inserción de datos a través del servicio web REST

```
{
  "Nodos": [
    {
      "contaminacion": "414.0",
      "fecha": "28/07/2016 16:37:31",
      "hora": "2016-07-28T11:37:31.961-05:00",
      "humedad": "40.4",
      "lat": "-2.8929239",
      "lng": "-79.003525",
      "nombre": "NodoA",
      "temperatura": "19.7"
    },
    {
      "contaminacion": "423.0",
      "fecha": "28/07/2016 16:37:52",
      "hora": "2016-07-28T11:37:52.598-05:00",
      "humedad": "42.9",
      "lat": "-2.8929239",
      "lng": "-79.003525",
      "nombre": "NodoA",
      "temperatura": "19.8"
    },
    {
      "contaminacion": "446.0",
      "fecha": "28/07/2016 16:40:01",
      "hora": "2016-07-28T11:40:01.484-05:00",
      "humedad": "40.7",
      "lat": "-2.8929239",
      "lng": "-79.003525",
      "nombre": "NodoA",
      "temperatura": "19.9"
    },
    {
      "contaminacion": "398.0",
      "fecha": "28/07/2016 16:40:22",
      "hora": "2016-07-28T11:40:22.182-05:00",
      "humedad": "40.2",
      "lat": "-2.8929239",
      "lng": "-79.003525",
      "nombre": "NodoA",
      "temperatura": "19.9"
    },
    {
      "contaminacion": "398.0",
      "fecha": "28/07/2016 16:40:43",
      "hora": "2016-07-28T11:40:43.046-05:00",
      "humedad": "40.0",
      "lat": "-2.8929239",
      "lng": "-79.003525",
      "nombre": "NodoA",
      "temperatura": "19.9"
    },
    {
      "contaminacion": "398.0",
      "fecha": "28/07/2016 16:41:03",
      "hora": "2016-07-28T11:41:03.606-05:00",
      "humedad": "40.0",
      "lat": "-2.8929239",
      "lng": "-79.003525",
      "nombre": "NodoA",
      "temperatura": "19.9"
    },
    {
      "contaminacion": "398.0",
      "fecha": "28/07/2016 16:41:24",
      "hora": "2016-07-28T11:41:24.306-05:00",
      "humedad": "39.9",
      "lat": "-2.8929239",
      "lng": "-79.003525",
      "nombre": "NodoA",
      "temperatura": "19.9"
    },
    {
      "contaminacion": "398.0",
      "fecha": "28/07/2016 16:41:51",
      "hora": "2016-07-28T11:41:51.426-05:00",
      "humedad": "39.9",
      "lat": "-2.8929239",
      "lng": "-79.003525",
      "nombre": "NodoA",
      "temperatura": "19.9"
    },
    {
      "contaminacion": "398.0",
      "fecha": "28/07/2016 16:42:12",
      "hora": "2016-07-28T11:42:12.128-05:00",
      "humedad": "39.8",
      "lat": "-2.8929239",
      "lng": "-79.003525",
      "nombre": "NodoA",
      "temperatura": "19.9"
    },
    {
      "contaminacion": "398.0",
      "fecha": "28/07/2016 16:42:12",
      "hora": "2016-07-28T11:42:12.128-05:00",
      "humedad": "39.8",
      "lat": "-2.8929239",
      "lng": "-79.003525",
      "nombre": "NodoA",
      "temperatura": "19.9"
    }
  ]
}
```

Figura 17 Consulta de datos ingresados por los nodos móviles

5.5. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA WEB

Debido a que existe la necesidad de gestionar la información registrada por los nodos móviles y de monitorear la movilización de cada uno de ellos en la ciudad de Cuenca, se pensó en desarrollar una plataforma web denominada “SmartCuenca”, que además de cubrir las dos necesidades principales ya mencionadas, será capaz de: obtener reportes de los datos registrados de cada uno de los nodos móviles que se encuentren montados en la ciudad bajo diversos criterios, realizar gráficas estadísticas por cada uno de los factores que se hayan censado (temperatura, humedad y Co2) y llevar a cabo la administración de los nodos móviles existentes y de los usuarios que vayan a gestionar la misma.

Esta plataforma fue desarrollada principalmente con el lenguaje de programación JAVA, complementándose con los lenguajes JSF y JavaScript para obtener muchas de las funcionalidades de la misma.

5.5.1. Base de Datos

Dado que la plataforma llegará a administrar una gran cantidad de datos (Big Data) ya que el crecimiento de la base de datos en este tipo de sistemas es exponencial, se ha pensado en una estructura de datos óptima (ver Figura 18), que permita al usuario de la plataforma consumir la información de forma rápida y eficiente, sin presentar retardos en las consultas que éste realice (como por ejemplo, realizar gráficas estadísticas con todos los datos recolectados o realizar reportes de la información bajo diversos criterios o periodos de tiempo), y peor aún presentar latencia en la monitorización (geo localización) de los nodos cuando éstos se encuentren en movimiento puesto que se requiere que su ubicación se vea reflejada en tiempo real en la plataforma.

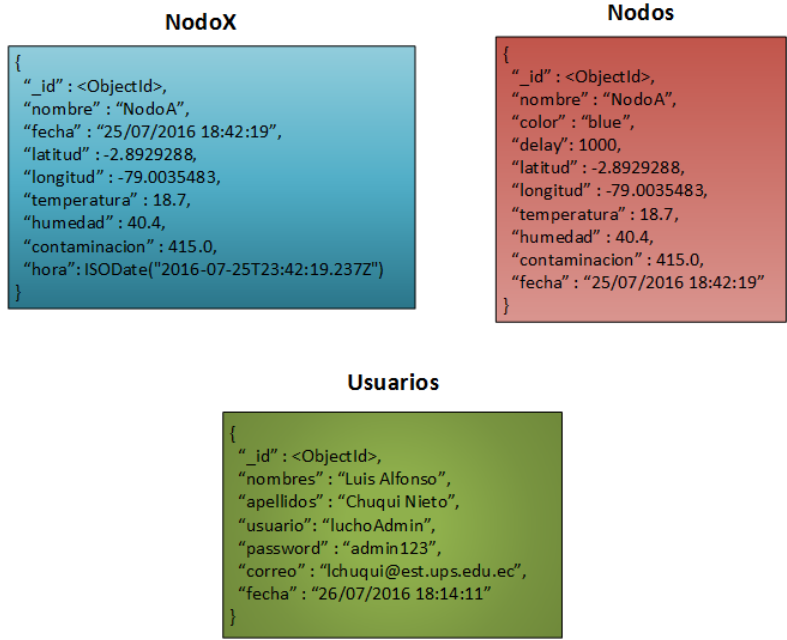


Figura 18 Diagramas de Colecciones a manejar en Mongo DB

5.5.2. Diagramas UML

Casos de uso.

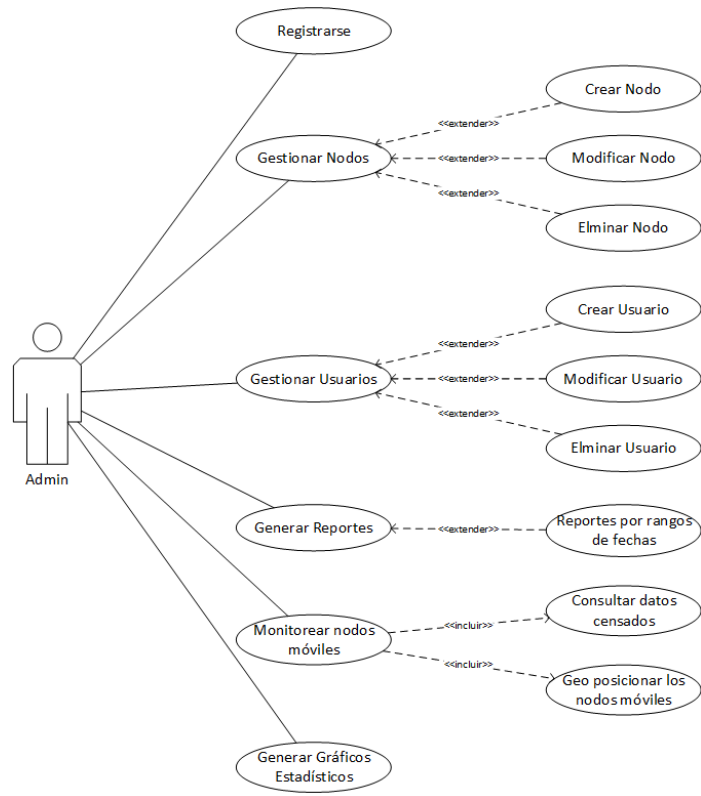


Figura 19 Diagramas de Casos de Uso del Administrador

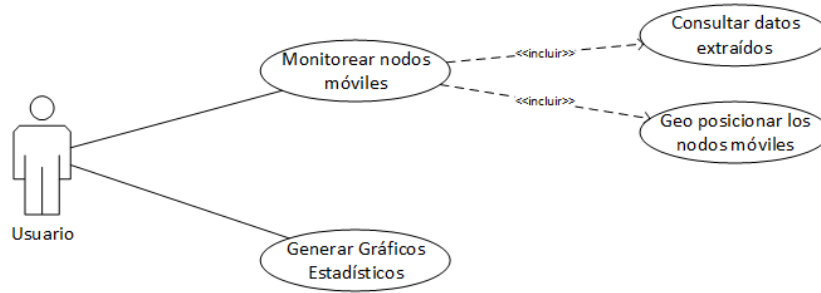


Figura 20 Diagramas de Casos de Uso del Usuario

5.5.3. Interfaces Gráficas

A continuación, se explicará a breves rasgos cada una de las interfaces gráficas implementadas en la plataforma web que gestiona los nodos registrados en el sistema, su geo localización y la información recolectada por cada uno de ellos, además de los usuarios que harán uso de la plataforma.

a) Interfaces de un Usuario Cliente

- **Interfaz principal**

Esta interfaz se mostrará a todos los usuarios que visiten la plataforma (ver Figura 21), es decir será un interfaz de uso común entre cualquier persona que visite la misma.

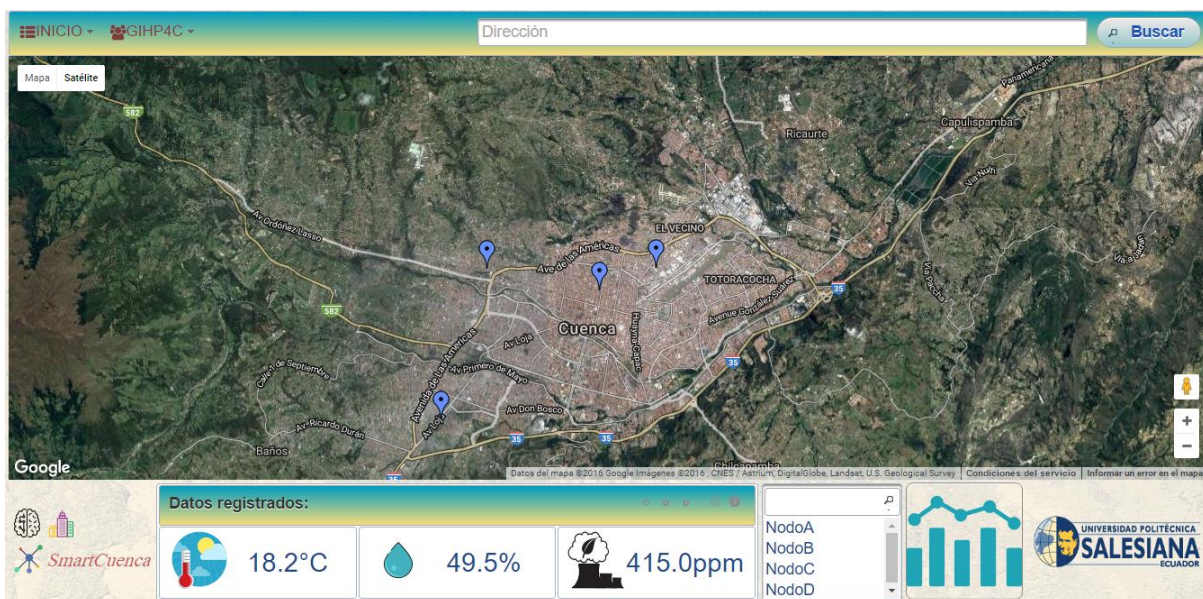


Figura 21 Interfaz principal de la plataforma “SmartCuenca”

- **Menú principal**

Este menú presenta tres opciones: el submenú 'Inicio', el submenú 'GIHP4C' y el cuadro de texto 'Dirección' junto con un botón 'Buscar' (ver Figura 22).



