



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE  
COMUNICACIÓN**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**TEMA:**

**“SISTEMA EMBEBIDO MÓVIL DE RECONOCIMIENTO DE  
PATRONES DE CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE IBARRA”**

**AUTORA: YADIRA ALEJANDRA BURBANO PRADO**

**DIRECTOR: MSC. PAÚL DAVID ROSERO MONTALVO**

**Ibarra-Ecuador**

**2019**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

#### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

##### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003676713
APELLIDOS Y NOMBRES:	Burbano Prado Yadira Alejandra
DIRECCIÓN:	Av. Atahualpa y Shyris 5-33
E-MAIL:	yaburbano@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL:	0979557229
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"Sistema embebido móvil de reconocimiento de patrones de calidad del aire en la ciudad de Ibarra"
AUTOR:	Yadira Alejandra Burbano Prado
FECHA:	23/04/2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	Pregrado
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
DIRECTOR	Ing. Paúl David Rosero Montalvo

##### 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los veintitrés días de mes de abril del 2019

##### LA AUTORA:

(Firma) 

Yadira Alejandra Burbano Prado



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

MSC. PAÚL ROSERO, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Que, el presente Trabajo de Titulación: "SISTEMA EMBEBIDO MÓVIL DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES DE CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE IBARRA", ha sido desarrollado por la Señorita Yadira Alejandra Burbano Prado bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Msc. Paúl David Rosero Montalvo

1003378039

**DIRECTOR**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

#### AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres Eduardo y Lupita, por todo el apoyo que me han dado en toda mi vida, por la paciencia, comprensión y amor que he recibido de ellos para continuar y no dejarme caer en ninguna situación que se presente.

A mis hermanos, Jesy, Javy y Amy; los mejores amigos que han estado conmigo en cada paso que he dado, por cada palabra de aliento y por demostrarme que si nos proponemos hacer algo con dedicación y esfuerzo lo conseguiremos.

A mi hijo Iann, mi fortaleza, mi inspiración, mi vida entera, por cada sacrificio que hemos hecho, por comprender las muchas veces que no pude estar con él.

A mi director de tesis, Ing. Paúl Rosero, a mis opositores Ing. Carlos Vásquez e Ing. Anita Umaquinga por el tiempo y ayudada brindada a lo largo de la realización de este proyecto de tesis.

Por último y no menos importante a mis amigos, Alexander, Ronald, Sheily, Jesy, Naty, Cristian, Gabriel, Luis, Mary y Jhonny por estos años que hemos compartido, apoyándonos, y dándonos ánimo para salir victoriosos en cada dificultad que se presentó, gracias por los buenos momentos, las risas y llantos compartidos.

Yadira Alejandra Burbano Prado



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**DEDICATORIA**

Desde hace 4 años cambié mi vida, mi tiempo y mi forma de pensar por ti, hoy entrego mi corazón, mi alma y mis energías para enseñarte a ser un hombre de bien y demostraste que todo es posible si lo haces con ganas, dedicación y con amor. Te dedico este trabajo de titulación que es el esfuerzo realizado durante todos estos años, es la mejor muestra de amor que puedo darte, porque tus has sido mi mayor inspiración para continuar por el camino correcto, para jamás dejarme vencer porque sé que hay una personita que sigue mis pasos y mi mayor anhelo es que seas mucho mejor que yo y que te sientas orgulloso de tu mami, cada cosa que hago siempre es pensando en darte un buen futuro, es para ti y por ti, no puedo vivir tu vida, no puedo evitar que tengas malos momentos pero siempre estaré acompañándote en cada paso que des, apoyándote en cada decisión que tomes, alentándote a luchar por tus sueños, porque nada en la vida es imposible. **¡Te amo Iann Eduardo!**

A mis padres Eduardo y Lupita, por el esfuerzo y la paciencia que han tenido conmigo, pero sobre todo por el gran apoyo que han sido para mí, por la ayuda que me han dado para poder culminar con mi carrera y por ser los mejores abuelitos para mi hijo.

A mis hermanos Jesika, Javier, Amy, a mi cuñado Daniel por ser la mejor familia que la vida me ha dado, por estar siempre juntos y ser un gran ejemplo de superación.

A mi hermanita Valery Brigitte que a pesar de no tenerte presente físicamente siempre estás en mi corazón, me enseñaste tanto que jamás olvidaré todo lo que viví contigo. Mi angelito valeroso.

A mis sobrinos Monse y Panchito por alegrar mis días con sus travesuras y sus sonrisas.

A Carlos porque no solamente es un buen padre para mi hijo, sino también es una gran persona, que ha sabido apoyarme cuando lo necesitaba a pesar de las circunstancias. Este logro también es gracias a ti.

*Yadira Alejandra Burbano Prado*

## ÍNDICE

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	¡Error! Marcador no definido.
1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	II;Error! Marcador no definido.
2. CONSTANCIAS.....	II;Error! Marcador no definido.
CERTIFICACIÓN.....	III;Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE.....	VI
RESUMEN.....	XX
ABSTRACT.....	XXI
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Problema.....	1
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Alcance.....	4

1.5 Justificación.....	5
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1 Condiciones Ambientales.....	8
2.1.1 Cambios climáticos .....	8
2.1.2 Origen de los Gases Nocivos .....	10
2.1.2.1 Monóxido de Carbono (CO) .....	10
2.1.2.2 Óxidos de Nitrógeno (NOx).....	11
2.1.3 Enfermedades .....	11
2.1.4 Límites de contaminación .....	12
2.1.4.1 Material Particulado Atmosférico (PM).....	13
2.1.4.2 Ozono (O3).....	14
2.1.4.3 Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ).....	15
2.1.4.4 Monóxido de Carbono (CO) .....	15
2.1.4.5 Ácidos de Nitrógeno .....	16
2.1.5 Calentamiento Global.....	17
2.1.6 Situación Actual Ibarra .....	18
2.1.7 Comparación de Proyectos.....	19

2.2 Sensores.....	20
2.2.1 Introducción .....	20
2.2.2 Tipos.....	22
2.2.2.1 Por su funcionamiento.....	23
2.2.2.2 Por las señales que proporcionan .....	24
2.2.2.3 Por su naturaleza de funcionamiento .....	24
2.2.2.4 Por los elementos utilizados en su fabricación .....	25
2.2.3 Adquisición de datos .....	25
2.2.4 Errores de lectura .....	26
2.2.5 Acondicionamiento de señal .....	28
2.2.6 Sensor de Monóxido de Carbono MQ-7 .....	29
2.2.7 Sensor de Calidad de Aire MQ-135 .....	29
2.2.8 Sensor de temperatura y humedad (DTH11).....	30
2.2.9 Sensor ML8511 (UV) .....	31
2.2.10 Módulo SIM 808 .....	32
2.2.11 Módulo GPS NEO Ublox-6M.....	32
2.3 Sistemas Embebidos.....	33

2.3.1	Introducción .....	33
2.3.2	Tipos.....	35
2.3.2.1	Reloj de Tiempo Real (RTC) .....	35
2.3.2.2	Redes de sensores inalámbricos (WSN).....	36
2.3.2.3	Procesador digital de señales (DSP) .....	37
2.3.3	Aplicaciones .....	38
2.3.4	Sistemas Inteligentes.....	39
2.3.4.1	Análisis de Datos.....	40
2.3.4.2	Selección de Prototipos .....	42
2.3.4.3	Algoritmos de Clasificación.....	42
2.4	General Packet Radio Service (GPRS) .....	43
2.5	Global Positioning System (GPS) .....	44
CAPÍTULO III. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....		45
3.1	Situación Actual .....	45
3.1.1	Observación Directa.....	45
3.2	Requerimientos del sistema.....	46
3.2.1	Requerimientos iniciales del sistema .....	47

3.2.2	Requerimientos de arquitectura.....	48
3.2.3	Selección de Hardware y Software .....	49
3.2.3.1	Hardware .....	50
3.2.3.2	Software .....	56
3.3	Diseño global del sistema AirQIB .....	57
3.3.1	Descripción General del Funcionamiento del Sistema .....	57
3.3.2	Arquitectura.....	57
3.3.3	Diagrama circuital del sistema AirQIB.....	60
3.3.4	Diagrama de flujo del proceso del sistema .....	61
3.5	Diseño detallado del sistema AirQIB.....	66
3.5.1	Diseño de Hardware .....	67
3.5.1.1	Bloque de sensores.....	67
3.5.1.2	Bloque de Alimentación.....	70
3.5.1.3	Bloque de localización .....	71
3.5.1.4	Bloque de Transmisión .....	71
3.5.1.5	Bloque de procesamiento de datos.....	72
3.5.2	Diseño de Software .....	73

3.5.2.1 Bloque de acoplamiento de la señal .....	74
3.5.2.2 Bloque de procesamiento de datos.....	74
3.5.2.3 Bloque de recepción de datos.....	75
3.6 Implementación.....	75
3.6.1 Implementación del Hardware .....	75
3.6.1.1 Elaboración de plataforma del sistema .....	75
3.6.1.2 Bloque de alimentación.....	76
3.6.1.3 Bloque de sensores.....	76
3.6.1.4 Bloque de localización .....	79
3.6.1.5 Bloque de transmisión.....	79
3.6.2 Implementación del Software .....	79
3.6.2.1 Bloque de acoplamiento de la señal .....	79
3.6.2.2 Bloque de Procesamiento de datos.....	81
3.6.2.3 Bloque de Recepción de datos .....	86
3.6.3 Implementación final de AirQIB .....	89
CAPÍTULO IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS .....	92
4.1 Resultados .....	92

4.1.1 Parroquia Caranqui y Los Ceibos .....	93
4.1.2 Parroquia Alpachaca .....	95
4.1.3 Parroquia El Sagrario .....	96
4.1.4 Parroquia San Francisco.....	98
4.1.5 Parroquia La Dolorosa del Priorato.....	100
4.2 Análisis de la calidad del aire en Ibarra .....	101
4.3 Comparación de resultados con APP Air Quality .....	101
4.4 Matriz de confusión.....	103
4.5 Valores máximo y mínimos obtenidos de la toma de datos.....	104
4.6 Test de pruebas basadas en el modelo en V .....	104
4.6.1 Test Eléctrico .....	105
4.6.2 Test Subsistema pasivo .....	106
4.6.3 Test Subsistema activo .....	107
4.6.4 Test de Hardware .....	108
4.6.5 Test de Software.....	109
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>110</b>
5.1 Conclusiones.....	110

5.2 Recomendaciones .....	111
BIBLIOGRAFÍA.....	112
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS .....	121
ANEXOS.....	122
Anexo 1. Programación script IDE-Arduino para la lectura de los sensores.....	122
Anexo 2. Base de datos de entrenamiento .....	131

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura Media Anual en Europa.....	8
Figura 2. Límites numéricos de las categorías de los niveles de gases (ug/m <sup>3</sup> ).....	16
Figura 3. Sensores clasificados por su funcionamiento .....	23
Figura 4. Sensor MQ-7 de Monóxido de Carbono.....	29
Figura 5. Sensor MQ-135.....	30
Figura 6. Pines del DTH11.....	31
Figura 7. Sensor UV.....	31
Figura 8. Módulo SIM 808.....	32
Figura 9. Módulo GPS .....	33
Figura 10. Ejecución de la tarea en tiempo real. ....	35
Figura 11. Componentes de un dispositivo autónomo. ....	37
Figura 12. Situación actual ciudad de Ibarra.....	46
Figura 13. Diagrama de bloques general.....	58
Figura 14. Diagrama circuital del sistema.....	60
Figura 15. Características de sensibilidad del sensor MQ-7 .....	61
Figura 16. Características de la sensibilidad del MQ-135 .....	63

Figura 17. Diagrama de flujo del sistema .....	66
Figura 18. Distribución pines sensor MQ-7 .....	67
Figura 19. Distribución de pines del sensor MQ-135 .....	68
Figura 20. Distribución de pines del sensor dth11 .....	69
Figura 21. Distribución de pines del sensor UV .....	69
Figura 22. Diseño de conexión del circuito de encendido del vehículo hacia la placa Shield.	70
Figura 23. Distribución de pines del módulo GPS .....	71
Figura 24. Distribución de pines del módulo SIM808 .....	72
Figura 25. Distribución pines Arduino UNO .....	73
Figura 26. Proceso KDD .....	74
Figura 27. Caja para armar el sistema embebido .....	75
Figura 28. Conexión 12 v en el vehículo .....	76
Figura 29. Circuito impreso de la placa Shield .....	77
Figura 30. Placa diseñada .....	78
Figura 31. Placa Shield .....	78
Figura 32. Señal sin filtro .....	79
Figura 33. Señal con filtro .....	80

Figura 34. Base de datos inicial .....	81
Figura 35. BDD con nivel .....	82
Figura 36. Resultados de CNN.....	83
Figura 37. Interfaz general .....	86
Figura 38. Localización de nodo.....	87
Figura 39. Temperatura y humedad del ambiente.....	88
Figura 40. Estado del aire.....	88
Figura 41. Diseño de prototipo.....	89
Figura 42. Implementación Final (Vista Lateral).....	90
Figura 43. Implementación final (Vista superior) .....	90
Figura 44. Implementación final (Vista Frontal) .....	91
Figura 45. Mapeo Caranqui.....	93
Figura 46. Mapeo Ceibos .....	94
Figura 47. Mapeo parroquia Alpachaca .....	95
Figura 48. Mapeo sector Universidad Técnica del Norte .....	96
Figura 49. Mapeo sector Mercados.....	97
Figura 50. Mapeo sector Parque Ciudad Blanca.....	98