Figura 22 Menú principal de la interfaz de usuario cliente

En la primera opción tenemos 'Iniciar sesión' (ver Figuras 23 y 24), la cual nos permitirá acceder a las opciones de administrador de la plataforma.



Figura 23 Opciones del submenú 'Inicio'

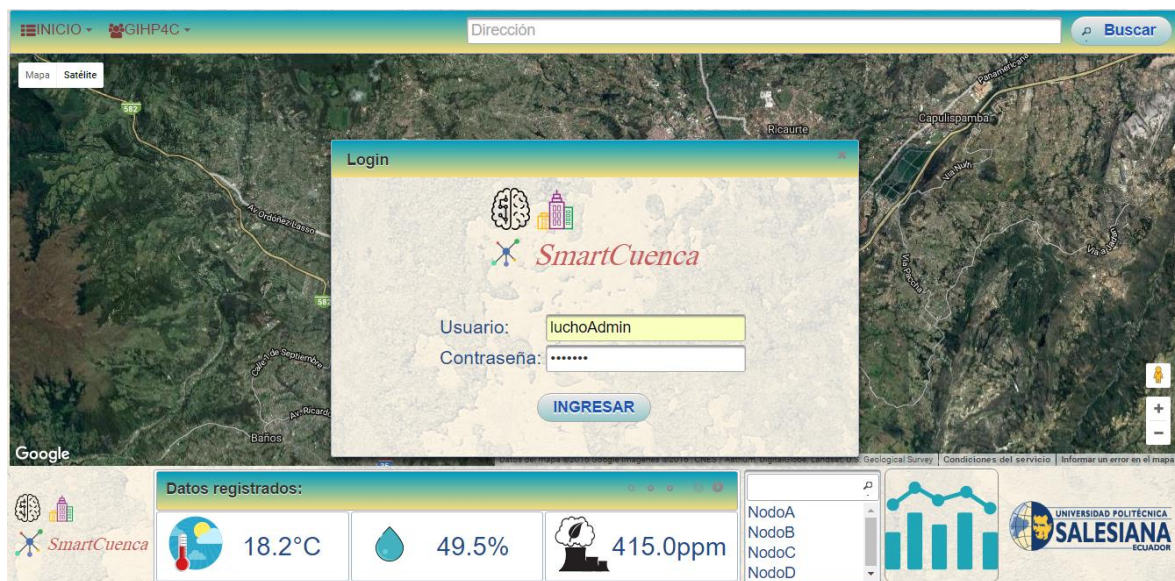


Figura 24 Interfaz de Inicio de Sesión

En la segunda opción tenemos las opciones 'Información' y 'Facebook' (ver Figura 25), las cuales nos dirigen a páginas informativas del grupo de investigación.

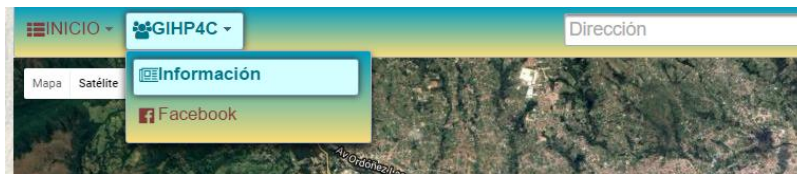


Figura 25 Opciones del submenú 'GIHP4C'

La tercera opción nos es más que un buscador de direcciones (ver Figura 26) que nos facilitará la ubicación de los nodos de manera rápida y precisa.

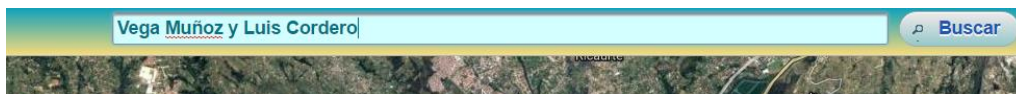


Figura 26 Buscador de Direcciones

- **Panel informativo**

Este panel informativo ubicado en la parte inferior de la interfaz principal del usuario (ver Figura 27) consta de cinco partes: la primera, que muestra el logotipo del proyecto; la segunda, presenta los datos recolectados por el nodo inteligente en tiempo real; la tercera, un listado de todos los nodos registrados por el sistema; la cuarta, un botón con un ícono de gráficas; y la quinta, que muestra el logotipo de la universidad.



Figura 27 Panel informativo

Este panel informativo mostrará los datos censados de cada uno de los nodos que se presentan en el listado, cabe recalcar que debido a que los datos están siendo recolectados en tiempo real, en caso de que exista algún tipo de variación en el lugar en el que se encuentre el nodo inteligente, estos cambios se verán reflejados de inmediato en este panel.

- **Gráficas estadísticas**

Esta es una de las funcionalidades más importantes de la plataforma ya que nos permite revisar gráficas estadísticas de todos los datos registrados por cada uno de los nodos inteligentes que se encuentran ubicados en la ciudad, permitiendo al usuario tener un panorama más claro de la variación de los distintos parámetros censados (temperatura, humedad y contaminación) a través del tiempo. Esta opción se activará únicamente al momento de seleccionar el nodo del cual se desea revisar la gráfica (ver Figura 28).



Figura 28 Botón que nos dirige a las gráficas estadísticas de un nodo específico

Al presionar el botón ‘Gráficas’, inmediatamente se nos presenta una página (ver Figura 29) que contiene las gráficas de cada uno de los parámetros censados (temperatura, humedad y contaminación).

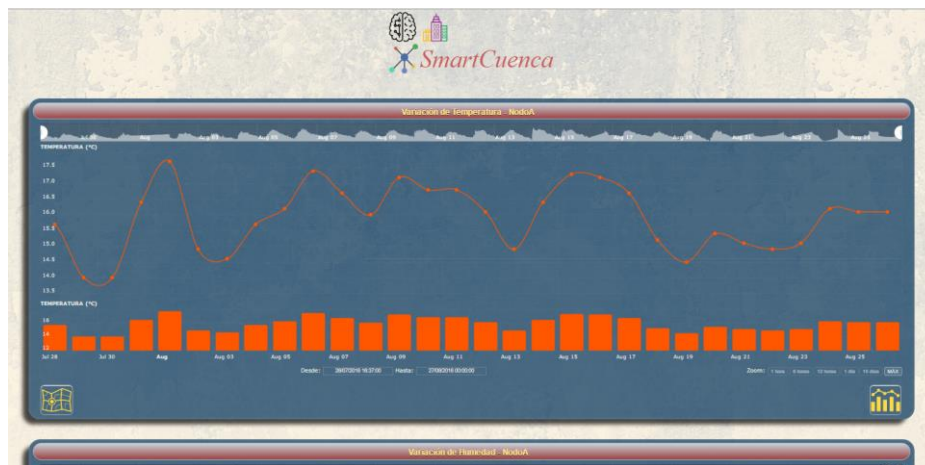


Figura 29 Gráficas por Nodo

Las gráficas presentan en la parte superior un scroll que permite al usuario desplazarse a través del eje de tiempo (ver Figura 30) y revisar la variación de los distintos parámetros censados en periodos de tiempo que van desde segundos hasta el rango más alto que será el total de tiempo en el que los nodos móviles han estado recolectando datos.



Figura 30 Gráfica de variación de Temperatura

En la parte inferior de las gráficas se presenta unos cuadros de texto en los que el usuario puede ingresar de manera específica la fecha y hora en la que desea visualizar la variación de los datos (ver Figura 31), también se presenta unos botones que establecen periodos de tiempo predefinidos para visualizar los datos gráficamente de manera instantánea.

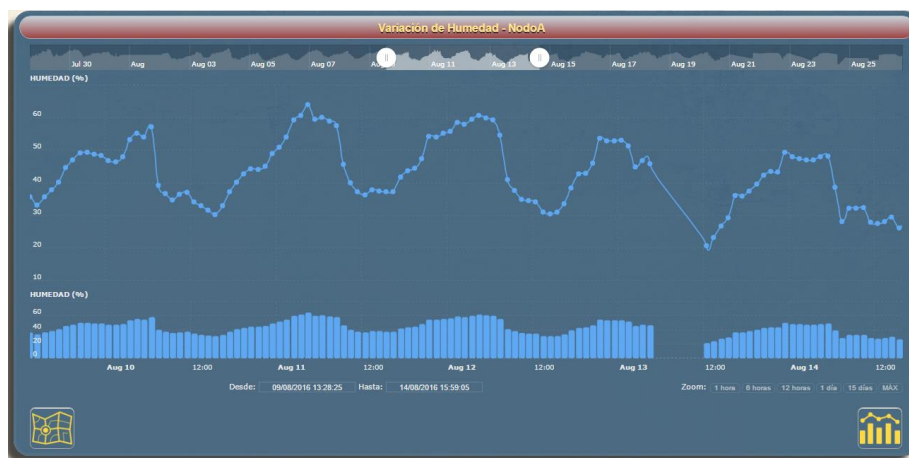


Figura 31 Gráfica de variación de Humedad

Por último, se muestran dos botones: el de la izquierda, que nos dirige a la página principal de la plataforma y el de la derecha, que nos dirige a un gráfico estadístico que permite comparar los datos registrados por el nodo que se encuentra en uso y del parámetro (temperatura, humedad, contaminación) que se está visualizando en ese instante, con los datos registrados por los demás nodos en función del mismo parámetro, que en este caso es la contaminación (ver Figura 32).



Figura 32 Gráfica de variación de Contaminación

- **Gráficas estadísticas comparativas**

Esta opción da la posibilidad al usuario de visualizar la gráfica de los datos registrados del nodo seleccionado inicialmente en el panel informativo de la interfaz principal de la plataforma, conjuntamente con las gráficas de los datos registrados de todos los demás nodos móviles que se encuentran en funcionamiento (ver Figura 33), con la finalidad de que el usuario pueda comparar las variaciones de temperatura, humedad y contaminación que se dan en los distintos lugares de la ciudad de Cuenca en los que se encuentren ubicados o por los que se hayan movilizadado cada uno de ellos.

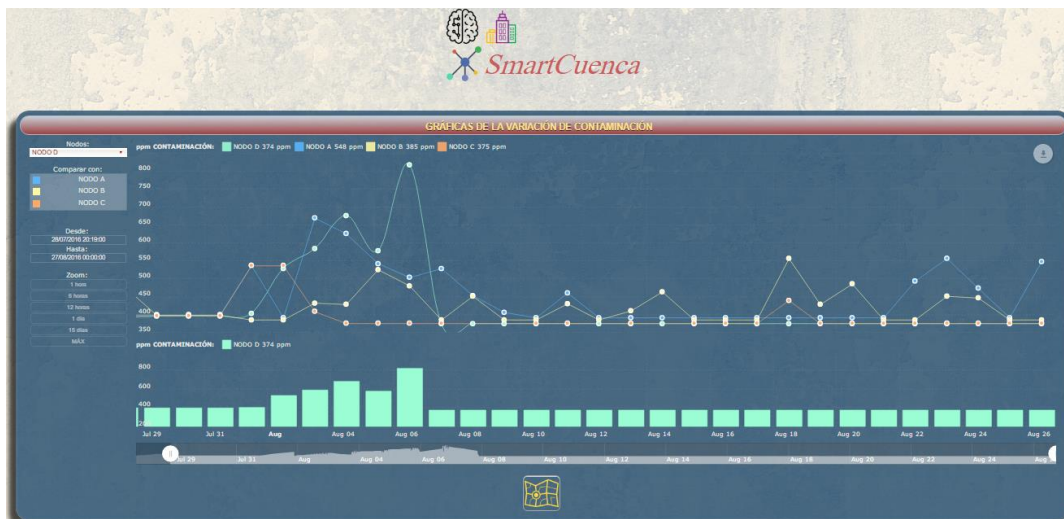


Figura 33 Gráficas estadísticas comparativas

Éstas gráficas al igual que las ‘Gráficas por Nodo’ presenta un scroll, que permiten al usuario desplazarse a través del eje del tiempo y así establecer el periodo de tiempo en el que se desea visualizar la variación del parámetro que se haya seleccionado en la interfaz anterior (en este caso, la contaminación). A diferencia de las gráficas por nodos, el scroll en este caso se muestra en la parte inferior de la gráfica.

En la parte superior izquierda de la gráfica se puede observar: una lista desplegable con todos los nodos existentes en el sistema, debajo se encuentra otra lista en la que se muestran los demás nodos con los que se podrá comparar el nodo escogido en la primera lista, seguido de esto se encuentra unos cuadros de texto en los que el usuario podrá ingresar de manera específica la fecha y hora en el que se desee visualizar la variación del parámetro escogido y por último se muestran botones con periodos de tiempo predefinidos por el sistema para que el usuario lo visualice de manera instantánea.

En la parte superior de la gráfica se muestra un cuadrado por cada nodo escogido en las listas de la izquierda y con un color que los identifique (ver Figura 34), estos cuadrados pueden habilitar o deshabilitar cada una de las gráficas. A lado de cada cuadrado se imprimen los valores más altos registrados por cada nodo en el periodo de tiempo especificado y si se desliza el puntero del mouse sobre las curvas de cada una de las gráficas se irán imprimiendo los distintos valores de cada punto por el que pase el puntero.

Finalmente, en la parte inferior de la gráfica se presenta un botón que nos dirigirá a la interfaz principal de la plataforma.

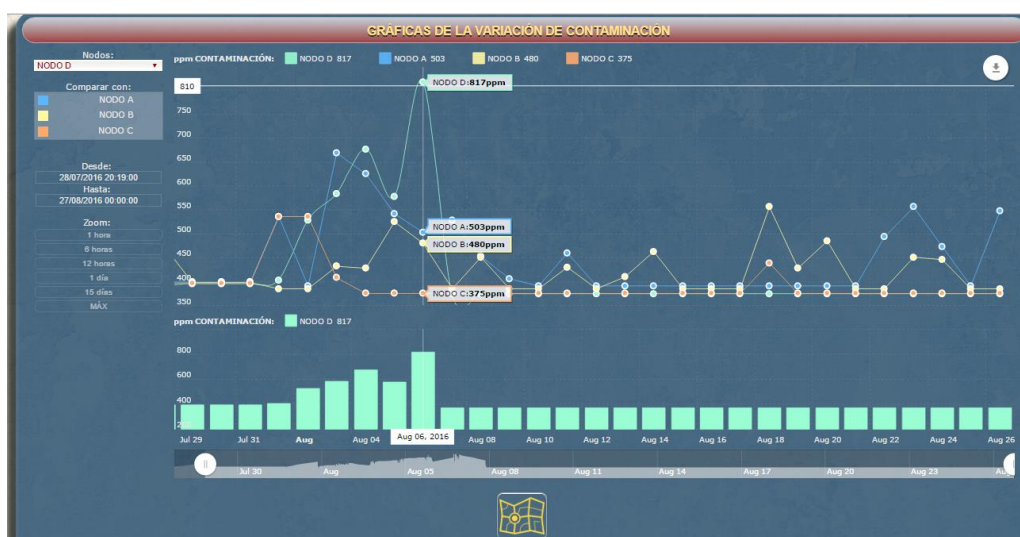


Figura 34 Gráfica comparativa de la variación de los niveles de Contaminación

b) Interfaces de un Usuario Administrativo

- **Interfaz principal**

Para acceder a la interfaz del administrador (ver Figura 35) primero es necesario iniciar sesión desde la interfaz principal de la plataforma, utilizando las credenciales de usuario que estén registradas previamente en la base de datos del sistema.

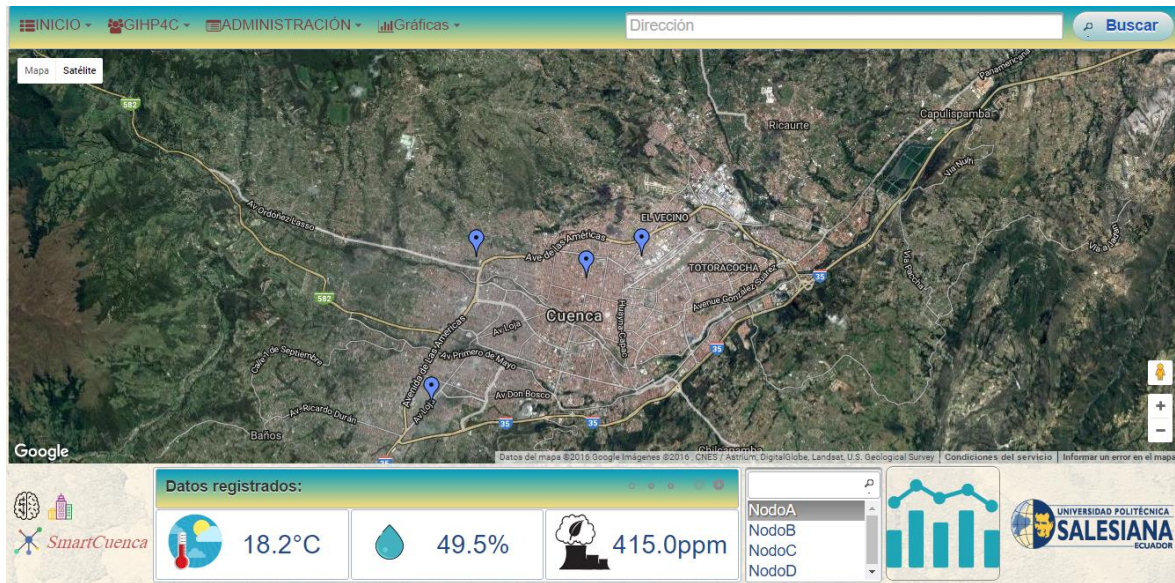


Figura 35 Interfaz principal de Administración

- **Menú principal**

A diferencia del menú del usuario cliente, este presenta el submenú 'Administración' que contiene opciones adicionales que son de exclusivo uso para un usuario administrativo (ver Figura 36). Los demás submenús tienen las mismas funciones que se tienen en las interfaces de un usuario cliente, incluso la opción 'Gráficas' que se agregaron al menú principal para que el administrador pueda acceder a las gráficas comparativas de manera directa.

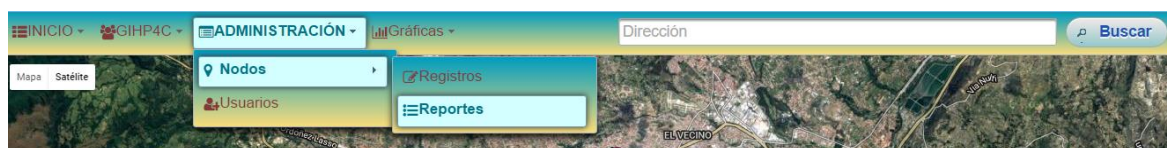


Figura 36 Menú principal de la interfaz de un usuario administrativo

- **Administración de Nodos**

En esta interfaz podremos registrar, modificar, listar y eliminar los nodos que se utilizaran y se monitorearan en la plataforma. Para registrar un nuevo nodo en la plataforma es necesario indicar el nombre con el que se identificará el nodo, el color con el que se mostrará en el mapa y el tiempo de retraso (delay) con el que realizará el envío de datos recolectados.

En la parte inferior se listarán todos los nodos existentes en la plataforma conjuntamente con la fecha en la que fueron creados con las opciones de modificar y eliminar el registro del nodo (ver Figura 37).



Figura 37 Interfaz de Administración de Nodos

- **Reportes de Nodos**

Debido a que existía la necesidad de tener reportes diarios, semanales, mensuales, etc., se propone esta solución (ver Figura 38) en la que el cliente podrá sacar reportes por rangos de fecha y hora según sea su conveniencia y de los nodos que él requiera.

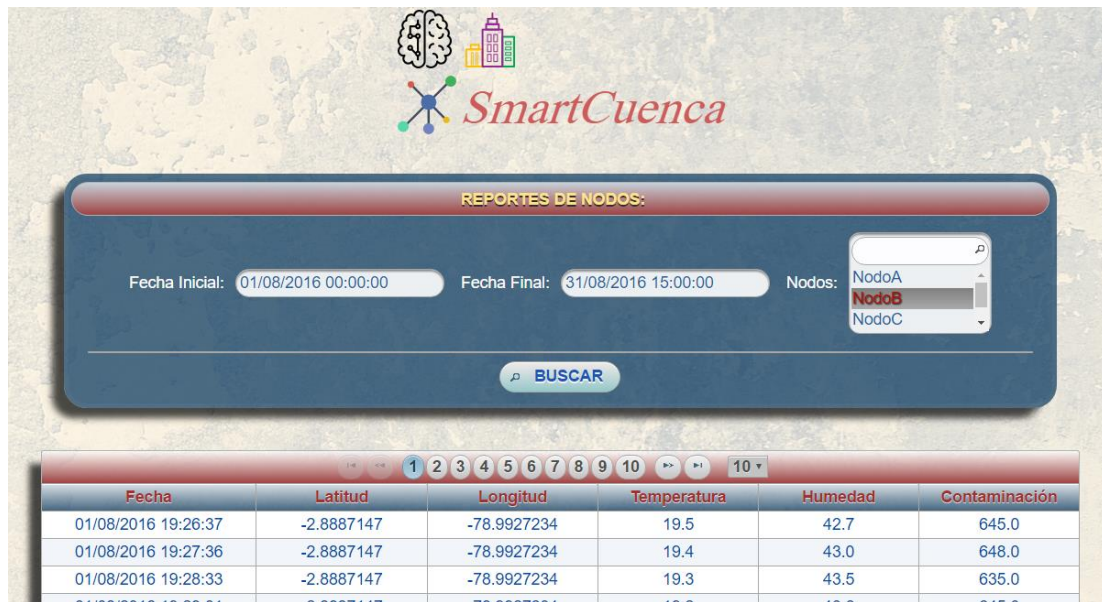


Figura 38 Interfaz de Reportes de Nodos

- **Administración de Usuarios**

En esta interfaz podremos registrar, modificar, eliminar y listar los usuarios que estarán a cargo de la administración de la plataforma. Para registrar un nuevo usuario en la plataforma es necesario ingresar los datos personales principales del mismo.