Figura 51. Mapeo sector Panamericana y Parque Principales .....	99
Figura 52. Mapeo Priorato .....	100
Figura 53. Información obtenida de Air Quality .....	102
Figura 54. Valores de la plataforma de Ubidots .....	102

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las características estáticas .....	21
Tabla 2. Descripción de las características dinámicas .....	22
Tabla 3. Tipos de acondicionamiento .....	28
Tabla 4. Descripción de la abreviatura de los requerimientos .....	47
Tabla 5. Requerimientos del sistema (SySR).....	47
Tabla 6. Requerimientos de arquitectura (SRSH).....	48
Tabla 7. Elección del sistema embebido .....	50
Tabla 8. Características técnicas del Arduino UNO .....	51
Tabla 9. Elección de sensor de gas.....	51
Tabla 10. Características técnicas del sensor MQ-7 .....	52
Tabla 11. Características técnicas del sensor MQ-135 .....	53
Tabla 12. Elección de sistema de localización.....	53
Tabla 13. Características principales del sistema de localización.....	54
Tabla 14. Elección de sistema GPRS .....	55
Tabla 15. Características principales del sistema GPRS.....	55
Tabla 16. Elección lenguaje de programación .....	56

Tabla 17. Clasificación de datos .....	82
Tabla 18 . Eficiencia de algortimos.....	84
Tabla 19. Promedio de eficiencia de algoritmos .....	84
Tabla 20. Simbología .....	92
Tabla 21. Interpretación matriz de confusión .....	103
Tabla 22. Matriz de confusión .....	103
Tabla 23. Valores máximos y mínimos.....	104

### **ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 1. Ecuación de la concentración de Monóxido de Carbono .....	62
Ecuación 2. Ecuación para calcular la resistencia de carga .....	63
Ecuación 3. Ecuación para calcular la resistencia superficial .....	64
Ecuación 4. Ecuación para calcular el valor de ppm/ppb .....	64
Ecuación 5. Filtro moving average .....	80
Ecuación 6. Ecuación para calcular la distancia .....	85
Ecuación 7. Ecuación para calcular la exactitud .....	103

## **RESUMEN**

Este proyecto trata de un sistema embebido móvil de reconocimiento de patrones de la calidad de aire en la ciudad de Ibarra, que cuya función es monitorear los gases nocivos que existen en la ciudad, enviando los datos recolectados juntos con sus coordenadas a una plataforma en la nube, en este caso Ubidots.

Los requisitos del proyecto son muy importantes para realizar la elección de los elementos usados en el sistema. También se analiza la situación actual en donde se determinan los parámetros del diseño del proyecto. En cuanto al funcionamiento, el sistema cuenta con sensores que miden CO, NOx, radiación ultravioleta, temperatura y humedad, estos datos son enviados a Ubidots mediante GPRS y se almacenan en la base de datos junto con la latitud y longitud que proporciona el módulo GPS.

El sistema va empotrado en el techo del vehículo, con el fin de que la captación de gases sea más favorable, cuando se encienda el auto también se iniciará el sistema embebido, cumpliendo con el proceso de inicialización que va por fases, lo cual es que primero se enciende el GPS y cuando éste se encuentre encendido empezará el GPRS a enviar los datos a la plataforma, en donde se puede apreciar en gráficas los niveles de CO, NOx, radiación UV y la temperatura y humedad del ambiente.

## **ABSTRACT**

This project is about a mobile embedded system for recognition of air quality patterns in the city of Ibarra, whose function is to monitor the harmful gases that exist in the city, sending the data collected together with their coordinates to a platform in the city. cloud, in this case Ubidots.

The requirements of the project are very important to make the choice of the elements used in the system. The current situation where the parameters of the project design are determined is also analyzed. In terms of operation, the system has sensors that measure CO, NOx, ultraviolet radiation, temperature and humidity, these data are sent to Ubidots through GPRS and stored in the database along with the latitude and longitude provided by the GPS module.

The system is installed in the roof of the vehicle, in order to make the capture of gases more favorable, when the car is started, the embedded system will also start, complying with the initialization process that goes by phases, which is that first turn on the GPS and when it is turned on the GPRS will start sending the data to the platform, where you can see in graphs the levels of CO, NOx, UV radiation and the temperature and humidity of the environment.

## **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

En el presente capítulo se detalla la argumentación para el desarrollo del trabajo de titulación, se realizará la formulación del problema y la justificación de esta, se definirá los objetivos generales y específicos, de la misma forma el alcance y limitaciones del presente trabajo.

### **1.1 Tema**

“SISTEMA EMBEBIDO MÓVIL DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES DE CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE IBARRA”

### **1.2 Problema**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) informa que en un estudio realizado en 2012 unos 7 millones de personas murieron por problemas de salud. Es decir, una de cada ocho del total de muertes en el mundo es causadas por la exposición a la contaminación atmosférica. (Organización Mundial de la Salud, 2011). La contaminación atmosférica constituye en la actualidad, el riesgo ambiental para la salud más importante del mundo. Si se redujera la contaminación atmosférica podrían salvarse millones de vidas.

La contaminación representa uno de los conflictos ambientales más graves, principalmente en las zonas urbanas por el crecimiento acelerado de la población, el incremento del parque automotor y el desarrollo industrial, entre otros. Por ello, es fundamental incorporar políticas y acciones que ayuden a gestionar y controlar la calidad del aire. (Ministerio del Ambiente, 2011)

Las mezclas de partículas sólidas y líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera se las conoce como partículas en suspensión de menos de 10 micras (PM 10). Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el

PM 2,5 está relacionado con las muertes prematuras de adultos, enfermedades del corazón y pulmones, afectaciones cerebrales, bronquitis, asma y otros síntomas cardio-respiratorios. (Sorgato, 2016).

No sólo las grandes ciudades o industrias producen contaminación ambiental; también urbes como la ciudad de Ibarra lo hacen. El sistema caduco de transporte es uno de los mayores contaminantes que existen en la ciudad. El descuido y despreocupación de parte de quienes manejan el tema ambiental se refleja en que no existe una máquina o un sistema para medir los niveles de gases contaminantes que arrojan las unidades de transporte urbano. (La hora, 2009).

La Organización Mundial de la Salud realizó un informe sobre la calidad del aire en 1600 ciudades del mundo, en el que mide especialmente el nivel de las partículas contaminantes PM 2,5 que son las más pequeñas y perjudiciales, ya que pueden penetrar directamente en los pulmones. Su nivel "razonable" es una media anual de hasta 10 microgramos de PM 2,5 por metro cúbico. Si la presencia es mayor, existe contaminación perjudicial para la salud y si es menor, el aire es limpio. Basado en este informe se concluye que Ibarra, se sitúa en segunda posición de las ciudades que tienen un aire más limpio, teniendo 9 microgramos de PM 2,5; estando en el límite para no tener aire nocivo para la salud. (El Telégrafo, 2014)

La creación de estaciones para controlar la calidad de aire en Ibarra está severamente limitada por el costo de construcción y administración. Los datos que se obtienen de esas estaciones son indudablemente mediciones confiables en lugares representativos por ubicarse el nodo en cierto sector de la ciudad Ibarra, pero pueden no reflejar los detalles de la distribución espacial real de contaminantes por el alcance y cobertura de este.

El uso de sensores combinado con técnicas de procesamiento adecuadas permite un sistema de detección compacto y económico, que se pueden colocar fácilmente en los vehículos. Los sistemas portátiles o móviles se pueden usar para verificar los niveles de contaminantes en las carreteras. Esos sistemas de sensores junto con estaciones de monitoreo convencionales forman una red de detección con una densidad significativamente mejorada. (Tsujita, Kaneko, Ueda, Ishida, & Moriizumi, 2003).

Es por esto por lo que se propone desarrollar un sistema embebido móvil para la toma de datos de la calidad del aire en la ciudad de Ibarra que mejore las prestaciones de la toma continua de los datos que se obtienen de los sensores que se encuentran instalados en los vehículos.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General.**

Desarrollar un sistema embebido móvil de reconocimiento de patrones de calidad del aire en la ciudad de Ibarra.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

- Realizar un análisis de relevancia en bases de datos existentes con el fin de determinar los gases más nocivos para la salud.
- Proponer un esquema de adquisición y almacenamiento de datos que represente el conjunto de variables previamente establecidas.
- Implementar en el sistema criterios de aprendizaje de máquina que permita un correcto envío de datos para ser analizados.

## 1.4 Alcance

En este proyecto se pretende desarrollar un sistema embebido móvil de reconocimiento de patrones de calidad del aire en la ciudad de Ibarra, el cual será colocado en un vehículo para realizar un mapeo por los sectores por los que recorra el automóvil y recopilar datos de la presencia de diferentes gases contaminantes para luego determinar los más críticos que existen en el ambiente, haciendo uso de los sensores de gas que irán instalados en una placa de red de sensores; la misma que será conectada a un punto estratégico del vehículo para buscar un mecanismo para la carga de la batería del sistema.

Se realizará un estudio comparativo del comportamiento de los gases determinando los más nocivos para la salud eligiendo dos de ellos para la investigación; una vez definidos se desarrollará un sistema embebido móvil el cual cuenta con una red de sensores adecuados para los gases seleccionados y un módulo GPS para obtener las coordenadas de los lugares donde serán adquiridos los datos.

Se determinará las variables que se van a medir en la toma de datos de los gases nocivos para después proponer un método de adquisición y almacenamiento de estos, se implementará en el sistema embebido móvil criterios de aprendizaje de máquina que permitirán el análisis de los datos previamente almacenados en una memoria idónea para el proceso.

Se establecerá los requerimientos del sistema para realizar una comparativa entre las diferentes plataformas de desarrollo open source que existen en el mercado usando el método IEEE 29148. Al finalizar la elección del software se analizará que parámetros se van a generar en el entramado de la información que permitirán un correcto entendimiento entre el transmisor y el receptor, que ayudará al envío de datos para ser analizados posteriormente; para establecer estos criterios es

necesario implementar el sistema en el automóvil, establecer parámetros de funcionamiento que permitan comprobar que se cumplan con el criterio de que la toma de datos en un determinado tiempo es adecuado, sin pérdida de datos.

Se determinará la forma idónea de empotrar el sistema en el automóvil buscando el lugar adecuado y la manera de proteger el sistema de condiciones climáticas, para que este proyecto que se fundamenta en el análisis de la relatividad del tiempo de los datos tomados con el auto en movimiento haciendo uso del módulo GPS sea más preciso; se realizarán las pruebas y calibración adecuada del sistema.

### **1.5 Justificación**

En Ecuador se han realizado varios análisis sobre la contaminación ambiental, en torno al 80% de las personas que viven en zonas urbanas están expuestas a niveles de calidad del aire que no respetan los límites fijados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). (El Comercio, 2016).

En el Ecuador existe la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire, que tiene como objetivo principal el preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Pese a esto no se cuenta con información precisa del estado de la calidad del aire, esto se debe a que la gestión en ese sector es de origen reciente.

La ciudad que posee información diaria y confiable sobre las emisiones de los contaminantes del aire (monóxido de carbono, dióxido de azufre, material particulado, óxidos de nitrógeno, ozono e hidrocarburos no consumidos) es Quito, debido a que posee una Red de Monitoreo Atmosférico, no obstante, en Guayaquil, Cuenca y Ambato se han realizado mediciones de estos contaminantes a partir de finales de los años 1970 hasta principios de los 1990. (pnuma.org, s.f.)

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal San miguel de Ibarra (GAD-I) preocupado por la salud de la ciudadanía a buscado implementar proyectos que ayuden en el mejoramiento de la calidad de aire, desde el año 2012, Ibarra cuenta con una estación automática de Monitoreo de calidad del aire para PM10 y a partir del año 2013 se inició con las estaciones de monitoreo pasivo para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), benceno y partículas sedimentables. Lo que ha permitido contar con datos de las mediciones de contaminantes atmosféricos en la ciudad. (Loachamín, 2017).

El Director de Gestión Ambiental del Municipio de Ibarra, comenta que el cambio climático es una tarea que tiene que ser tratada de manera técnica. Por este motivo el presente proyecto de titulación será de gran aporte a la comunidad ya que traerá consigo beneficios como el reconocimiento de los sectores con mayor cantidad de gases nocivos para la salud para poder ser tratados por los entes respectivos y mejorar esta situación. La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire con la que cuenta la ciudad de Ibarra actualmente está localizada en cinco puntos en función de las áreas urbanas, zonas de alto tráfico vehicular, principales poblados y en zonas estratégicas por su valor paisajístico, cada estación se encuentra en sitios con características ambientales diferentes. Todos estos datos son tomados de manera estática, la información recolectada es analizada cada 30 días.