En la parte inferior se listarán todos los usuarios ya registrados previamente en la plataforma conjuntamente con la fecha en la que fueron registrados con las opciones de modificar y eliminar el registro del usuario (ver Figura 39).

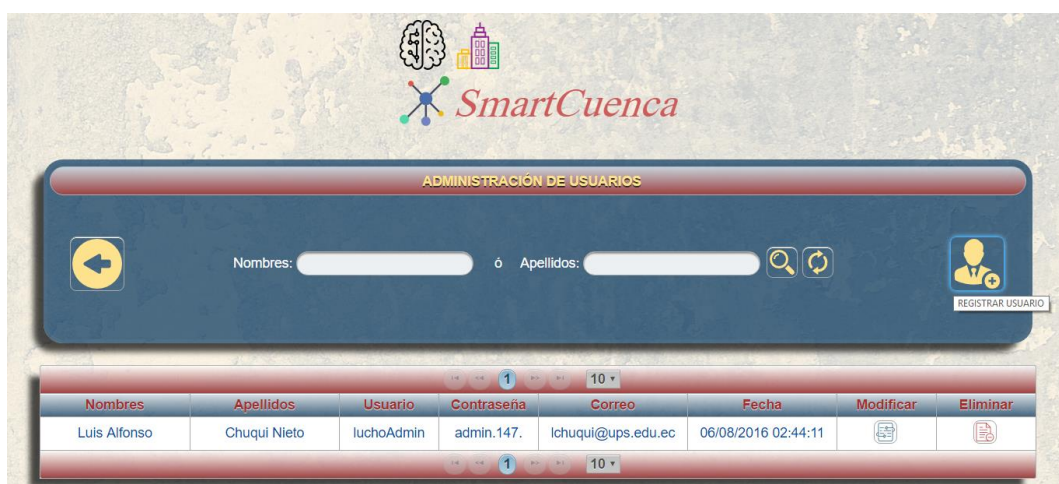


Figura 39 Interfaz de Administración de Usuarios

6. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Para proceder con esta fase de experimentación previamente se desarrolló un ‘Protocolo de Pruebas’ (ver Anexo 1) en el que se especifica de manera detallada la forma en la que se van a llevar a cabo cada una de las pruebas realizadas, la ubicación que tendrán los nodos en la ciudad y el recorrido que realizarán al momento de movilizarse por la misma.

6.1. EXPERIMENTACIÓN

Los cuatro nodos inteligentes que fueron construidos, se instalaron en casas que se encuentran localizadas en distintos sectores de la ciudad de Cuenca, con la finalidad de verificar la variación de los niveles de contaminación en cada uno de estos sectores.

Las ubicaciones exactas de los nodos fueron:

Tabla 1 Ubicación de los nodos móviles para la recolección de datos

Nombre	Dirección	Latitud	Longitud
Nodo A	Vega Muñoz y Luis Cordero	-2.8929239	-79.0035252
Nodo B	De las Alcabalas y Del Obrero.	-2.8887147	-78.9927234
Nodo C	Calle del Tejar y De la Verbena.	-2.8888522	-79.0249405
Nodo D	Luis Santángel y Av. Loja	-2.9175015	-79.0337183

Como se puede observar el Nodo A se encuentra en el centro de la ciudad, en donde existe mucha afluencia de vehículos y autobuses, al igual que el Nodo B que se encuentra a pocas cuadras del Terminal Terrestre de la ciudad y de muchas mecánicas que se encuentran en la zona. En cambio, los Nodos C y D se encuentran ubicados en zonas que no son muy transitadas por vehículos o autobuses.

Los nodos fueron ubicados al aire libre para garantizar la fiabilidad y la precisión de los datos censados y estuvieron configurados para que recolecten y envíen datos cada 20 segundos por los primeros 5 días, luego se cambiaron a cada minuto los nodos A y B y cada 10 minutos, los nodos C y D.

Además, el Nodo C se utilizó también para hacer pruebas de movilidad realizando el recorrido indicado en el protocolo de pruebas (ver Anexo 1).

6.2. RESULTADOS

- **Recolección de información**

El resultado de la recolección de información por parte de los nodos fue exitoso en un 90%, ya que por problemas de la red celular existían caídas en el envío de datos que podían durar de 1 a 4 horas como en el caso del Nodo A (ver Figura 40), o incluso un día entero como en el caso del Nodo C (ver Figura 41).

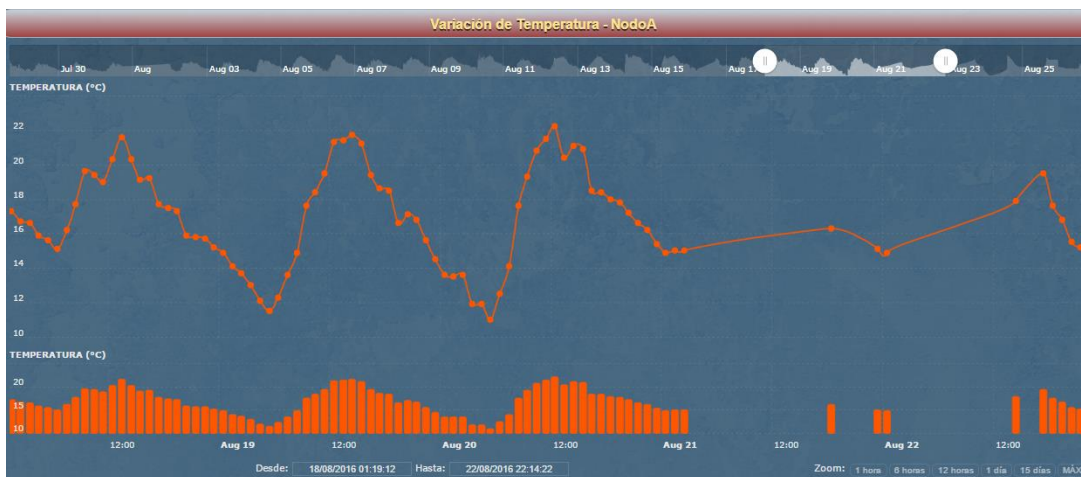


Figura 40 Caída del envío de la información por horas



Figura 41 Caída del envío de la información por un día entero

También se presentaron retrasos en el envío de la información que variaban de 5 a 15 segundos con respecto al delay configurado en cada nodo, esto dependía mucho de la cobertura

de la red, puesto que esta variación es el tiempo que se tomaba el nodo en establecer conexión con la red GPRS.

Otro problema que se presentó, es que el envío de datos se realizaba siempre y cuando el chip utilizado tuviera el saldo suficiente para que pueda acceder a la red GPRS, por lo que un nodo podía dejar de funcionar en el momento en el que su saldo se termine.

- **Movilidad**

En las pruebas de movilidad se presentaron bastantes inconvenientes con los módulos GPS V.2 ya que se tardaba un tiempo bastante considerable para conectarse a uno de los satélites que se encuentran en órbita alrededor del planeta que determinan las coordenadas de ubicación de este módulo, este tiempo variaba de 30 minutos a 2 horas dependiendo del sector en el que el nodo se movilizara, es decir, en este periodo tiempo no se tenían coordenadas de ubicación del nodo.

Con el módulo GPS V.3 se presentó el mismo problema, con la diferencia de que el tiempo que tarda en conectarse a uno de los satélites y obtener coordenadas de ubicación es muchísimo menor al anterior, este tiempo variaba de 10 a 20 minutos y por lo general funciona correctamente en la mayoría del recorrido en el que se realizó las pruebas.

- **Precisión de los datos**

Para el caso de la Temperatura y la Humedad se utilizaron dos sensores diferentes para las pruebas, el sensor DHT22 en los Nodos A - B y el sensor DHT11 en los sensores C - D. Es necesario mencionar que, según las hojas técnicas de los sensores, el sensor DHT22 es mucho más preciso que el DHT11.

En el caso de la Contaminación se usaron los mismos sensores en los 4 nodos, así que los datos censados serán mucho más precisos y coherentes.

Temperatura

Analizando las muestras de un solo día, se puede observar que la variación de temperaturas medidas por el nodo A y B que usan el mismo sensor DHT22 es realmente mínima (ver Figura 42), tomando en cuenta que esta variación puede ser debido a la ubicación de los medidores con respecto al sentido y fuerza del viento que se presenta en cada sector.

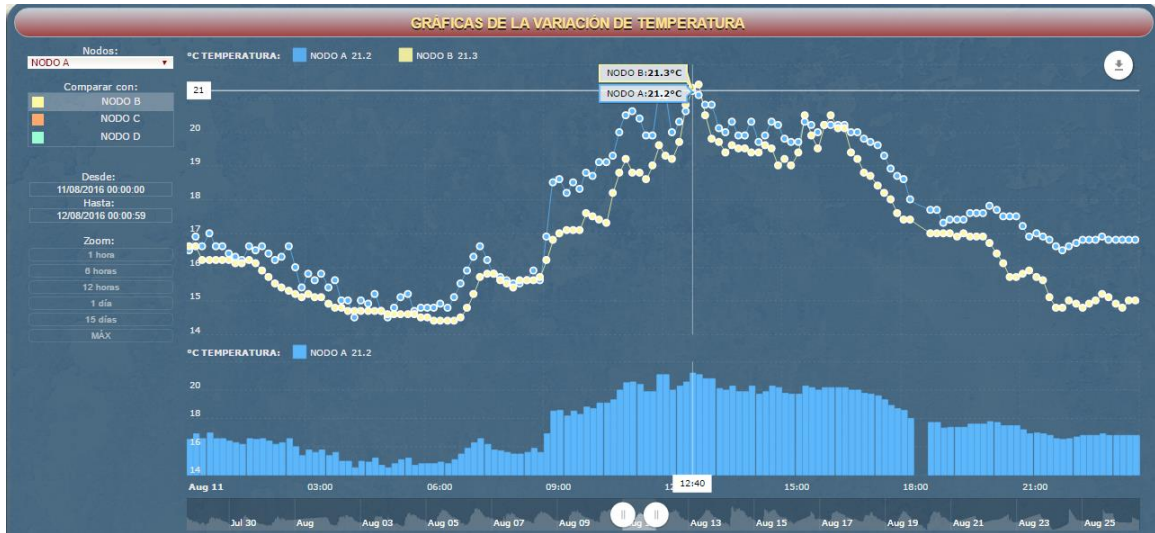


Figura 42 Variación de Temperatura registrado con el sensor DHT22

De igual manera, analizando las muestras del mismo día y a la misma hora en los nodos C y D (ver Figura 43), que usan el sensor DHT11 se puede observar que la variación en sus muestras es un poco más alta que en los nodos anteriores.

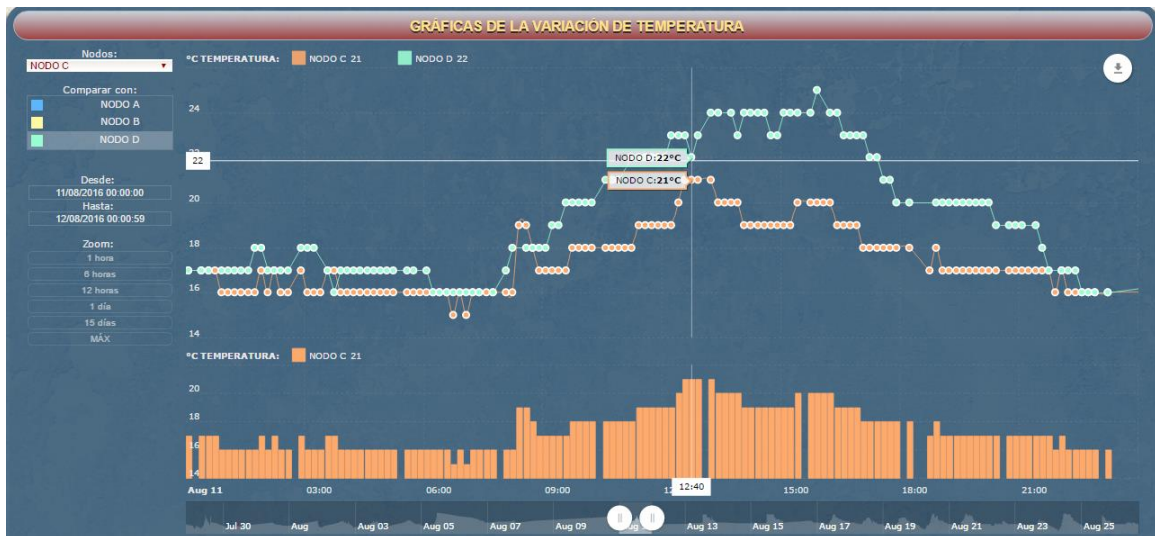


Figura 43 Variación de Temperatura registrada por el sensor DHT11

A continuación, se comparan las gráficas de los datos registrados por los cuatro nodos (ver Figura 44) en un periodo de tiempo mucho más amplio (1 mes) en el que se puede constatar que no existen una gran variación de temperaturas entre los mismos, exceptuando por el pico que se presenta en la gráfica del nodo C, que se debe a una caída que sufrió este nodo en la

fecha y hora que se observa en la gráfica. Se puede ver que el último valor de temperatura registrado en ese día fue en un horario muy cercano al mediodía (ver Figura 45), razón por la cual se grafica ese valor tan alto de temperatura ya que no se tiene un registro de más valores el resto del día en esa fecha.

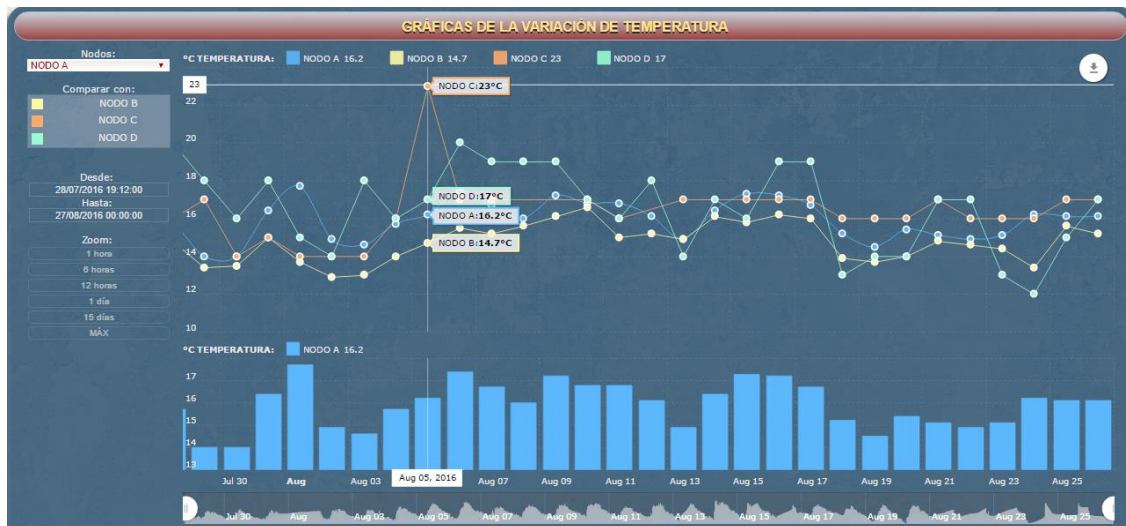


Figura 44 Variación de Temperatura en un mes

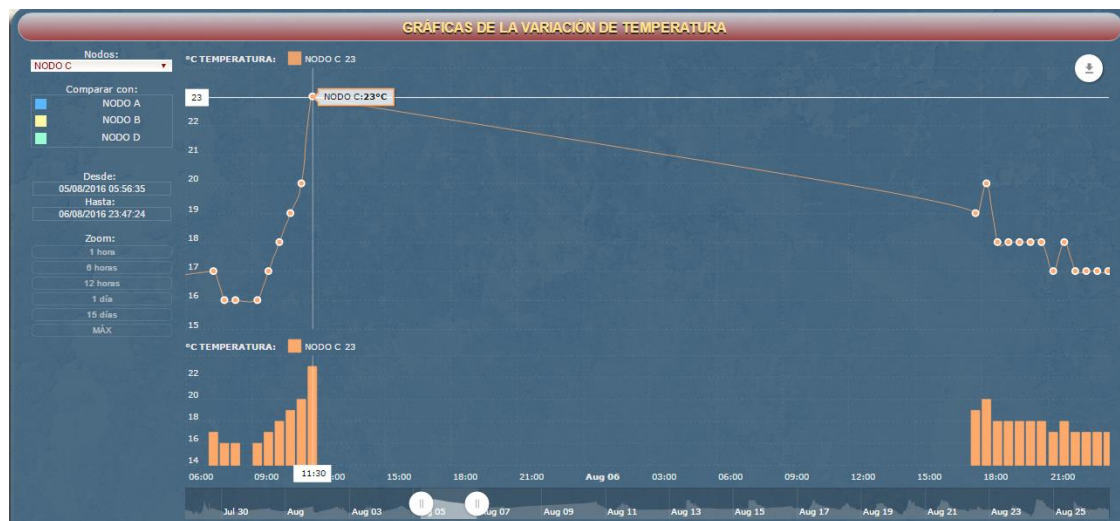


Figura 45 Pico presentado por la caída del Nodo C

Humedad

Analizando las muestras de un solo día, se puede observar que la variación de humedad entre el nodo A y B que usan el mismo sensor DHT22 es realmente mínima (ver Figura 46), y

al igual que en el caso anterior se debe tener en cuenta que puede afectar los resultados la ubicación del sensor con respecto al sentido y fuerza del viento que se presenta en cada sector.

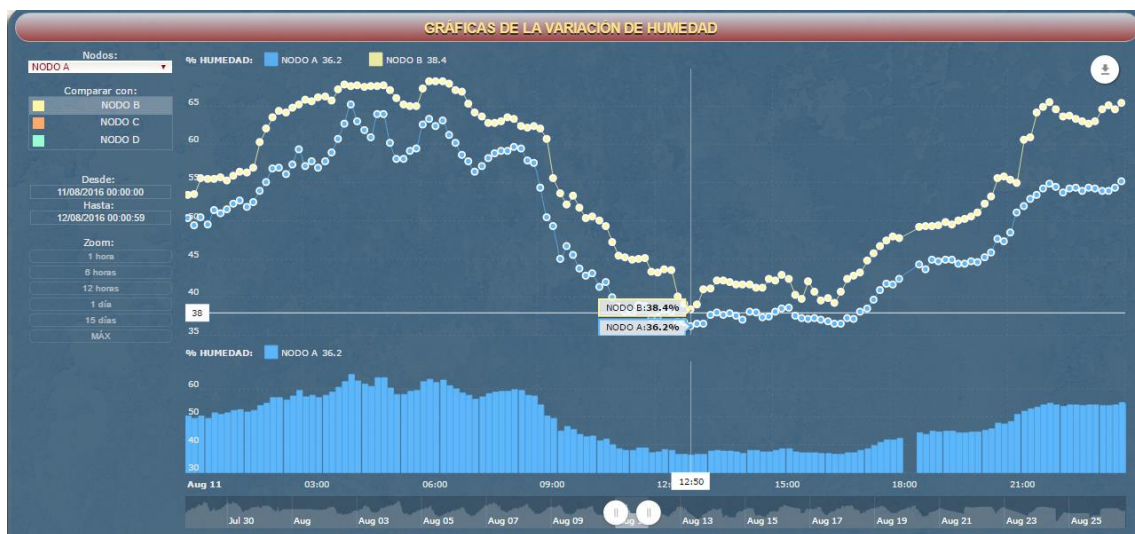


Figura 46 Variación de Humedad registrada por el sensor DHT22

De igual manera, analizando las muestras del mismo día y a la misma hora en los nodos C y D, que usan el sensor DHT11 se puede observar que la variación entre sus muestras es incluso menor que en los nodos anteriores (ver Figura 47), pero difieren de las mediciones tomadas por los nodos A y B, esto se puede dar debido a la precisión que tiene cada uno de los sensores.

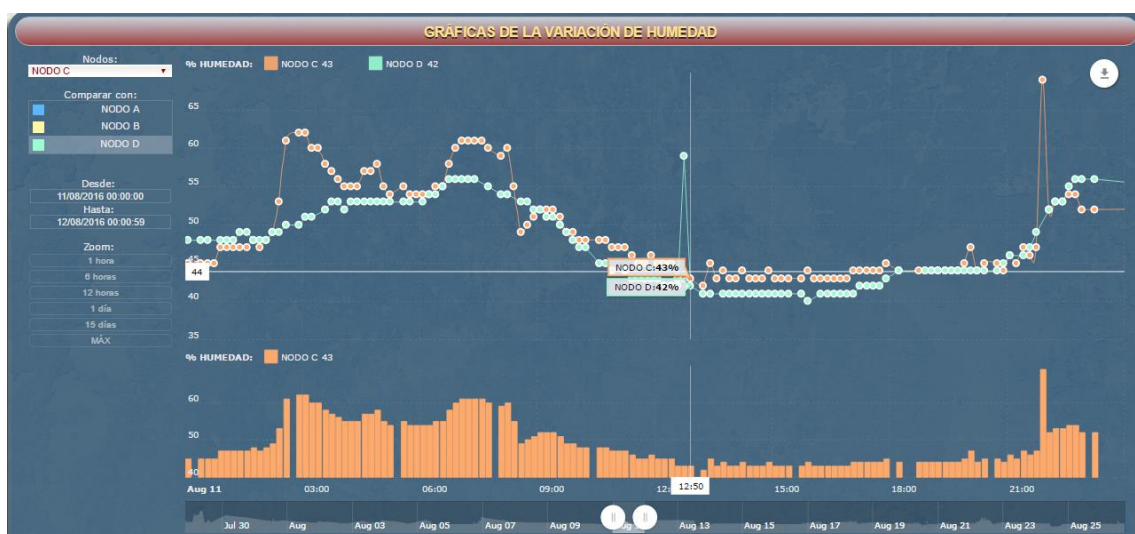


Figura 47 Variación de Humedad registrada por el sensor DHT11

Comparando las gráficas de los datos registrados por los cuatro nodos (ver Figura 48) en un periodo de tiempo mucho más amplio (1 mes) se pudo constatar que no existen una gran variación de la humedad entre los mismos, inclusive en la fecha en la que sucedió la caída del nodo C, esto se da porque el último valor censado de la humedad en ese día no cambió notablemente durante el resto del día como lo hizo la temperatura, de hecho, normalmente los cambios de humedad no se dan de forma tan brusca como sucede con la temperatura.