Es por esta razón se determina que el uso de mecanismo tradicionales no permiten el conociendo adecuado de las condiciones de la calidad del aire de la ciudad, el uso de tecnologías y el manejo de sistemas móviles permitirán un mejor acercamiento a los de datos reales por eso el presente proyecto de titulación a realizarse pretende realizar la toma de datos móviles para obtener una base de datos más específica en lugares en donde exista mayor congestión vehicular a ciertas horas y así poder facilitar el muestreo de los datos sin omitir sectores de la ciudad de Ibarra,

automatizando este proceso para mejorar los análisis de la calidad del aire, brindando información de las coordenadas donde existe mayor concentración de gases nocivos para la salud.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se realizará la sustentación bibliográfica, que abordará temas como las condiciones ambientales, el origen de los gases, enfermedades; mismo que ayudará para la elección de gases a analizar, también se hablará de los sensores y sistemas embebidos.

### 2.1 Condiciones Ambientales

Al existir determinadas condiciones ambientales permite el desarrollo de la vida en el planeta, tanto vida animal, vegetal y también están los microorganismos que se desarrollan a una escala microscópica (De Miranda, 2017). Con el paso del tiempo la vida ha ido evolucionando y el ser humano no es la excepción, el ser humano ha desarrollado máquinas que permiten hacer diferentes trabajos, y esto ha alterado las condiciones ambientales del planeta.

#### 2.1.1 Cambios climáticos

Para estudiar las condiciones ambientales que se tenían hace miles o millones de años se utilizan los testigos de hielo. Los testigos de hielo son muestras de hielo extraídas a diferentes profundidades, se lo hace en lugares donde hay capas profundas de hielo como en Groenlandia y la Antártida. Estudios sugieren que en el hemisferio norte ocurrieron dos eventos climáticos importantes, esto tuvo acontecimiento en el último milenio (Tonni, 2018).

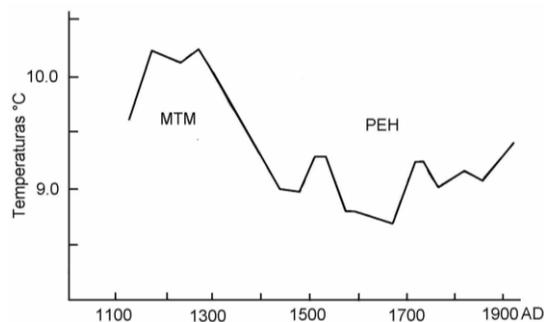


Figura 1. Temperatura Media Anual en Europa  
Fuente: (Tonni, 2018)

Los eventos ocurridos son MTM (Anomalía Térmica Medieval) y PEH (Pequeña Edad de Hielo) y se indican en la Figura 1. Los cambios climáticos tuvieron un impacto importante sobre la distribución y la composición de los organismos vivos, incluso produjeron condiciones que ayudó a la extinción de algunas especies (Tonni, 2018). Los cambios climáticos producen que se generen nuevas condiciones ambientales que pueden generar nueva vida o producir la extinción de la existente. En el Ecuador, los Andes tropicales son zonas bastante vulnerables a los cambios climáticos, esto ha producido cambios en los patrones de lluvia (Herrador-Valencia & Paredes, 2016).

Por la experiencia adquirida con el pasar de los años, las personas sabían que en meses determinados en el Ecuador llovía y en otros meses era verano. Con estos conocimientos se aprovechaba para sembrar y cultivar determinados alimentos, pero ahora los agricultores están perdidos porque los tiempos han cambiado y no existe un patrón para determinar los meses de lluvia o de sol (Francisco & Brotons, 2016).

Los Andes tropicales sufrieron cambios climáticos considerables desde el siglo XX, entre los años 1939 y 2006 la temperatura aumento  $0.7^{\circ}\text{C}$ . El aumento de la temperatura da la pauta para entender el retroceso de los glaciares que han sufrido los nevados. En Venezuela, los cinco glaciares que quedan han perdido el 95% de su superficie desde el año 1850, mientras que en Colombia han desaparecido 8 glaciares en el último siglo, actualmente conservan seis cadenas montañosas con glaciares (Vuille, 2013). La mayor parte de cambios que se experimentan actualmente se debe a la liberación de dióxido de carbono que se libera en la atmosfera además de otros gases.

### **2.1.2 Origen de los Gases Nocivos**

Según Altamirano y Meneses (2018) afirman que: “La contaminación del medio ambiente provoca enfermedades y malestar en los habitantes de todas las ciudades, el gas contaminante más común es el “esmog” que se genera por la mezcla de hidrocarburos volátiles con contaminante secundarios como el ozono, radicales, entre otros” (p. 25).

Los contaminantes vienen de los compuestos orgánicos volátiles que provienen de fuentes naturales como bosques y animales rumiantes, también provienen de fuentes antropogénicas como las industrias o de desechos domésticos. Los contaminantes orgánicos volátiles son el benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos que están clasificados como contaminantes peligrosos de aire por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (Altamirano & Meneses, 2018).

En el Ecuador el mayor porcentaje de la contaminación atmosférica es debido a la contaminación producida por el parque automotor con el 76%, mientras que por fuentes naturales el porcentaje es del 15%.

#### ***2.1.2.1 Monóxido de Carbono (CO)***

El monóxido de carbono (CO) es un gas que no se percibe en el ambiente ya que es incoloro (sin color), inodoro (sin olor) e insípido (sin gusto). No irrita nariz, ni garganta. La intoxicación por monóxido de carbono se puede confundir con un cuadro gripal, intoxicación alimentaria o infarto. Puede ser mortal o dejar daño irreversible en el cerebro, con afectación en el aprendizaje y la memoria, entre otros (Garrahan, 2015).

El CO se encuentra en el humo de la combustión, como lo es el expulsado por automóviles y camiones, candelabros, estufas, fogones de gas y sistemas de calefacción.

### **2.1.2.2 Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) son los únicos óxidos de nitrógeno en la atmósfera e introducidos por el hombre, se producen a causa de las altas temperaturas alcanzadas en las combustiones provocadas por la combinación directa entre el oxígeno y el nitrógeno del aire dando como resultado el óxido nítrico (NO), y éste a su vez se oxida parcialmente a NO<sub>2</sub> (EL TIEMPO, 2015).

Los vehículos de gasolina, y los motores de diésel emiten óxidos de nitrógeno con proporciones variables de NO<sub>2</sub> y NO, las principales fuentes emisoras de óxidos de nitrógeno a la atmósfera urbana son los vehículos especialmente los de motor a diésel y en menor medida las instalaciones de combustión como las calefacciones.

### **2.1.3 Enfermedades**

Al estar expuestos a gases nocivos en el día a día, las personas experimentan molestias y enfermedades de las vías respiratorias. Las enfermedades crónicas pueden ser detectadas en su etapa inicial mediante un estudio de la función pulmonar, esto evitaría que personas puedan llegar a desarrollar cáncer en algún órgano que conforma el sistema respiratorio. Estos gases nocivos son los humos negros procedentes de vehículos automotores y de fábricas que utilizan combustibles fósiles, están cargados de varias partículas como hollín, alquitrán, óxido de azufre, residuos de carbón, entre otros elementos contaminantes (Martínez-López & Díaz-Valencia , 2015).

El número de muertes que se atribuyen a la contaminación del aire es de 3,8 millones anualmente (Organización Mundial de la Salud, 2018), las enfermedades más frecuentes que causaron la muerte fueron:

- Neumonía (27%)

- Accidente cerebrovascular (18%)
- Cardiopatía isquémica (27%)
- Neumopatía obstructiva crónica (20%)
- Cáncer de pulmón (8%).

Estas enfermedades son las que causaron la muerte según estudios de la OMS que llevan a cabo en todo el mundo. Las enfermedades respiratorias están asociadas a la contaminación del aire exterior e interior, y se estima que en países industrializados un 20% de las enfermedades son atribuibles a la contaminación medioambiental y los niños son los más vulnerables (Vargas Marcos, 2005).

Otra enfermedad que las personas pueden desarrollar son las alergias, produciendo tos y estornudos constantes, irritación de los ojos, comezón de la piel. Puede producir agotamiento físico, disminuir la productividad en el trabajo y en la escuela, irritabilidad, ansiedad. Además de enfermedades que afectan a las vías respiratorias también pueden afectar al sistema digestivo, pueden producir trombosis, dar lugar a formación de coágulos de sangre y disminuir la capacidad que tiene la sangre para transportar oxígeno (Carmen Mera, 2013).

#### **2.1.4 Límites de contaminación**

La contaminación del aire es un riesgo medioambiental para la salud de las personas, un estudio realizado en el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer llegó a la conclusión de que la contaminación en el aire es carcinógena y que está relacionado con el aumento de la aparición del cáncer (Organización Mundial de la Salud, 2018)

Las fuentes de contaminación del aire exterior no pueden ser controladas solo por las personas, también se requiere que las ciudades actúen y tomen medidas para disminuir las fuentes de contaminación. Existen diferentes ejemplos de prácticas que han funcionado y disminuido la contaminación:

- En la industria al utilizar tecnologías limpias reducen la emisión de las chimeneas industriales.
- En el sector energético optar por energía limpia como la hidráulica, eólica o solar.
- En el transporte de personas al interior de zonas urbanas la utilización de vehículos pesados que generen bajas emisiones.
- Los desechos municipales y agrícolas reciclando y reutilizando, mejorando la gestión biológica de los desechos y no incinerándolos.

Los umbrales y límites de contaminación atmosférico proporcionados por la OMS se aplican en todo el mundo y se basa en la evaluación realizada por expertos, las pruebas conciernen a partículas (PM), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) (Organización Mundial de la Salud, 2018). Los límites y umbrales de contaminación se encuentran actualmente en proceso de revisión y se espera que la publicación de los nuevos límites se publique en el 2020.

#### ***2.1.4.1 Material Particulado Atmosférico (PM)***

El material particulado atmosférico denominado (PM) son un indicador común de la contaminación del aire, los componentes principales son los sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, el hollín y los polvos minerales. Las partículas con un diámetro menor a 10 micrones pueden alojarse en los pulmones y causar enfermedades, pero las partículas más dañinas son las

que tienen un diámetro menor o igual a 2.5 micrones. Su peligrosidad se debe a que pueden atravesar las membranas de los pulmones y entrar en el sistema sanguíneo lo que ocasiona que se desarrolle enfermedades cardiovasculares y pulmonares (Londoño & Vasco, 2008).

Las mediciones de la calidad del aire se basan en la concentración media diaria o anual de las partículas  $PM_{10}$  por metro cúbico de aire. Esta medición se expresa en micrómetro sobre metro cúbico ( $\mu/m^3$ ), cuando se tiene instrumentos altamente sensibles también se miden las concentraciones de las partículas  $PM_{2.5}$ .

Los límites fijados para los PM son:

- Para partículas finas ( $PM_{2.5}$ ) la media anual es de  $10 \mu g/m^3$ , y la media diaria es de  $25 \mu g/m^3$ .
- Para partículas gruesas ( $PM_{10}$ ) la media anual es de  $20 \mu g/m^3$ , y la media diaria es de  $50 \mu g/m^3$ .

#### **2.1.4.2 Ozono ( $O_3$ )**

La contaminación del aire no se produce solo por la exposición a las partículas, también se produce por el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. El ozono a nivel del suelo no debe confundirse con la capa de ozono en la atmósfera, el ozono a nivel del suelo es un componente principal de la niebla tóxica (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Los límites fijados para el ozono son:

- $100 \mu g/m^3$  de media en 8h.
- Dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ )

Los límites fijados para el dióxido de nitrógeno son:

- 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media anual.
- 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media en 1h.

La concentración de 200  $\text{mg}/\text{m}^3$  en periodos cortos genera un gas tóxico que causa inflamación a las vías respiratorias, constituyen una parte importante de las  $\text{PM}_{2,5}$  se genera por los procesos de combustión de calefacción, motores de vehículos y de barcos (Organización Mundial de la Salud, 2018).

#### ***2.1.4.3 Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )***

Los límites fijados para el dióxido de azufre son:

- 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media en 24h.
- 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media en 10 min.

La concentración de 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  no debe superarse en periodos de 10 min porque estudios han demostrado que una persona con asma experimenta cambios en su función pulmonar con solo estar expuestos a este gas por un tiempo de 10 minutos. El gas es incoloro, pero tiene un olor fuerte que se genera por la quema de combustibles (Moreno Jiménez, 2007).

#### ***2.1.4.4 Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ )***

Los límites fijados para el monóxido de carbono son:

- 5000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media en 8 horas consecutivas

Estar expuesto a altos niveles de CO puede producir la carboxihemoglobina que afecta al sistema nervioso central provocando cambios funcionales cardíacos y pulmonares, dolor de cabeza, fatiga, somnolencia, fallos respiratorios y hasta la muerte (Secretaría del Ambiente, 2017).

#### 2.1.4.5 Ácidos de Nitrógeno

Los límites fijados para el monóxido de carbono son:

- 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en un periodo de promedio de una hora

En concentraciones de corta duración superiores a 200  $\text{mg}/\text{m}^3$ , es un gas tóxico que causa una importante inflamación de las vías respiratorias. Es la fuente principal de los aerosoles de nitrato, que constituyen una parte importante de las PM<sub>2.5</sub> y, en presencia de luz ultravioleta, del ozono (Organización Mundial de la Salud, 2018).

En la Figura 2 se presenta las categorías que han sido definidas por la IQCA (Índice Quiteño de la Calidad del Aire) la misma que está basado en la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire, en la que se indica los valores límites para cada contaminante compun existente en la atmósfera.

Rango	Categoría	CO <sup>a</sup>	O <sub>3</sub> <sup>b</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>c</sup>	SO <sub>2</sub> <sup>d</sup>	PM <sub>2.5</sub> <sup>e</sup>	PM <sub>10</sub> <sup>f</sup>
0–50	Nivel deseable	0–5000	0–50	0–100	0–62.5	0–25	0–50
51–100	Nivel aceptable	5001–10000	51–100	101–200	63.5–125	26–50	51–100
101–200	Nivel de precaución	10001–15000	101–200	201–1000	126–200	51–150	101–250
201–300	Nivel de alerta	15001–30000	201–400	1001–2000	201–1000	151–250	251–400
301–400	Nivel de alarma	30001–40000	401–600	2001–3000	1001–1800	251–350	401–500
401–500	Nivel de emergencia	>40000	>600	>3000	>1800	>350	>500

Figura 2. Límites numéricos de las categorías de los niveles de gases ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Fuente: (Secretaría del Ambiente, 2017)

### **2.1.5 Calentamiento Global**

Con la llegada de la revolución industrial, el aumento de la temperatura se incrementó y esto dio origen a la teoría del calentamiento global. Desde el año 1901 al 2012 se aprecia un incremento de la temperatura de 0.85°C, esto implica un cambio en el nivel del mar (Stocke, Dahe, & Plattner, 2013). Los científicos comenzaron a alertar a la población mundial, y los ecologistas impulsaron aún más esta advertencia, en la actualidad se considera que el planeta está experimentando grandes cambios del clima que son ocasionados por la contaminación producida por el hombre y las industrias (Guajala & Carlos, 2015).

La falta de concientización y la explotación indiscriminada de los recursos naturales han acelerado el cambio climático, como evidencias se tiene que los fenómenos como huracanes, tsunamis han sido de intensidades nunca antes vistas, complementando a esto, se evidencia el derretimiento de las capas de hielo. Países como Noruega, Suecia, Suiza entre otros, comienzan a buscar soluciones para evitar la contaminación que destruye al planeta (Guajala & Carlos, 2015).

En algunas partes del mundo se puede experimentar sequías, mientras que en otras partes pueden sufrir inundaciones, los lugares fríos se empiezan a calentar y se derrite las capas de hielo, por ello también al calentamiento global se lo asocia con las palabras cambio climático (Vide, 2008). El calentamiento global se produce porque los gases como el metano, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono entre otros generan un cambio fisicoquímico en la atmosfera produciendo el conocido “efecto invernadero” (Castilla, 2015).

Existen personas que creen que el calentamiento global es producido por fenómenos naturales y que es parte de los ciclos de la tierra (Delgado & Romero, 2007). No creen que se deba principalmente a las actividades que realizan los humanos. Estas personas afirman que la tierra ya

ha pasado por situaciones similares de calentamiento y enfriamiento como los que se presentan actualmente (Alonso, 2013).

### **2.1.6 Situación Actual Ibarra**

En un estudio de la calidad de aire se indica que en Ibarra se inició una red de monitoreo para PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, (Loachamín, 2017) y cuenta con cinco puntos de monitoreo que se ubican en zonas estratégicas:

- Mercado Amazonas (Altos del Mercado Amazonas)
- Alpachaca (Bodega Municipal)
- Arcángel (Mirador San Miguel Arcángel)
- Atahualpa (Tanques de agua de EMAPA)
- Yahuarcocha (Muelle de la laguna de Yahuarcocha)

El equipo usado es de la marca Thermo Scientific, semiautomático de alto volumen para la recolección de muestras durante un periodo de 24 horas, cada seis días como lo establece la NECA. Los resultados obtenidos del monitoreo del periodo 2012-2015 indican que el promedio anual de PM<sub>10</sub> no superó los límites establecidos que son  $20 \mu g/m^3$ , lo mismo sucede con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno. De esto se concluye que la ciudad de Ibarra no presenta problemas de contaminación por PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>. El trabajo de titulación realiza la observación de que si el parque automotor aumenta los niveles de concentración de contaminantes atmosféricos pueden llegar a niveles críticos.

El diario “EL NORTE” hace una publicación en la que menciona que Ibarra es la segunda ciudad con el aire más puro en Latinoamérica porque en los datos que entregan las ciudades a la OMS, Ibarra indica que tiene  $9 \mu g/m^3$  en concentración de  $PM_{2,5}$ , pero en  $PM_{10}$  tiene una concentración de  $18 \mu g/m^3$  (EL NORTE, 2014).

Otra publicación por parte del diario “HOY en Imbabura” menciona que Ibarra es la ciudad con menos aire contaminado del continente. La consulta realizada al equipo técnico de la municipalidad confirma que la ciudad se mantiene dentro de los parámetros que establece la OMS. La Directora de Gestiona Ambiental del GAD-Ibarra Dayana Albán, explica que en la ciudad tiene cinco puntos de monitoreo que se ubicaron de forma estratégica porque en esos puntos existen mayor circulación de automotores y mayor concentración de la población (HOY En Imbabura, 2017).

### **2.1.7 Comparación de Proyectos**

En el proyecto realizado (Castro & Abad , Medición de los niveles de contaminación de CO y CO<sub>2</sub>, a través de un sistema electrónico basado en PLC´ s, para el monitoreo de la calidad del aire en la Universidad Católica de Cuenca, 2015) sobre la Medición de los niveles de contaminación de CO y CO<sub>2</sub>, proponen un sistema para la medición de gases contaminantes, humedad, temperatura y presión atmosférica. Para la medición de CO y CO<sub>2</sub> utilizan el sensor Swisessor que viene incorporado con un display. Para el control utilizan un PLC de la marca SIEMENS, y todos los datos que recolecta envían a una central en la cual se genera una base de datos.

La medición de la calidad de aire en lugares donde existen empresas es importante para saber si cumplen con las normas de calidad, por ello en la tesis de (Valverde, 2015), se toman muestras de la calidad del aire haciendo uso de equipos especializados. Cuenta con equipos que miden el

plomo, el PM10, dióxido de azufre, el sulfuro de hidrógeno y el monóxido de carbono. El resultado de esta investigación determinó que las avenidas cercanas a las empresas se encuentran parcialmente contaminadas. Los métodos de análisis que se utilizaron se indican a continuación:

- SO<sub>2</sub> usa el método de muestreo activo de Thorin
- CO usa el método Methods air sampling and analysis Intersociety
- H<sub>2</sub>S usa el método colorimétrico de azul de metileno Jacob.

En esta investigación mencionan los dispositivos que utilizan para medir los diferentes gases que se encuentran en el aire, y los resultados que se obtuvieron luego de realizar el estudio de la calidad del aire, pero no se crea un dispositivo.

En los últimos años, la utilización de vehículos aéreos no tripulados ha ido aumentando, y en la investigación de (Gordon, Salazar, Vinueza, Montenegro, & Vera, 2017) lo utilizan para la medición de la calidad de aire. Para el desarrollo utilizan un Dron, un módulo recolector de datos y una estación fija en tierra. Los datos que se recolectan son de los gases monóxido de carbono, dióxido de azufre, ozono, dióxido de nitrógeno. Para la transmisión de los datos desde el dispositivo hasta la estación en tierra utilizan radiofrecuencia y los almacena en una base de datos. Para realizar el vuelo autónomo se le envían rutas preprogramadas anteriormente para que el dispositivo las siga y realice la toma de datos del aire.

## **2.2 Sensores**

### **2.2.1 Introducción**

Las aplicaciones desarrolladas actualmente con la electrónica no serían posibles sin la utilización de unos componentes especiales llamados sensores. Los sensores proveen la capacidad

de medir magnitudes físicas para poder analizarlas y controlarlas. En la industria se automatizan procesos y es necesario contar con sensores que monitorean las diferentes variables para asegurar que el producto que se desarrolla cumpla con las exigencias de la industria (Areny, 2004).

Los sensores tienen características estáticas y dinámicas, las características estáticas se refiere a cuando están midiendo magnitudes estables, sin que sufran cambios bruscos de magnitud. Mientras que las características dinámicas se refieren a cuando se está realizando la medición de una magnitud y esta tiende a cambiar bruscamente (Mecafenix, 2017). Por un lado, las características estáticas se las describe en la Tabla 1 y por otro lado las características dinámicas en la Tabla 2.

Tabla 1. Descripción de las características estáticas

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
<b>Rango</b>	Es el conjunto de valores comprendidos entre el valor máximo y el valor mínimo que detecta el sensor.
<b>Resolución</b>	Es la mínima diferencia entre dos valores próximos que el sensor puede distinguir.
<b>Sensibilidad</b>	Es la variación de la salida del sensor que es producida por una variación en la entrada del sensor.
<b>Linealidad</b>	Equivalente a una sensibilidad constante.
<b>Offset</b>	El valor a la salida del sensor cuando la magnitud a medir es nula.
<b>Histéresis</b>	Diferencia entre los valores que se obtiene cuando la magnitud va de menos a más y de más a menos.
<b>Precisión</b>	Capacidad que tiene el sensor para obtener el mismo valor de salida cuando se hacen varias lecturas de la misma magnitud en las mismas condiciones.
<b>Exactitud</b>	Diferencia entre el valor teórico de la salida y el valor real.

Fuente: Adaptado de (Areny, 2004) (Mecafenix, 2017)

Tabla 2. Descripción de las características dinámicas

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
<b>Velocidad de respuesta</b>	Capacidad que tiene el sensor para seguir las variaciones de la señal de entrada sin producir retrasos.
<b>Respuesta Frecuencial</b>	Relación entre la sensibilidad y la frecuencia, se representa mediante un diagrama de Bode.
<b>Estabilidad</b>	Desviación de la salida del sensor al modificar para metros exteriores distintos a la magnitud a medir.

Fuente: Adaptado de (Mecafenix, 2017)

### 2.2.2 Tipos

Existen diferentes tipos de sensores que miden diferentes variables como se indica a continuación:

- Posición angular o lineal
- Desplazamiento y deformación
- Velocidad lineal y angular
- Aceleración
- Presiona
- Caudal
- Temperatura
- Presencia
- Táctiles
- Proximidad

- Acústico
- Sensor de acidez
- Luz
- Captura de movimiento

También se los puede clasificar en varios tipos:

### 2.2.2.1 Por su funcionamiento.

- **Moduladores o Activos:** Para la alimentación de corriente requiere de una fuente externa de energía para su funcionamiento. Los sensores moduladores varían un parámetro eléctrico en función de la variable a medir (Pallás Areny, 2003).
- **Generadores o Pasivos:** Las condiciones medioambientales donde se encuentra el sensor permiten la alimentación de corriente y así el correcto funcionamiento de este. Están basados en efectos reversibles.

En la Figura 3 se indica un Sensor Pasivo y un Activo respectivamente.

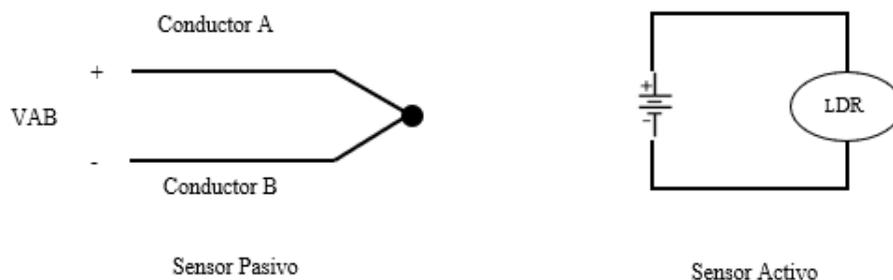


Figura 3. Sensores clasificados por su funcionamiento

Fuente: (Pallás Areny, 2003)

### ***2.2.2.2 Por las señales que proporcionan***

- **Analógicos:** proporcionan información mediante una señal analógica, es decir pueden tomar infinidad de valores. La salida varia, de forma continua, la información está en la amplitud.
- **Digitales:** proporcionan información mediante una señal digital, puede ser un “0” o “1” lógicos, o bien un código binario. La salida varia en forma de saltos o pasos discretos, tienen mayor fidelidad y fiabilidad; en algunos casos mayor exactitud, pero lamentablemente no hay modelos digitales de las magnitudes físicas que tiene mayor importancia (Pallás Areny, 2003).

### ***2.2.2.3 Por su naturaleza de funcionamiento***

- **Posición:** tiene variación en función a la posición en ocupan los componentes que lo componen.
- **Fotoeléctricos:** tienen variación en dependencia de la luz que incide sobre los mismos.
- **Magnéticos:** varían dependiendo del campo magnético que les atraviesa.
- **Temperatura:** Tienen variaciones en función de la temperatura que tiene el lugar donde se encuentra.
- **Humedad:** tienen variaciones dependiendo de la humedad del lugar donde se encuentren ubicados.
- **Presión:** depende de la presión a la que son sometidos.
- **Movimiento:** Sus datos varían dependiendo al movimiento a los que se los somete.

- **Químicos:** experimentan variaciones en función de los agentes químicos externos que pudieran incidir sobre ellos.