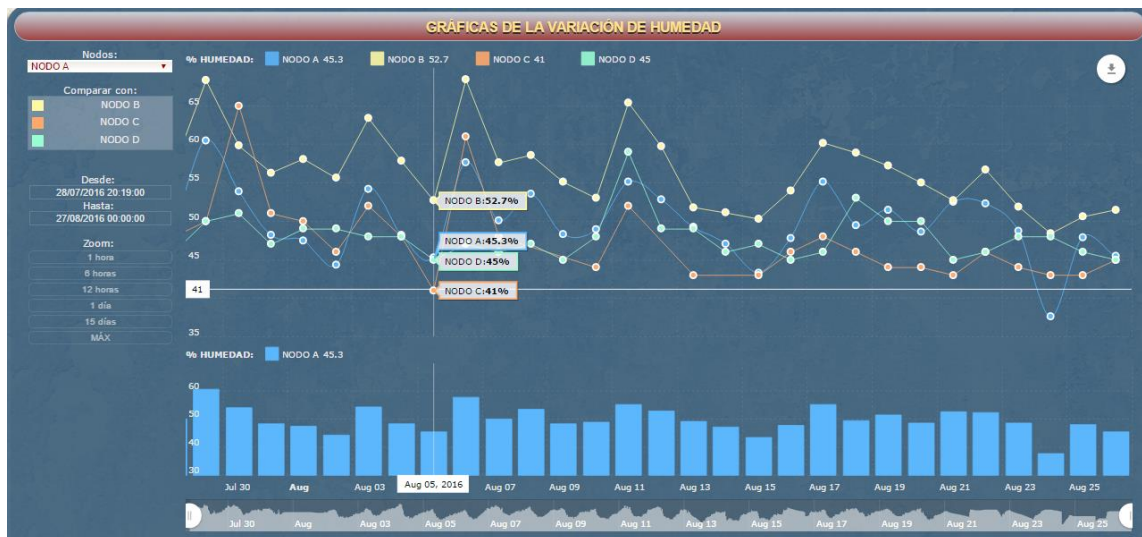


Figura 48 Variación de Humedad en un mes

Contaminación

Analizando las muestras registradas en pocas horas del día (ver Figura 49), se puede notar que no existe gran diferencia entre los niveles de contaminación de los distintos nodos, aunque es claro distinguir que los nodos que registran mayores niveles de contaminación son los nodos A y B.

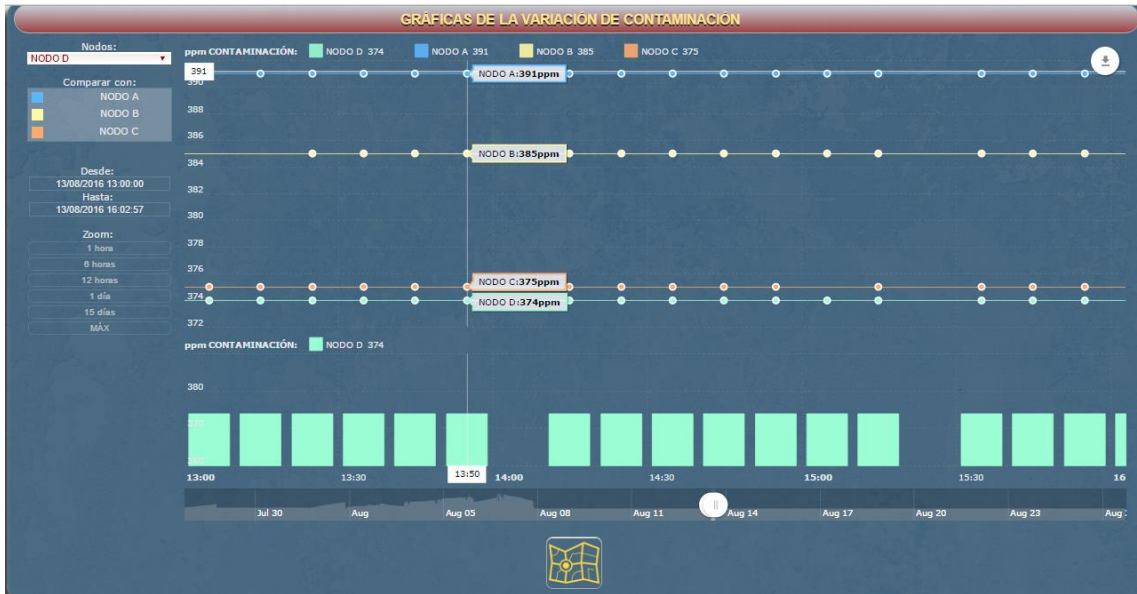


Figura 49 Variación de los niveles de CO2 en unas horas

Ahora, al analizar la variación de contaminación en un día específico de la semana, se puede observar que en un horario el nodo B presenta un mayor nivel de contaminación (ver Figura 50) y en otro horario es el nodo A el que presenta mayor nivel de contaminación (ver Figura 51).

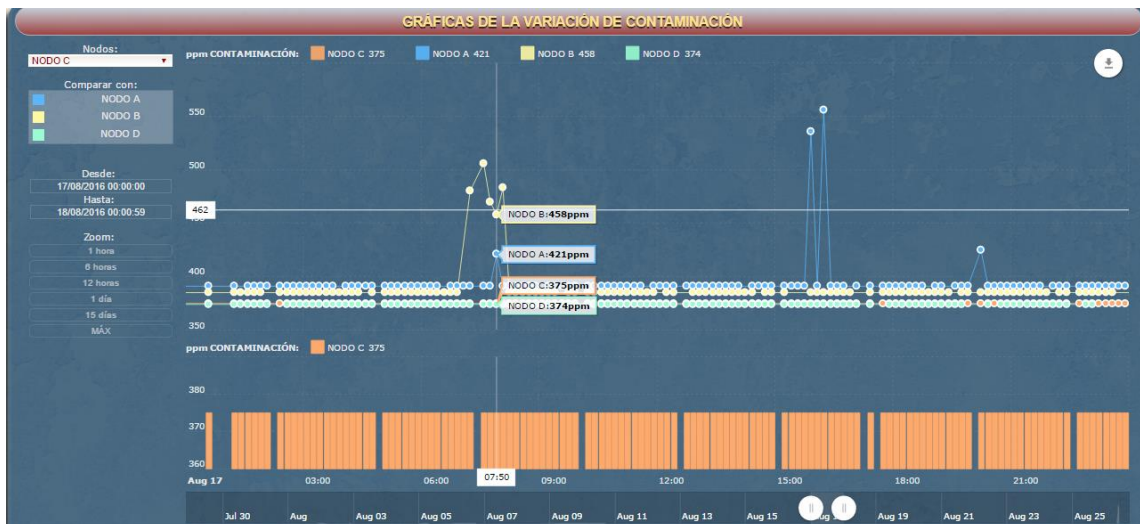


Figura 50 Variación de CO2 en un día en el que el Nodo B presenta un mayor nivel de contaminación

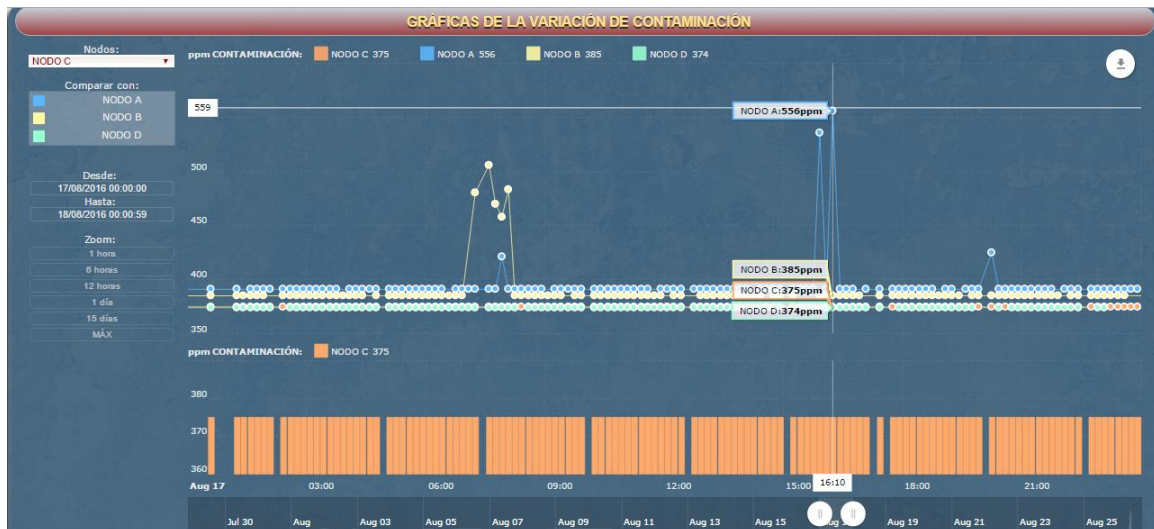


Figura 51 Variación de CO2 en un día en el que el Nodo A presenta un mayor nivel de contaminación

Ahora, se analiza los niveles de contaminación registrados en una semana (ver Figura 52) y de igual manera se puede observar que los nodos A y B son los que presentan los niveles de contaminación más altos.

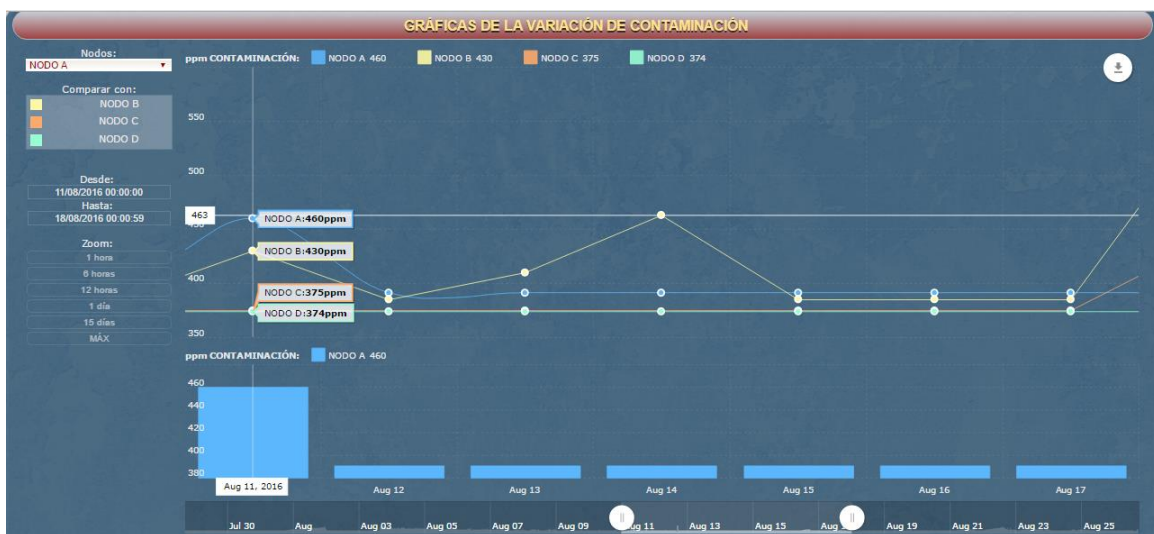


Figura 52 Variación de CO2 en una semana

Finalmente se analizan los datos tomados en el periodo de tiempo de un mes (ver Figura 53) y se puede observar que los nodos C y D también han presentado elevaciones en sus niveles de contaminación, pero no de forma continua como sucede con los nodos A y B.