#### *2.2.2.4 Por los elementos utilizados en su fabricación*

- **Mecánicos:** utilizan contactos mecánicos que se abren o cierran.
- **Resistivos:** utilizan en su fabricación elementos resistivos.
- **Capacitivos:** Utilizan en su fabricación condensadores.
- **Inductivos:** Utilizan en su fabricación bobinas.
- **Piezoeléctricos:** utilizan en su fabricación cristales como el cuarzo.
- **Semiconductores:** utilizan en su fabricación semiconductores.

#### **2.2.3 Adquisición de datos**

Es el proceso de muestreo de señales que permiten medir las magnitudes físicas del mundo real y convertirlas en valores numéricos que puedan ser manipuladas por una computadora. A los sistemas de adquisición de datos se los conoce como DAQ y convierten las señales analógicas en canales digitales para poder manipularlas y realizar su procesamiento. Existen software de código abierto y de paga que permiten controlar las aplicaciones de adquisición de datos, el software de código abierto lo proporcionan las comunidades científicas porque necesitan un software que sea rápido, flexible y adaptable (JM Industrial, 2017).

Los sensores son conectados a las tarjetas de adquisición de datos y esta a su vez se conecta a un computador, en la actualidad la comunicación entre el DAQ y la computadora es mediante cable USB. Al tener los datos hace falta el software que permite la manipulación de estos datos. Existen

DAQ desarrolladas por empresas que cobran por el software para su utilización, entre ellas esta National Instruments. Ellos proporcionan tanto el Hardware como el Software, el software que proporcionan se llama LabVIEW. Existe hardware de que se maneja con código abierto que son mucho más baratos como el Arduino al cual se le puede programar para que funcione como una DAQ y controlarlo con el software que se desee.

Otro hardware que es de código abierto es la placa Raspberry que permite convertirla en una DAQ y además puede programarse usando el lenguaje de programación Python, este lenguaje permite al usuario realizar varias aplicaciones y con la conectividad Wifi que proporciona Raspberry puede controlarse y monitorearse todo mediante una aplicación web o incluso crear su propia aplicación para celular y monitorearla desde ese dispositivo.

#### **2.2.4 Errores de lectura**

Los instrumentos que se emplean para el control de un proceso en la industria tienen diferentes terminologías que caracterizan a un dispositivo, por ello se ha unificado la terminología para que tanto los fabricantes y usuarios empleen el mismo lenguaje. No todo puede ser perfecto como en un mundo ideal, por ello al hacer mediciones las lecturas que se obtienen nunca son exactamente iguales, aunque se repita bajo las mismas condiciones (Rodríguez, 2015). Los errores que se tiene al realizar una lectura son:

- **Error del operador:** se da por falta de agudeza visual del operador, del cansancio o por el descuido de este.
- **Error por instrumentos mal calibrados:** los instrumentos que no han sido calibrados correctamente proporcionan errores en la lectura de datos.

- **Error por la fuerza utilizada al efectuar la medición:** cuando se realiza una medición si se utiliza demasiada fuerza puede provocar deformaciones en la pieza que se desea medir.
- **Error por instrumento inadecuado:** el uso de instrumentos que no están diseñados específicamente para medir una variable generan datos erróneos, por ello se debe utilizar el instrumento o equipo adecuado para realizar la medición según amerite el caso.
- **Error por punto de apoyo:** cuando se utilizan instrumentos que tiene una longitud grande, el cómo se apoya el instrumento provoca errores en la lectura, para esos casos es necesario utilizar apoyos especiales.
- **Errores por método de sujeción del instrumento:** la forma con la que se sujete al instrumento puede generar errores al momento de realizar la lectura.
- **Error por distorsión:** la inexactitud que causa la distorsión de un instrumento puede evitarse considerando que el eje de medición sea el mismo eje que del instrumento.
- **Error de paralaje:** este error se debe a la mala ubicación del operario al realizar la lectura del instrumento.
- **Error por desgaste:** se debe a que los instrumentos para la medición son susceptibles al desgaste como cualquier dispositivo.
- **Error por condiciones ambientales:** entre los factores más comunes que generan un error en la lectura esta la humedad, el polvo, las interferencias electromagnéticas.

### 2.2.5 Acondicionamiento de señal

Antes de conectar los sensores a una tarjeta de adquisición de datos se debe acondicionar la señal de salida de los sensores para que la DAQ pueda medir con precisión. El acondicionamiento de la señal varía dependiendo del sensor que se use, ningún dispositivo puede proporcionar el acondicionamiento para todos los sensores. Esto se debe a que los sensores proporcionan diferentes señales de salida, algunas necesitan ser linealizadas y amplificadas, mientras que otras necesitan ser energizadas para que funcionen (National Instrument, n.d).

A continuación, en la Tabla 3 se indica los tipos más comunes de acondicionamiento de las señales:

Tabla 3. Tipos de acondicionamiento

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
<b>Amplificación</b>	Incrementan el nivel de voltaje para que sea el adecuado para que el convertidor analógico-digital lo detecte (ADC).
<b>Atenuación</b>	Se necesita reducir el nivel de voltaje para no dañar el ADC porque excede del rango de trabajo del ADC.
<b>Filtrado</b>	Las señales son propensas a interferencias, por ello se utilizan filtros para eliminar esas interferencias.
<b>Excitación</b>	Algunos sensores necesitan de una fuente de alimentación externa para funcionar.
<b>Linealización</b>	Cuando la señal que produce el sensor no está linealmente relacionada con la medida física que mide.
<b>Terminación del puente</b>	Algunos sensores necesitan ser acondicionados con un puente de Wheatstone como las galgas extensiométricas.

Fuente: Adaptado de (National Instrument, n.d) (MC Measurement Computing, 2012)

### 2.2.6 Sensor de Monóxido de Carbono MQ-7

El MQ-7 es un sensor que se encarga de la detección de concentraciones de monóxido de carbono en el aire, (Ver Figura 4) siempre y cuando se encuentre en concentraciones en el rango de 20 a 2000 ppm (partes por millón).

Este sensor tiene una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido. El módulo posee una salida analógica que proviene del divisor de voltaje que forma el sensor y una resistencia de carga. También tiene una salida digital que se calibra con un potenciómetro, esta salida tiene un led indicador.



Figura 4. Sensor MQ-7 de Monóxido de Carbono

Fuente: (TdRobótica, 2018)

### 2.2.7 Sensor de Calidad de Aire MQ-135

Este sensor de control de calidad de aire es usado para la detección de contaminación en el medio ambiente, por lo general es implementado en circuitos de control como alarmas en las casas, sitios donde se desea prevenir altos niveles de contaminación a nivel aeróbico como industrias que manejan compuestos químicos que pueden ser nocivos también para la salud, especialmente en equipos controladores de calidad de aire en edificios/oficinas.

Este sensor se encarga de la detección de concentración de gas en diversos porcentajes, tal y como los son sus análogos MQ-3/4/5. La señal de salida que proporciona el MQ-135 es dual, de carácter analógico y digital. Respecto a la señal analógica proporcionada, esta viene a ser directamente proporcional al incremento de voltaje. La señal digital, esta presenta niveles TTL por lo que esta señal puede ser procesada por un microcontrolador (Ver Figura 5).

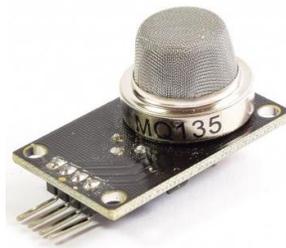


Figura 5. Sensor MQ-135

Fuente: (TdRobótica, 2018)

### **2.2.8 Sensor de temperatura y humedad (DHT11)**

El DHT11 es un sensor de temperatura y humedad digital de bajo costo. Este sensor utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire del ambiente en el que se encuentra, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos cabe indicar que este sensor no tiene pines de entrada analógica. Su uso es bastante simple, pero requiere sincronización cuidadosa para tomar datos. El único inconveniente de este sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos una vez cada 2 segundos, así que las lecturas que se pueden realizar serán mínimo cada 2 segundos (Electronilab, 2018).

Los pines del DHT11 se observan en la Figura 6:

- VCC.

- Señal.
- NC.
- GND.

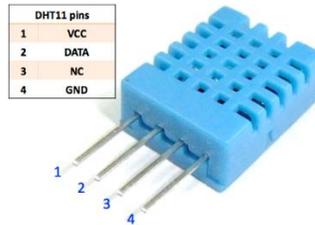


Figura 6. Pines del DTH11

Fuente: (Omniblug, 2018)

### 2.2.9 Sensor ML8511 (UV)

El módulo ML8511 es un sensor de luz ultravioleta (UV), entrega una señal analógica que depende de la cantidad de luz UV que detecta. Es usado en proyectos de monitoreo de condiciones ambientales como el índice UV.

El sensor ML8511 que se muestra en el Figura 7, detecta luz con una longitud de onda entre 280-390nm, este rango cubre tanto al espectro UV-B como al UV-A. La salida analógica está relacionada linealmente con la intensidad UV ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ). Esta señal analógica puede ser conectada a un microcontrolador para ser convertido por un conversor analógico digital (ADC) y así trabajar con la medición (NAYLAMP ELECTRONICS).



Figura 7. Sensor UV

Fuente: (NAYLAMP ELECTRONICS)

### 2.2.10 Módulo SIM 808

El SIM808 (Ver Figura 8) está integrado con un mecanismo de GSM/GPRS de alto rendimiento, un mecanismo de GPS y de BT. Este módulo de GPS/GPRS Quad-band funciona en las frecuencias de GSM 850MHz, EGSM 900MHz, DCS 1800 MHz y PCS 1900 MHz. SIM808 está diseñado con la técnica de ahorro de energía para que el consumo de corriente sea de 1mA en modo de reposo (el GPS se apaga). SIM808 integra el protocolo TCP / IP y TCP / IP extendida y los comandos AT que son muy útiles para aplicaciones de transferencia de datos (SIMCom, 2014).



Figura 8. Módulo SIM 808

Fuente: (Alibaba, 2018)

### 2.2.11 Módulo GPS NEO Ublox-6M

La serie de módulos NEO-6 es una familia de receptores GPS autónomos con el motor de posicionamiento u-blox 6 de alto rendimiento. Estos receptores flexibles y rentables ofrecen numerosas opciones de conectividad en un paquete en miniatura de 16 x 12.2 x 2.4 mm. Su arquitectura compacta y sus opciones de energía y memoria hacen que los módulos NEO-6 sean

ideales para dispositivos móviles que funcionan con baterías con costos y restricciones de espacio muy estrictos (NAYLAMP ELECTRONICS).

El motor de posicionamiento u-blox 6 (ver Figura 9) de 50 canales cuenta con un tiempo de corrección (TTFF) de menos de 1 segundo. El motor de adquisición dedicado, con 2 millones de localizadores, es capaz de realizar búsquedas masivas en el espacio de tiempo / frecuencia en paralelo, lo que le permite encontrar satélites al instante. El diseño y la tecnología innovadores suprimen las fuentes de interferencias y mitigan los efectos de múltiples rutas, brindando a los receptores GPS NEO-6 un excelente rendimiento de navegación incluso en los entornos más difíciles (Ublox, 2018).



Figura 9. Módulo GPS

Fuente: (NAYLAMP ELECTRONICS)

## 2.3 Sistemas Embebidos

### 2.3.1 Introducción

Los sistemas embebidos son sistemas de computación diseñados para efectuar funciones dedicadas en tiempo real, es decir se diseñan para cubrir necesidades específicas. Estos sistemas tienen la mayor parte de los componentes incluidos en la placa base; componentes como audio,

tarjeta de video, entre otras. Se pueden programar con diferentes lenguajes como ensamblador, C, C++ o Java (UNED, 2011)

Los sistemas embebidos deben tener las siguientes características básicas:

- Ser confiables.
- Capacidad de volver a trabajar correctamente después de un fallo.
- Tener seguridad informática.
- Eficientes en energía.
- Interfaces de usuario dedicadas.

Estos sistemas poseen un microcontrolador que efectúan un monitoreo constante del estado y realiza un diagnóstico del sistema. Para el diseño de un producto que incluye sistemas embebidos debe orientarse a la minimización de costos, maximizar la confiabilidad e incluir un diseño para la seguridad que incluya protocolos criptográficos que protejan la información (UNED, 2011).

Un SE tiene restricciones de recursos por lo que deben usar sistemas operativos especiales que se llaman RTOS (Real time operating system). Estos sistemas no tienen discos duros, teclados o monitores, en su lugar tienen unos botones, una pantalla LCD y una memoria flash.

Los SE pueden tener procesadores que son mono-núcleo, multi-núcleo o una combinación de ambos, con esto la potencia de cálculo aumenta, se tiene redundancia. Permite el paralelismo real y se ejecuta diferentes códigos con tareas coordinadas por los procesadores.

Para desarrollar sistemas embebidos existen algunos lineamientos que se deben seguir:

- **Simplicidad:** Se debe mantener lo más simple posible para que la detección y corrección de errores sea fácil.
- **Excelencia:** el diseño está fuertemente condicionado por la idiosincrasia del diseñador como del medio en el que se desarrolla, se debe establecer los metas que se quiere alcanzar.
- **Documentación:** Se recomienda recopilar documentación referente al diseño, revisando los trabajos de otros y aprendiendo de ellos.
- **Método de trabajo:** se recomienda usar el método más usado, que sea simple y seguro.

## 2.3.2 Tipos

### 2.3.2.1 Reloj de Tiempo Real (RTC)

Es un sistema embebido de tiempo real que se interacciona con su entorno físico reiteradamente, además responde a los estímulos que recibe del entorno físico dentro de un tiempo determinado. Lo importante de estos sistemas es que se ejecuten dentro de un intervalo de tiempo específico (ver Figura 10), en un sistema de tiempo real las actividades del sistema se llaman tareas (Cruz, 2013).

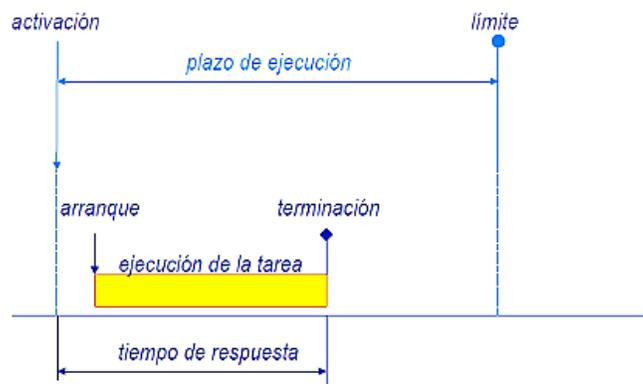


Figura 10. Ejecución de la tarea en tiempo real.

Fuente: (Cruz, 2013)

Las tareas tienen requisitos que son de dos tipos uno es el tiempo real estricto (hard real-time) y otro es el tiempo real flexible (soft real-time). El estricto requiere que todas las acciones deben terminar dentro del plazo especificado, mientras el flexible puede perder algunos pasarse algunos plazos de tiempo (Cruz, 2013).

Algunos sistemas RTC son de gran tamaño y un alto grado de complejidad, esto se da cuanto se tiene millones de líneas de código. Permiten la ejecución simultánea de acciones que funcionan al mismo tiempo, manejan dispositivos de entrada y salida especiales (Cruz, 2013).

#### ***2.3.2.2 Redes de sensores inalámbricos (WSN)***

Las Redes de sensores inalámbricos o en inglés, Wireless sensor networks, abreviadamente WSN, se basa en dispositivos de bajo costo y consumo energético, son capaces de obtener información de su entorno, para procesarla de forma local y comunicarse de forma remota con un nodo central de coordinación. La WSN está formada por diferentes dispositivos distribuidos que utilizan sensores para monitorear y controlar diferentes condiciones en diferentes locaciones (Fernandez, 2014).

Estos dispositivos son unidades autónomas que tienen su propio microcontrolador, una fuente de alimentación (batería), un sensor o varios y un radio-transceptor (ver Figura 11). Este tipo de redes tienen la capacidad de auto restauración, es decir si un nodo se daña la red buscara nuevas vías para hacer llegar la información hasta el nodo central (Fernandez, 2014).



Figura 11. Componentes de un dispositivo autónomo.

Fuente: (Fernandez, 2014)

Los elementos en una WSN pueden ser de dos tipos, la primera es incorporar los sensores, microcontroladores y radiotransmisores en la misma placa, tiene la ventaja de un menor costo de producción y de ser más robustos en entornos adversos. El segundo tipo es el de tener una placa con los sensores que se conecte a una placa que tiene el procesador y el radiotransmisor incluido (Fernandez, 2014).

### ***2.3.2.3 Procesador digital de señales (DSP)***

Los DSP o procesadores digitales de señales representan las señales de forma digital usando secuencias de muestras. Los DSP utilizan arquitecturas especiales para procesar de forma más ágil los cálculos matemáticos complejos que tienen los sistemas de procesado de señal en tiempo real.

No se debe confundir a los DSP con un microcontrolador, porque los DSP son diseñados con características que permiten procesar tareas complejas, repetitivas y numéricamente intensas, por el contrario, los microcontroladores no están especializados en ninguna aplicación especial, son de propósito general (Salazar, 2000).

Para la elección de un DSP se requiere saber la aplicación para la cual estará destinado, para ello se explica algunas características de los DSP:

- **Formato aritmético:** puede manejar aritmética con coma flotante o con coma fija, depende del programador, pero en contraste a la facilidad de programación el costo es mayor que el de coma fija (Salazar, 2000).
- **Ancho de palabra:** En coma flotante se utiliza un bus de 32 bits mientras que en el de coma fija se utiliza un bus de 16 bits. El tamaño del bus de datos también influye en el precio del DSP porque incrementa el tamaño del chip y aumenta el número de patas que tiene el encapsulado (Salazar, 2000).
- **Velocidad:** el parámetro más usual para medir la velocidad es el tiempo de ciclo de instrucción, algunos DSP tienen desplazadores combinatorios que permiten realizar desplazamientos de múltiples bits con solo una instrucción, mientras que otros necesitan varias instrucciones para realizar esa tarea (Salazar, 2000).

### 2.3.3 Aplicaciones

La aplicación de los sistemas embebidos es amplia y se citaran algunos trabajos en los cuales desarrollan aplicaciones con los SE.

En el trabajo de (Sandoval, López, Martínez, & Rivas, 2015) se realiza el reconocimiento facial usando visión por computadora para la implementación de un sistema de acceso en un hardware de arquitectura abierta. La ventaja de aplicar sistemas embebidos es el bajo consumo energético, una velocidad de cómputo alto y una precisión alta en el reconocimiento facial.

En el artículo de (Cienfuegos & Méndez, 2016) se habla sobre el desarrollo de sistemas embebidos para la industria automotriz, también menciona que en ProMéxico público un reporte en la cual destaca que existe una oportunidad para invertir en software embebido para televisiones.

En una fábrica se puede utilizar para controlar un proceso de producción, en los puntos de servicio cuando se requiere pagar se usa los sistemas embebidos. En oficinas de turismo o almacenes grandes en los cuales existen equipos con pantallas táctiles que proveen información. Los decodificadores para las televisiones tienen sistemas embebidos que decodifican la señal que viene en formato digital y la envían al televisor. Los equipos de medicina en hospitales, máquinas de revelado automático de fotos, los cajeros automáticos, etc. (Nuñez, n.d).

#### **2.3.4 Sistemas Inteligentes**

Los sistemas inteligentes son programas de computación que tienen características y comportamientos comparables al de la inteligencia humana. El sistema inteligente tiene sensores que le permiten interactuar con el entorno, comparando con el ser humano los sensores son los sentidos que este posee (Jimenez, 2018).

Este sistema puede actuar y guardar el resultado de las acciones tomadas para luego realizar una retroalimentación y aprender de la experiencia. Existen sistemas inteligentes completos e incompletos, para ser un sistema completo debe tener entre sus funcionalidades:

- Inteligencia
- Sistematización
- Objetivo
- Capacidad Sensorial
- Reglas de actuación
- Memoria

- Aprendizaje

Estos sistemas están conformados por software y hardware que permiten la interacción con el ambiente haciendo uso de los sensores, con las reglas de comportamiento y actuadores responden ante una situación. Por ejemplo, en los correos electrónicos se utilizan sistemas inteligentes para los correos spam, este sistema va aprendiendo y clasifica el correo según su aprendizaje en spam o correo importante (Jimenez, 2018).

#### ***2.3.4.1 Análisis de Datos***

El análisis de datos examina los datos en bruto es decir sin procesar para obtener conclusiones sobre la información, analizando los datos las empresas toman mejores decisiones. En la tecnología de la información el término de análisis de datos toma el significado en el contexto de auditorías informáticas, se usa para determinar si los sistemas existentes protegen los datos, opera con eficiencia y si cumple con las metas de la empresa (Rouse, 2016).

En los bancos y las compañías que ofrecen tarjetas de crédito se analizan los patrones de gasto que tiene el cliente para evitar el fraude o robo de identidad. Mientras que las compañías del comercio electrónico examinan el tráfico de los sitios web o los patrones de navegación del usuario para ofrecer publicidad dirigida teniendo mayores probabilidades de que esa publicidad sea de interés al usuario (Rouse, 2016).

Los procesos para el análisis de datos son tres, KDD (Knowledge Discovery in Databases o Proceso de extracción de conocimiento), SEMMA (Sample, Explore, Modify, Model, Assess) y CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) (Big Data International Campus, n.d), se los explicará a continuación:

- **KDD:** es un proceso que se centra en la extracción de información de un repositorio, es un método interactivo e iterativo y tiene 5 etapas
  - *Selección:* se selecciona si se va a trabajar con variables, con muestras de datos y la distribución que tienen.
  - *Preprocesamiento:* los datos se les prepara eliminando datos basura, para luego ser analizados por la herramienta de Análisis de datos.
  - *Transformación:* se utiliza métodos que permitan reducir la dimensión para aplicar las técnicas de minería de datos que sean elegidas.
  - *Minería de Datos:* se busca patrones en los datos y se intentan resolver las preguntas planteadas en la técnica seleccionada para la minería de datos.
  - *Interpretación:* en esta etapa se hacen conclusiones del estudio y se evalúan los modelos de minería utilizados.
  
- **SEMMA:** esta metodología se aplica a cualquier proceso de la minería de datos y tiene cinco etapas.
  - *Muestrear:* se obtienen muestras de los datos que sean más representativos par el análisis.
  - *Explorar:* se realiza un análisis preliminar de los datos, llegando a primeras conclusiones sobre las tendencias que tienen los datos.
  - *Modificar:* se modifican los datos aplicando transformaciones y realizando selecciones para poder crear variables que están orientadas al proceso de la selección del modelo.

- *Modelar*: con la aplicación de modelos de minería de datos se obtiene funciones que involucran a las variables elegidas anteriormente para que ayuden a predecir la variable objetivo.
- *Evaluar*: se evaluar la fiabilidad obtenida con este modelo.

#### ***2.3.4.2 Selección de Prototipos***

En el reconocimiento de patrones los clasificadores supervisados asignan una clase a nuevos prototipos, para clasificar a los prototipos se usa un conjunto de entrenamiento que proporciona información a los clasificadores durante la etapa de entrenamiento. La selección del prototipo permite reducir el tamaño de entrenamiento permitiendo una reducción de los tiempos de ejecución y entrenamiento de los clasificadores. Existen varios métodos para la selección de los prototipos, el desempeño de estos depende del uso de un clasificar particular. A continuación se mencionan los métodos: CNN (Convolutional Neural Network ), ENN (Edited Nearest Neighbor), SNN (Selective Nearest Neighbor), Mulriedit, IB (instance-based learning), DROP, ICF (Iterative Case Filtering), SETRED, GCNN (Generalized Condensed Nearest Neighbor), SV-kNNC (Support Vector k-Nearest Neighbor Clustering).(Olvera López, 2010).

#### ***2.3.4.3 Algoritmos de Clasificación***

Existen algoritmos de clasificación supervisada y no supervisada, los de clasificación supervisada utilizan un conjunto de entrenamiento para hacer que el algoritmo aprenda y pueda realizar la clasificación de datos. Mientras, que los no supervisados a partir de las propiedades de los datos intentan dar una clasificación dependiendo de la similitud en las propiedades de estos (Caparrini, 2017).

- Algoritmos de clasificación supervisada
  - *K Nearest Ne*: vecinos más cercanos, este algoritmo se basa en criterios de vecindad, compara toda la información obtenida en el conjunto de entrenamiento para determinar a donde pertenece una nueva muestra sin clasificar (Caparrini, 2017).
  - *SVM*: support vector machine clasifica los datos calculando el hiperplano que separa a los elementos de cada clase (Estévez-Velarde & Cruz, 2015).
  - *Redes Neuronales*: es un método computacional que trata de imitar el funcionamiento de las neuronas de un ser humano y permite clasificar datos calculando un plano que separe los datos (Estévez-Velarde & Cruz, 2015).
  - *Árbol de decisiones*: Este algoritmo genera de forma iterativa un árbol, eligiendo en cada nodo el atributo que maximiza la cantidad de información obtenida sobre el conjunto de entrenamiento (Estévez-Velarde & Cruz, 2015)
  
- Algoritmo de clasificación no supervisada
  - *K-medias*: es el método de clasificación más simple y se basa en fijar un número de clústers y haciendo que se aproxime por etapas sucesivas a ese número de clústers haciendo uso de los centroides de los puntos que deben representar (Caparrini, 2017).

## **2.4 General Packet Radio Service (GPRS)**

General Packet Radio Service (Servicio General de Paquetes Vía Radio) o en sus siglas GPRS, es una evolución del estándar GSM, que subsana las deficiencias de GSM en cuanto a la transmisión de datos, introduciendo una red de conmutación de paquetes que funciona de forma paralela a la de conmutación de circuitos de GSM (Prieto Donato, 2018).

GPRS permite la transferencia de datos del paquete con una tasa de datos teóricos de alrededor de 171,2 Kbits/s (hasta 114 Kbits/s en la práctica). Gracias a su modo de transferencia en paquetes, las transmisiones de datos sólo usan la red cuando es necesario (ECURED, 2018).

## **2.5 Global Positioning System (GPS)**

GPS se refiere a las siglas Global Positioning System o Sistema de posicionamiento global. Este sistema está conformado por muchos satélites que se encuentran a kilómetros fuera de la atmosfera terrestre y que continuamente están enviando señales a la Tierra por medio de radiofrecuencias (Techmake, 2018).