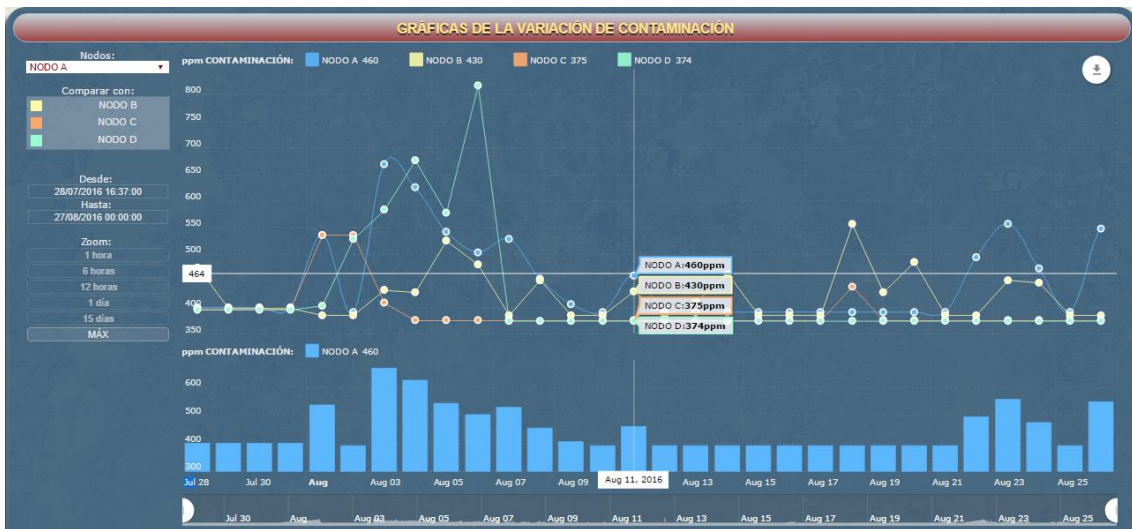


Figura 53 Variación de CO2 en un mes

7. CONCLUSIONES

El implementar un nodo inteligente móvil que cubra con todos los requerimientos que el Internet de las Cosas (IoT) exige, implica tener un vasto conocimiento sobre este concepto, puesto que las exigencias en el funcionamiento del dispositivo son bastantes altas, ya que se requiere alta disponibilidad del mismo, precisión en los datos recolectados y que tenga la propiedad de ubicuidad para ampliar el dominio en el que éste pueda censar los datos.

Al realizar las pruebas, se comprobó que los nodos inteligentes móviles representan una mejora notable en la forma tradicional de recolectar información de los factores ambientales como la temperatura, humedad y contaminación; ya que se pueden movilizar a lo largo de toda la ciudad y enviar los datos que recolectan sus sensores en tiempo real, presentando tiempos de latencia bastantes bajos en la mayoría de las pruebas realizadas. También se pudo constatar que tanto los sensores de Co2 como los sensores de temperatura y humedad, presentan un alto grado de precisión al momento de tomar las muestras, a pesar de que sus resultados pueden ser alterados por el viento o por estar expuestos directamente al sol.

Además, al analizar los resultados se pudo constatar los altos niveles de contaminación que presentan los sectores en los cuáles existen mayor concurrencia de vehículos y autobuses, teniendo en consideración que los resultados pueden ser aún peores, ya que el sensor de Co2 es altamente sensible y solamente puede percibir las partículas que se encuentran en frente del mismo, siendo esto una desventaja ya que en la ciudad de Cuenca se presentan vientos bastante fuertes lo que hace que el humo emitido por los automotores o cualquier otro contaminante (humo del cigarrillo, por ejemplo) se desvanezcan con facilidad o simplemente se alejen del sensor con gran rapidez, lo que provoca que éste no pueda detectarlos en su totalidad o mucha de las veces ni siquiera los pueda percibir.

Por último, la plataforma de gestión y monitorización implementada facilita el estudio de los datos recolectados mediante los gráficos estadísticos que muestran la variación de los factores ambientales censados en distintos periodos de tiempo. El tener la posibilidad de monitorear la movilización de cada uno de los nodos y de conocer en qué lugar exacto de la ciudad se presenta mayores índices de contaminación, es una característica que dota de inteligencia a la urbe, ya que permite reducir la probabilidad de que se produzca un mayor foco de contaminación en la ciudad que pueda perjudicar la salud de sus habitantes. Por lo tanto, si las autoridades competentes o entidades encargadas del cuidado del medio ambiente hacen uso

de este servicio, tendrían la posibilidad de brindarle al ciudadano un entorno más saludable o con menores riesgos de que se incremente los niveles de contaminación, ya que pueden tomar medidas competentes dependiendo de los resultados que se obtengan al analizar el registro de los datos censados por cada uno de los nodos implementados en la ciudad.

8. RECOMENDACIONES

Al momento de ubicar los nodos en los distintos sectores de la ciudad, se debe tener precaución a que altura se sitúan y en qué dirección apunta el sensor de CO₂ de cada uno de ellos, ya que de esto dependerá mucho la precisión de los datos que este sensor obtenga, debido a que el sensor es bastante sensible y solamente percibe las partículas de CO₂ que tiene en frente. Por lo tanto, mientras más alto se encuentre el sensor, menos precisión tendrá el registro de los gases emitidos por los automotores o por cualquier otro elemento (la altura máxima recomendada es de 5 metros).

Se debe tomar en cuenta que para tener una mayor precisión y sobre todo un geoposicionamiento eficaz se deben utilizar otro modelo de módulos GPS, ya que los que se utilizaron en las pruebas, tardaban mucho tiempo en conectarse al satélite o muchas de las veces perdieron conexión con el mismo en pleno funcionamiento, dejando de obtener coordenadas de ubicación por algún tiempo.

En el caso del armado de los nodos móviles, se recomienda calibrar los sensores de CO₂ con anticipación, ya que estos necesitan de un periodo de tiempo de calentamiento para empezar a medir los datos con alta precisión, puesto que los primeros minutos e incluso horas de estar conectado registran datos demasiado altos. Por su puesto, el calibrado de los mismos se deben realizar conjuntamente y en un mismo ambiente, para tener la seguridad de que todos los sensores están regulados bajo los mismos parámetros y condiciones.

Al contar con un registro de todos los datos recolectados por cada uno de los sensores móviles y de los lugares en los que se habían censado éstos datos o por los cuáles se habían movilizad los nodos, se puede hacer uso de esta información para identificar los focos de contaminación que tiene la ciudad, lo cual podría servir a las autoridades para poner en práctica ciertas políticas que mejoren la calidad del aire en la urbe, como por ejemplo, tener una mejor distribución en la red de transporte público o quizás poner en marcha un plan de contingencia que ayude a reducir los niveles de contaminación en los sectores más afectados.

Por último, se recomienda modelar la base de datos de la manera más sencilla posible, debido a que este tipo de sistemas almacenan millones de datos y no es aceptable que, al consultar los datos almacenados en tiempo real por los nodos móviles, se tarde cierto tiempo en presentar en pantalla la información requerida por los usuarios.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. d. Ambiente, «Plan Nacional de la Calidad del Aire,» Ministerio del Ambiente, Quito, 2010.
- [2] J. E. Pereira, «Noticias Financieras,» 22 octubre 2014. [En línea]. Available: <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2145/docview/1614637720/D75AB8D965144506PQ/2?accountid=32861>. [Último acceso: 05 marzo 2016].
- [3] E. Economista, «Noticias Financieras,» 04 febrero 2016. [En línea]. Available: <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2145/docview/1762275775/fulltext/D23152FFAD374F6BPQ/1?accountid=32861>. [Último acceso: 05 marzo 2016].
- [4] F. Jiménez, «Noticias Financieras,» 21 agosto 2013. [En línea]. Available: <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2145/docview/1426526871/34E7C7DC1F054DC7PQ/1?accountid=32861>. [Último acceso: 05 marzo 2016].
- [5] Anónimo, «Business Wire,» 24 septiembre 2012. [En línea]. Available: <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2145/docview/1069255881/fulltext/3EA578B32282456BPQ/1?accountid=32861>. [Último acceso: 05 marzo 2016].
- [6] E. Economista, «Noticias Financieras,» 18 marzo 2015. [En línea]. Available: <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2145/docview/1664062971/fulltext/6002989BA9064196PQ/1?accountid=32861>. [Último acceso: 05 marzo 2016].
- [7] E. P. Espinoza y C. E. Molina, «CONTAMINACIÓN DEL AIRE EXTERIOR. CUENCA - ECUADOR, 2009- 2013. POSIBLES EFECTOS EN LA SALUD.,» *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca.*, vol. 32, nº 2, p. 12, 2014.
- [8] A. Mascheroni, «Noticias Financieras,» 02 febrero 2015. [En línea]. Available: <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2145/docview/1650138601/D75AB8D965144506PQ/1?accountid=32861>. [Último acceso: 05 marzo 2016].

- [9] S.A., «EFE News Service,» 03 octubre 2013. [En línea]. Available: <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2145/docview/1439076523/34E7C7DC1F054DC7PQ/4?accountid=32861>. [Último acceso: 05 marzo 2016].
- [10] P. Waher, Learning Internet of Things, Birmingham,UK: Packt Publishing Ltd., 2015.
- [11] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista y M. Zorzi, «Internet of Things for Smart Cities,» *IEEE*, vol. 1, n° 1, p. 11, 2014.
- [12] S. Gaglio y G. L. Re, «Advances onto the Internet of Things,» *Springer*, vol. 260, n° 2013957383, p. 349, 2014.
- [13] H. Chaouchi, The Internet of Things: Connecting Objects, London: ISTE Ltd and John Wiley & Sons, 2013.
- [14] O. Hersent, D. Boswarthick y O. Elloumi, The Internet of Things: Applications to the Smart Grid and Building Automation, Chichester: John Wiley & Sons, 2012.
- [15] P. Friess, Internet of Things: From Research and Innovation to Market Deployment, Aalborg: River Publishers, 2013.
- [16] A. McEwen y H. Cassimally, Designing the Internet of Things, Chichester: JohnWiley & Sons, Ltd, 2014.
- [17] A. Foster, «Messaging Technologies for the Industrial Internet and the Internet of Things Whitepaper,» *PrismTech*, vol. 2, p. 26, 2015.
- [18] D. Hows, P. Membrey, E. Plugge y T. Hawkins, The Definitive Guide to MongoDB, New York: Apress, 2015.
- [19] Y. Wang y X. Zhang, «Internet of Things,» *Springer*, vol. 1, n° 1, p. 690, 2012.
- [20] C. PERERA, C. H. LIU, S. JAYAWARDENA y M. CHEN, «A Survey on Internet of Things From Industrial Market Perspective,» *IEEE Acces*, vol. 2, p. 20, 2015.