Para una mejor precisión en el posicionamiento, se suelen utilizar los llamadas segmentos de control que son estaciones en la tierra que se comunican con la red satelital. Debido al carácter militar del sistema GPS, el Departamento de Defensa de los EE. UU. se reservaba la posibilidad de incluir un cierto grado de error aleatorio, que podía variar de los 15 a los 100 m (Tolozza, 2013).

La precisión intrínseca del sistema GPS depende del número de satélites visibles en un momento y posición determinados.

## **CAPÍTULO III. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

En este capítulo se explica la elección de Hardware y Software necesarios para esta investigación basándose en el estándar IEEE 29148. Para esto se hace uso de una metodología de selección de sistema, el modelo en V.

### **3.1 Situación Actual**

Según el último censo realizado en el 2010 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en la ciudad de Ibarra habitamos 181175 personas, cada año existe un aumento del 8 % hasta el 11% de vehículos en Ibarra, lo que trae consigo un aumento de producción de gases emitidos por los vehículos, a esto se debe acotar la existencia de fábricas que producen gases contaminantes afectando así la salud de los ciudadanos y contribuyen a la contaminación ambiental.

Existen sectores de alta congestión vehicular como es el sector del Mercado Amazonas, a las afueras de las Instituciones Educativas tanto a la hora de ingreso como de salida, en las que se produce una acumulación de gases que pueden llegar afectar a las personas que transitan frecuentemente por esos lugares o viven en dichos lugares.

Es por esto por lo que se ha visto la necesidad de realizar un Sistema Embebido móvil para medir la calidad del aire.

#### **3.1.1 Observación Directa**

En la ciudad de Ibarra no existe un sistema móvil que mida la calidad de aire y almacene estos datos en un nodo central para ser analizados posteriormente, en años anteriores se han diseñado nodos estáticos ubicados en lugares estratégicos para la recolección de datos manualmente, los cuales eran analizados cada cierto tiempo.

La mayor contaminación que se produce es por buses que transitan por el centro de la ciudad (Ver Figura 12), ya que la mayoría de ellos no tienen constantes revisiones de emisión de gases y tiene ya varios años de estar operativos.



Figura 12. Situación actual ciudad de Ibarra

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2 Requerimientos del sistema

Para el análisis de los requerimientos del sistema se tomó como referencia el estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2011 el mismo que contiene disposiciones para los procesos y productos relacionados con la ingeniería de requisitos para ser implementado en los productos y servicios de sistemas y software a lo largo del ciclo de vida. Define la construcción de un buen requisito,

proporciona atributos y características de los requisitos (Software & Systems Engineering Standards Committee, 2011).

- **Nomenclatura de los Requerimientos.**

Para cada uno de los requerimientos se establece abreviaturas que permiten una mejor síntesis y manejo de datos, como se muestra en la Tabla 4:

Tabla 4. Descripción de la abreviatura de los requerimientos

<b>Acrónimo</b>	<b>Descripción</b>
<b>SySR</b>	Requerimientos iniciales del sistema
<b>SRSR</b>	Requerimientos de arquitectura

Fuente: (Soria, 2009)

### 3.2.1 Requerimientos iniciales del sistema

En los requerimientos iniciales del sistema (SySR) se determinan las funciones que va a realizar el sistema y lo que necesita para su funcionamiento. Ver Tabla 5.

Tabla 5. Requerimientos del sistema (SySR)

<b>SySR</b>				
<b>REQUERIMIENTOS INICIALES DEL SISTEMA</b>				
<b>#</b>	<b>REQUERIMIENTOS</b>	<b>PRIORIDAD</b>		
		<b>Alta</b>	<b>Media</b>	<b>Baja</b>
<b>REQUERIMIENTOS DE USO</b>				
<b>SySR1</b>	Conexión del sistema embebido a su fuente de energía para su encendido.	✓		
<b>SySR2</b>	Toma de datos de forma rápida y en tiempo real.		✓	
<b>SySR3</b>	El sistema debe mantener su integridad en los diferentes cambios climáticos que se presenten.	✓		
<b>SySR4</b>	La conexión del sistema embebido debe tener un conversor de 12Vcc a 5Vcc	✓		
<b>REQUERIMIENTOS DE PERFORMANCE</b>				
<b>SySR5</b>	El sistema debe inicializarse cuando se encienda el vehículo	✓		

<b>SySR6</b>	Debe almacenar su posicionamiento	✓
<b>SySr7</b>	El sistema se apaga en caso de lluvia	✓
<b>REQUERIMIENTOS DE MODOS/ESTADOS</b>		
<b>SySR8</b>	Evaluación de todos los parámetros de los sensores	✓
<b>SySR9</b>	El sistema debe recolectar datos cada 3 minutos aproximadamente.	✓
<b>SySR10</b>	Los datos deben ser enviados a la nube	✓
<b>REQUERIMIENTOS FÍSICOS</b>		
<b>SySR11</b>	El sistema debe tener una infraestructura que soporte los cambios climáticos.	✓
<b>SySR12</b>	Los sensores de gas deben ubicarse lo más expuestos al ambiente.	✓

Fuente: Elaboración Propia basado en: (Soria, 2009)

### 3.2.2 Requerimientos de arquitectura

Los requerimientos de arquitectura se refieren a los componentes del sistema electrónico. En la Tabla 6 se listan los mismos:

Tabla 6. Requerimientos de arquitectura (SRSH)

<b>SRSH</b>		
<b>REQUERIMIENTOS DE ARQUITECTURA</b>		
#	REQUERIMIENTOS	<b>PRIORIDAD</b>
		Alta   Media   Baja
<b>REQUERIMIENTOS DE DISEÑO</b>		
<b>SRSH1</b>	Para la red de sensores se debe diseñar una caja que permita que los sensores estén protegidos cuando haya lluvias.	✓
<b>SRSH2</b>	Los sensores deben estar expuestos al ambiente para la correcta recolección de datos	✓
<b>SRSH3</b>	El sistema de posicionamiento debe estar ubicado en un lugar donde no tenga interferencias con los demás elementos.	✓
<b>REQUERIMIENTOS DE HARDWARE</b>		
<b>SRSH4</b>	Sistema embebido con entradas y salidas análogas y/o digitales para manejo de sensores	✓

<b>SRSH5</b>	El sistema embebido debe tener una plataforma computacional física open-source	✓
<b>SRSH6</b>	El sistema embebido debe permitir la conexión de varios sensores	✓
<b>SRSH7</b>	El sistema embebido debe tener un voltaje de funcionamiento de 5V a 12V	✓
<b>SRSH8</b>	El sensor debe medir los niveles de Monóxido de Carbono	✓
<b>SRSH9</b>	El sensor debe adaptarse al sistema embebido	✓
<b>SRSH10</b>	El sensor debe medir la calidad del aire	✓
<b>SRSH11</b>	El sensor de gas debe detectar NOx.	✓
<b>SRSH12</b>	La señal de salida que proporcione el sensor de calidad del aire debe ser de carácter analógico y digital.	✓
<b>SRSH13</b>	El sistema debe tener un sistema de localización que funcione adecuadamente mientras el vehículo esté en movimiento.	✓
<b>SRSH14</b>	El sistema de localización debe tener precisión para determinar las coordenadas.	✓
<b>SRSH15</b>	El sistema GPRS debe enviar tramas suficientemente largas.	✓
<b>SRSH16</b>	El sistema GPRS no debe perder conexión a ningún momento.	✓
<b>REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE</b>		
<b>SRSH17</b>	Sistema Operativo y Lenguaje de programación de código abierto	✓
<b>SRSH18</b>	Compatibilidad entre código de los sensores con la plataforma de visualización y su programación	✓
<b>SRSH19</b>	Disponibilidad de aplicaciones de programación	✓
<b>REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS</b>		
<b>SRSH20</b>	Regulador de voltaje de 12V a 5V	✓
<b>SRSH21</b>	Conexión GND y VCC para los sensores	✓

Fuente: Elaboración Propia basado en: (Soria, 2009)

### 3.2.3 Selección de Hardware y Software

La selección del hardware y software se realiza mediante una tabla comparativa de especificaciones de hardware y software, se elegirá basándose en las especificaciones de cada elemento, y las que cumplan con los requerimientos de Arquitectura mencionados en la Tabla 6.

### 3.2.3.1 Hardware

La selección del Hardware se la realiza en base a los requerimientos de hardware establecidos en la Tabla 6 sobre Requerimientos de Arquitectura. Se seleccionará el sistema embebido, los sensores a utilizarse, el modo de envío de datos.

#### 3.2.3.1.1 Sistema Embebido

Para seleccionar el sistema embebido se ha elegido 4 opciones que se adaptan a las necesidades del proyecto. La valoración se realizará con un valor de 1 si cumple con el requerimiento y 0 si no lo cumple. En la Tabla 7 se muestra la valoración de los requerimientos para la elección del sistema embebido.

Tabla 7. Elección del sistema embebido

HARDWARE	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN
	SRSH4	SRSH5	SRSH6	SRSH7	TOTAL
Arduino UNO	1	1	1	1	4
Arduino FIO	1	1	1	0	3
Arduino PRO	1	1	0	0	2

**1 Cumple**  
**0 No cumple**

**Elección:** el hardware idóneo según la tabla de requerimientos de arquitectura es el Arduino UNO, además de cumplir con los requerimientos de funcionamiento se consideró que es de fácil acceso en el mercado y tiene un bajo costo, minimizando los gastos de elaboración del prototipo.

Fuente: Elaboración propia adaptado de: (ARDUINO, 2018)

En la Tabla 8 se presentan las características técnicas principales del Arduino Uno:

Tabla 8. Características técnicas del Arduino UNO



<b>Microcontrolador:</b>	ATmega328
<b>Voltaje Operativo:</b>	5v
<b>Voltaje de Entrada (Recomendado):</b>	7 – 12 v
<b>Pines de Entradas/Salidas Digital:</b>	14 (De las cuales 6 son salidas PWM)
<b>Pines de Entradas Análogas:</b>	6
<b>Corriente DC por pin I/O:</b>	40mA
<b>Corriente DC para pin 3.3V:</b>	50mA
<b>Memoria Flash:</b>	32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por Bootloader.
<b>SRAM:</b>	2 KB (ATmega328)
<b>EEPROM:</b>	1 KB (ATmega328)
<b>Velocidad del Reloj:</b>	16 MHZ

Fuente: (ARDUINO, 2018)

### 3.2.3.1.2 Sensores de gas

Para la elección de los sensores de gas que cumplan con todos los requerimientos pedidos se hizo la comparación entre 4 sensores de la familia MQ, los mismos que se especifican en la Tabla 9.

Tabla 9. Elección de sensor de gas

HARDWARE	REQUERIMIENTOS					VALORACIÓN
	SRSH8	SRSH9	SRSH10	SRSH11	SRSH12	TOTAL
MQ-7	1	1	0	0	1	3
MQ-3	1	1	0	0	0	2
MQ-135	0	1	1	1	1	4
AQ-7	1	0	0	0	0	1

---

**1 Cumple****0 No cumple**

**Elección:** En este caso se debe hacer la elección de 2 sensores ya que entre los dos se cumplen los requerimientos de arquitectura, los sensores de gas que se escogió son el MQ-7 y el MQ-135 que son los miden los gases que se necesitan, son de costo económico y compatibles con el sistema embebido que se va a usar.

---

Fuente: Elaboración propia adaptado de: (NAYLAMP ELECTRONICS)

En la Tabla 10 y 11 respectivamente se detalla las características técnicas de los sensores MQ-7 y MQ-135 que se usarán en el prototipo.

Tabla 10. Características técnicas del sensor MQ-7

---



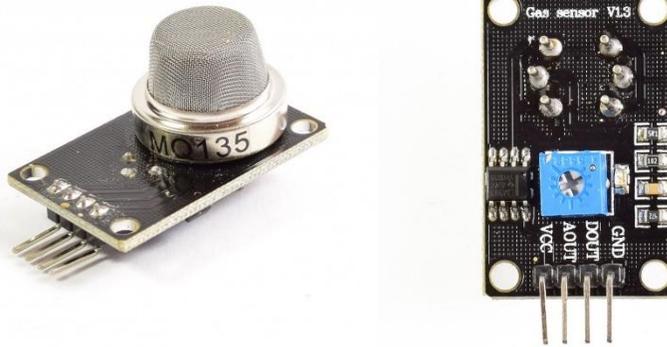
---

<b>Voltaje de Operación:</b>	5V DC
<b>Voltaje de Calentamiento:</b>	5V (alto) y 1.4V (bajo)
<b>Resistencia de carga:</b>	Regulable
<b>Resistencia de calentamiento:</b>	33 ohm
<b>Tiempo de Calentamiento:</b>	60s (alto) 90s (bajo)
<b>Temperatura de uso</b>	-20°C-50°C
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	-20°C-50°C
<b>Humedad relativa</b>	Menos del 95% de HR
<b>Consumo de Resistencia:</b>	aprox. 350mW
<b>Concentración de Oxígeno:</b>	21%

---

Fuente: (HANWEI ELECTRONICS)

Tabla 11. Características técnicas del sensor MQ-135



<b>Voltaje de operación:</b>	5V DC
<b>Pin Definición:</b>	1_salida, 2_GND, 3_VCC
<b>Chip principal:</b>	Sensor MQ-135 Air Quality Sensor.
<b>Tamaño:</b>	32mm x 22mm x 24mm
<b>Corriente de operación:</b>	150mA
<b>Potencia de consumo:</b>	800mW
<b>Tiempo de precalentamiento:</b>	20 segundos
<b>Resistencia de carga:</b>	Potenciómetro (Ajustable)
<b>Detección de partes por millón:</b>	10ppm~1000ppm
<b>Concentración detectable:</b>	Amoniaco, sulfuro, benceno, humo
<b>Concentración de oxígeno:</b>	2%~21%
<b>Humedad de operación:</b>	<95% RH
<b>Temperatura de operación:</b>	-20°C~70°C

Fuente: (NAYLAMP ELECTRONICS)

### 3.2.3.1.3 Sistema de localización

Para la elección del sistema de localización se toma en cuenta el nivel de precisión del hardware, para ello se tiene en consideración 3 dispositivos mismos que se indican en la Tabla 12:

Tabla 12. Elección de sistema de localización

HARDWARE	REQUERIMIENTOS		VALORACIÓN
	SRSH13	SRSH14	TOTAL
<b>u-blox NEO-6M</b>	1	1	2
<b>u-blox NEO-8M</b>	1	1	2
<b>Uart Skm53</b>	1	1	2

---

**1 Cumple**

**0 No cumple**

**Elección:** Para elegir el sistema de localización o GPS se toma en cuenta el precio y facilidad de compra, ya que los dispositivos comparados cuentan con características similares, por ellos se optó por el módulo GPS u-blox NEO-6M.