- [21] N. Bessis y C. Dobre, «Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments,» *Springer*, vol. 546, n° 2014934460, p. 477, 2014.
- [22] C. ZHU, V. C. M. LEUNG, L. SHU y E. C.-H. NGAI, «Green Internet of Things for Smart World,» *IEEE Access*, vol. 3, p. 12, 2015.
- [23] S. C. Mukhopadhyay, «Internet of Things: Challenges and Opportunities,» *Springer*, vol. 9, n° 2014930229, p. 259, 2014.
- [24] G. Fortino y P. Trunfio, «Internet of Things Based on Smart Objects,» *Springer*, vol. 1, n° 2014936031, p. 203, 2014.
- [25] R. POZZA, M. NATI, S. GEORGOULAS, K. MOESSNER y A. GLUHAK, «Neighbor Discovery for Opportunistic Networking in Internet of Things Scenarios: A Survey,» *IEEE Access*, vol. 3, p. 31, 2015.
- [26] F. daCosta, «Rethinking the Internet of Things,» *Apress Open*, vol. 1, p. 185, 2013.
- [27] P. KULKARNI y T. FARNHAM, «Smart City Wireless Connectivity Considerations and Cost Analysis: Lessons Learnt From Smart Water Case Studies,» *IEEE Access*, vol. 4, p. 13, 2016.
- [28] S. Evdokimov, B. Fabian, O. Gunther, L. Ivantysynova y H. Ziekov, *RFID and the Internet of Things: Technology, Applications, and Security Challenges*, Hanover, USA: Now Publishers Inc., 2011.
- [29] D. Giusto, A. Iera, G. Morabito y L. Atzori, *The Internet of Things: 20th Tyrrhenian Workshop on Digital Communications*, London: Springer Science & Business Media, 2010.

10. ANEXOS

ANEXO 1

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Introducción

El proyecto desarrollado tiene como principal objetivo almacenar y gestionar la información de los distintos nodos móviles que se pretende desplegar en la ciudad de Cuenca para la recolección de datos, por lo tanto, con el fin de verificar la eficiencia de la plataforma desarrollada y de los dispositivos configurados que se movilizarán o se ubicarán en la misma, se ha elaborado ciertos términos de referencia para la presentación del protocolo de pruebas, el cual se muestra en este documento.

Objetivo General

Presentar la formulación e instrumentación del protocolo de pruebas para verificar la eficiencia de los dispositivos configurados en la recolección y monitoreo de datos en la ciudad de Cuenca.

Metodología

Pruebas de funcionamiento de nodos móviles.

PRUEBA 1: Instalación de los nodos.

Tipo de prueba: Adaptación de los dispositivos.

Ubicación del equipo: Vehículos de la institución.

Tiempo de revisión: Mínimo 2 horas.

PROCEDIMIENTO:

- 1) Establecer el modo de abastecimiento de energía para los nodos móviles.
- 2) Acoplar las placas Arduino juntos con los respectivos sensores y el dispositivo que los abastecerá de energía a una carcasa adecuada para que se pueda adaptar con mayor facilidad al vehículo que les va a prestar movilidad.

- 3) Fijar la carcasa ya con todos los elementos mencionados en la parte superior delantera del vehículo de forma segura.
- 4) Movilizar el vehículo para verificar si la carcasa está fijada de forma segura.

PRUEBA 2: Puesta en marcha del Nodo A.

Tipo de prueba: Recolección de datos.

Ubicación del equipo: Vega Muñoz y Luis Cordero.

Tiempo de recorrido: Mínimo 4 horas diarias.

PROCEDIMIENTO:

- 1) Encender el dispositivo y revisar en la plataforma si el envío de datos se está realizando.
- 2) Realizar un recorrido en la zona de la ubicación establecida.
- 3) Constatar que el envío de datos se esté realizando cada 5 minutos por medio de la plataforma o realizando una consulta a la base de datos.
- 4) Revisar a través de la plataforma si la movilización del dispositivo se está monitoreando en la misma en tiempo real.

PRUEBA 3: Puesta en marcha del Nodo B.

Tipo de prueba: Recolección de datos.

Ubicación del equipo: De las Alcabalas y Del Obrero.

Tiempo de recorrido: Mínimo 4 horas diarias.

PROCEDIMIENTO:

- 1) Encender el dispositivo y revisar en la plataforma si el envío de datos se está realizando.
- 2) Realizar un recorrido en la zona de la ubicación establecida.
- 3) Constatar que el envío de datos se esté realizando cada 5 minutos por medio de la plataforma o realizando una consulta a la base de datos.
- 4) Revisar a través de la plataforma si la movilización del dispositivo se está monitoreando en la misma en tiempo real.

PRUEBA 4: Puesta en marcha del Nodo C.

Tipo de prueba: Recolección de datos.

Ubicación del equipo: Calle del Tejar y De la Verbena.

Tiempo de recorrido: Mínimo 4 horas diarias.

PROCEDIMIENTO:

- 1) Encender el dispositivo y revisar en la plataforma si el envío de datos se está realizando.
- 2) Realizar un recorrido en la zona de la ubicación establecida.
- 3) Constatar que el envío de datos se esté realizando cada 5 minutos por medio de la plataforma o realizando una consulta a la base de datos.
- 4) Revisar a través de la plataforma si la movilización del dispositivo se está monitoreando en la misma en tiempo real.

PRUEBA 5: Puesta en marcha del Nodo D.

Tipo de prueba: Recolección de datos.

Ubicación del equipo: Luis Santángel y Av. Loja.

Tiempo de recorrido: Mínimo 4 horas diarias.

PROCEDIMIENTO:

- 1) Encender el dispositivo y revisar en la plataforma si el envío de datos se está realizando.
- 2) Realizar un recorrido en la zona de la ubicación establecida.
- 3) Constatar que el envío de datos se esté realizando cada 5 minutos por medio de la plataforma o realizando una consulta a la base de datos.
- 4) Revisar a través de la plataforma si la movilización del dispositivo se está monitoreando en la misma en tiempo real.

PRUEBA 6: Funcionamiento de la Plataforma.

Tipo de prueba: Revisión de monitoreo y recolección de datos.

Ubicación del equipo: ---

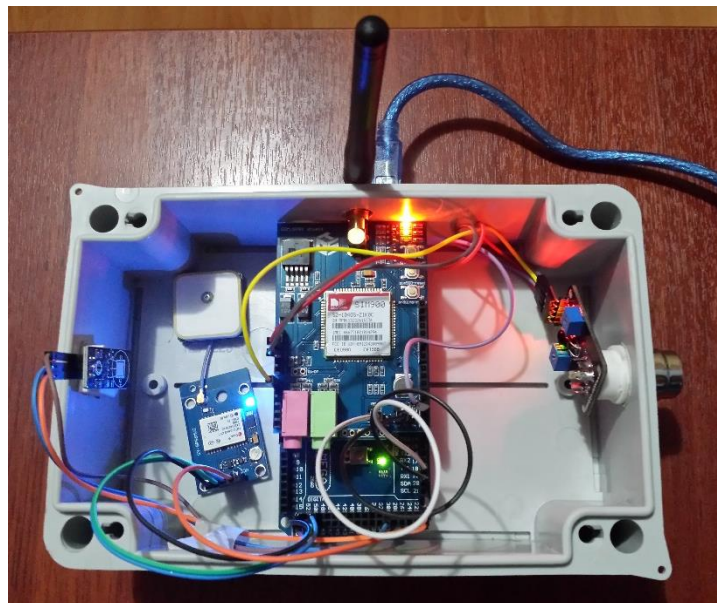
Tiempo de revisión: Mínimo 1 hora diaria.

PROCEDIMIENTO:

- 1) Revisar que la ubicación en tiempo real de cada uno de los nodos sea la correcta.
- 2) Consultar la cantidad de datos que se ha registrado en la base de datos.
- 3) Realizar distintas consultas a la base de datos desde la plataforma para conocer los tiempos de respuesta de las mismas.
- 4) Verificar la precisión y la calidad de las gráficas estadísticas que se muestran de cada uno de los nodos.
- 5) En caso de presentarse errores o tiempos de respuesta altos, corregir u optimizarlos.

ANEXO 2

NODO MÓVIL COMPLETAMENTE ARMADO



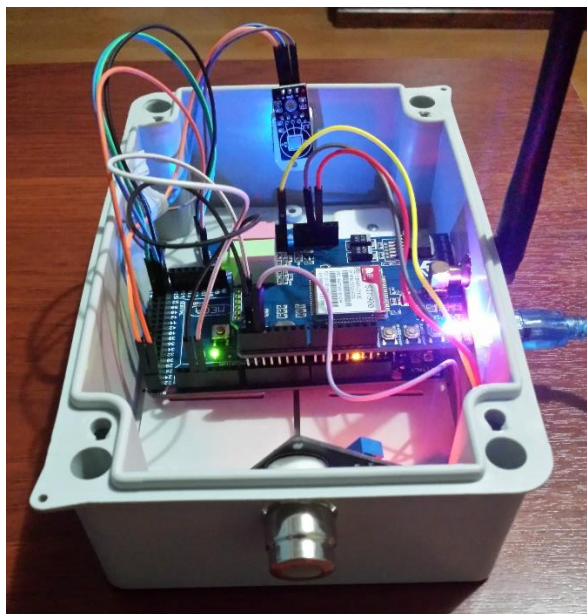
ANEXO 3

SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD



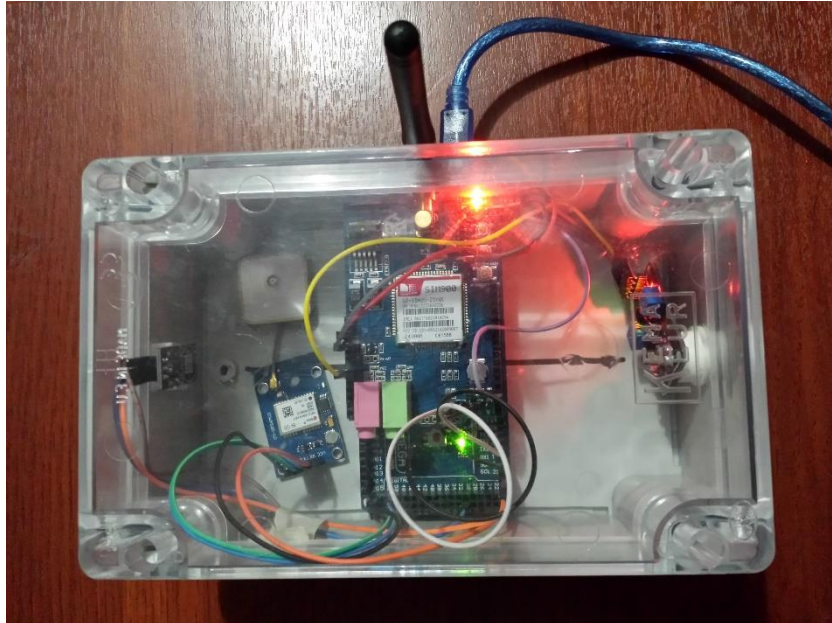
ANEXO 4

SENSOR DE CO2



ANEXO 5

NODO MÓVIL CUBIERTO CON SU CARCAZA



ANEXO 6

NODO MÓVIL ALIMENTADO ENERGÉTICAMENTE CON UNA BATERÍA QUE INCLUYE PANEL SOLAR



ANEXO 7

NODO MÓVIL FUNCIONANDO EN EL CENTRO DE LA CIUDAD