---

Fuente: Elaboración propia adaptado de: (Ublox, 2018)

En la Tabla 13 se detalla las características principales del GPS seleccionado:

Tabla 13. Características principales del sistema de localización



---

<b>Comunicación serial:</b>	Incluida
<b>Voltaje de alimentación:</b>	(3.5 – 5) VDC
<b>Antena cerámica activa:</b>	Incluida
<b>LED indicador de señal:</b>	Incluida
<b>Tamaño de antena:</b>	22x22mm
<b>Tamaño de módulo:</b>	23x30mm
<b>Batería:</b>	Incluida
<b>BAUDRATE:</b>	9600
<b>EEPROM para guardar configuración de parámetros:</b>	Incluida
<b>Sistema de coordenadas:</b>	WGS-84
<b>Sensibilidad de captura:</b>	-148dBm
<b>Sensibilidad de rastreo:</b>	-161 dBm
<b>Máxima altura medible:</b>	18000
<b>Máxima velocidad:</b>	515 m/s
<b>Exactitud:</b>	1micro segundo
<b>Frecuencia receptora:</b>	L1 (1575.42 MHz)
<b>Código C/A:</b>	1.023 MHz
<b>Tiempo de inicio primera vez:</b>	38s en promedio
<b>Tiempo de inicio:</b>	35s en promedio

---

Fuente: (HETPRO, 2017)

### 3.2.3.1.4 Sistema GPRS

Para la elección del sistema de envío de datos mediante GPRS se toma en cuenta el nivel de precisión del hardware, para ello se tiene en consideración 2 dispositivos. Ver Tabla 14:

Tabla 14. Elección de sistema GPRS

HARDWARE	REQUERIMIENTOS		VALORACIÓN TOTAL
	SRSH15	SRSH16	
<b>SIM 900</b>	0	1	1
<b>SIM 808</b>	1	1	2

**1 Cumple**

**0 No cumple**

**Elección:** Se eligió el SIM 808 ya que permite enviar una trama más larga que el otro módulo con el que se realizó la comparación, la configuración se lo hace por comandos AT facilitando su programación, soporta voltajes de alimentación de 5 a 26 voltios; así como también permite colocar una tarjeta SIM de cualquier operadora para poder hacer uso de datos móviles y enviar la información a la plataforma en la nube.

Fuente: Elaboración propia adaptado de: (SIMCom, 2014)

En la Tabla 15 se detalla las características principales del SIM 808 seleccionado:

Tabla 15. Características principales del sistema GPRS



<b>Dimensiones</b>	24*24*2.6 mm
<b>Peso</b>	3.30g

<b>Opera en cuatro bandas de frecuencia</b>	850/900/1800/1900MHz
<b>Se conecta a cualquier red celular 2G en el mundo</b>	Si
<b>Realiza llamadas de voz</b>	Utilizando unas manos libres estándar o una bocina de 32 ohms y un micrófono electret
<b>Envía y recibe mensajes SMS</b>	Si
<b>Acepta SIM estándar de red 2G</b>	Si
<b>Interfaz UART</b>	Acepta comandos AT para el control del módulo GSM
<b>Salida para motor de vibración</b>	PWM
<b>Cuenta con receptor de GPS integrado dentro del módulo SIM808</b>	Si
<b>Envía y recibe datos mediante GPRS</b>	TCP/IP, HTTP, FTP, etc.

Fuente: (HETPRO, 2017)

### 3.2.3.2 Software

Para la selección del software se debe tomar en cuenta el sistema embebido con el que se va a trabajar mismo que se eligió en la Tabla 7. A continuación en la Tabla 16 se presenta un análisis de elección del lenguaje de programación y plataforma de servidor local.

Tabla 16. Elección lenguaje de programación

SOFTWARE	REQUERIMIENTO			VALORACIÓN
	SRSH17	SRSH18	SRSH19	TOTAL
<b>Galileo</b>	1	1	1	3
<b>Arduino</b>	1	1	1	3
<b>Raspberry PI</b>	1	1	1	3
<b>1 Cumple</b>				
<b>0 No cumple</b>				
<b>Elección:</b> En la elección de la placa del sistema embebido se eligió el Arduino UNO por ello se ve óptimo elegir el lenguaje de programación C++ que es el lenguaje con el que trabaja ARDUINO.				

Fuente: Elaboración propia adaptado de: (ARDUINO, 2018)

### **3.3 Diseño global del sistema AirQIB**

Siguiendo el procedimiento de la Metodología del Modelo en V y luego de haber realizado el análisis de los Requerimientos, la siguiente etapa es el Diseño del Prototipo.

Se realiza el diseño del prototipo con la finalidad de presentar una visión general del funcionamiento del sistema; para definir las condiciones del diseño del sistema se deben considerar los criterios y limitaciones tomados en cuenta durante el análisis y los requerimientos del sistema que permitirán el desarrollo e implementación del sistema embebido móvil para medir patrones en la calidad del aire.

Se realiza diagramas de bloques como parte diseño del sistema, así como el diagrama circuital y funcional para guiar el funcionamiento y los procesos a desarrollar.

#### **3.3.1 Descripción General del Funcionamiento del Sistema**

El presente sistema permite medir la cantidad de gases contaminantes que existen en la ciudad de Ibarra, el sistema va empotrado en el techo del vehículo.

Al encender el vehículo se enciende el sistema, se inicializa el GPS y los sensores empiezan a realizar mediciones, así mismo el GPRS se conecta a la red y envía estos datos aproximadamente cada 30 segundo a la plataforma UBIDOTS en donde se puede apreciar gráficas y tablas con los datos obtenidos.

#### **3.3.2 Arquitectura**

El proceso de funcionamiento del sistema se presenta mediante un diagrama de bloques, en el cual se puede observar la estructura física del sistema, se muestran sus etapas y la conexión que existe entre sí. En la Figura 13 se observa el diagrama de bloques general.

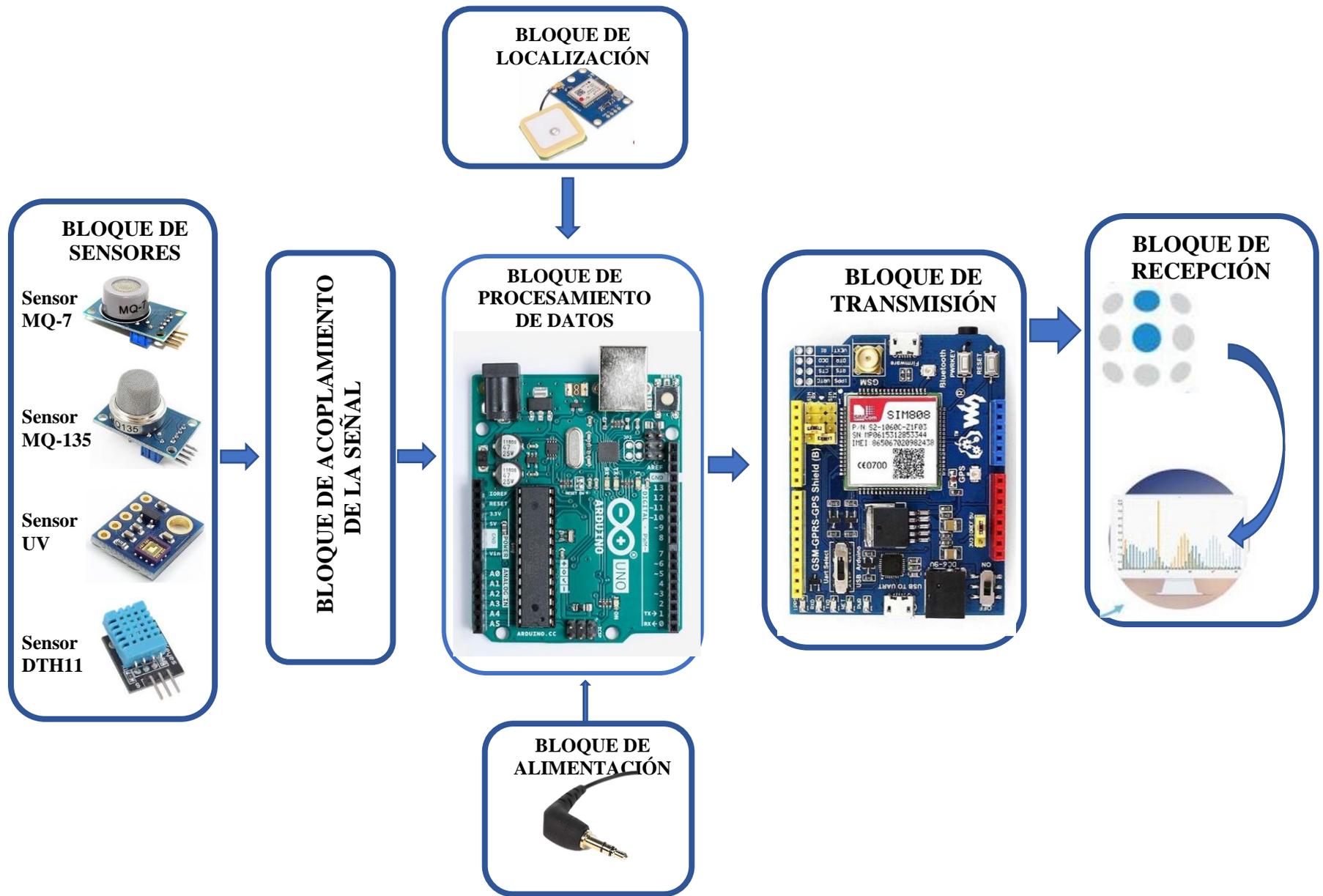


Figura 13. Diagrama de bloques general  
 Fuente: Elaboración propia basado en: (ARDUINO, 2018)

El funcionamiento del sistema se constituye por 6 bloques, mismos que se muestra en la Figura 13.

- **Bloque de alimentación:** Este bloque es fundamental, ya que es la alimentación del sistema para que pueda funcionar, el sistema funciona con 12v, los cuales salen de la batería del vehículo, cuando el vehículo se enciende el sistema empieza a funcionar, así mismo cuando el vehículo se encuentra apagado el sistema está desconectado.
- **Bloque de procesamiento de datos:** es el sistema central, en donde se encuentra el sistema embebido con el microcontrolador correspondiente mismo que es el cerebro del sistema, aquí se realiza el algoritmo que definirá que datos debe recolectar y enviar.
- **Bloque de localización:** En este bloque se inicializa el sistema de localización encargado de las coordenadas del lugar donde se encuentran los sensores, obteniendo la latitud y longitud de cada sector que se recorra.
- **Bloque de sensores:** en este bloque se encuentra la red de sensores, misma que se encarga de la recolección de datos de los niveles de monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NOx), temperatura y humedad del ambiente y rayos UV.
- **Bloque de acoplamiento de la señal:** en este bloque se aplica el filtro encargado de acondicionar la señal haciéndola más lineal de tal manera que su procesamiento sea más exacto.
- **Bloque de transmisión:** la transmisión de los datos se la envía mediante GPRS, así como también la ubicación del lugar de donde se tomó dichos datos.

- **Bloque de recepción:** Una vez que se recibe los datos, esto son subidos a la plataforma (UBIDOTS) en la nube para poder ser analizados; se almacenan y visualizan los datos para que el usuario haga uso de estos datos según sea conveniente.

### 3.3.3 Diagrama circuital del sistema AirQIB

En la Figura 14 se muestra el diagrama circuital del sistema embebido móvil para medir los patrones de la calidad del aire, para el funcionamiento del sistema se requiere la placa Arduino UNO R3, el sensor MQ-7, el sensor MQ-135, el sensor DTH11, el sensor ML8511, el módulo GPS, el módulo SIM808 y la fuente de alimentación USB.

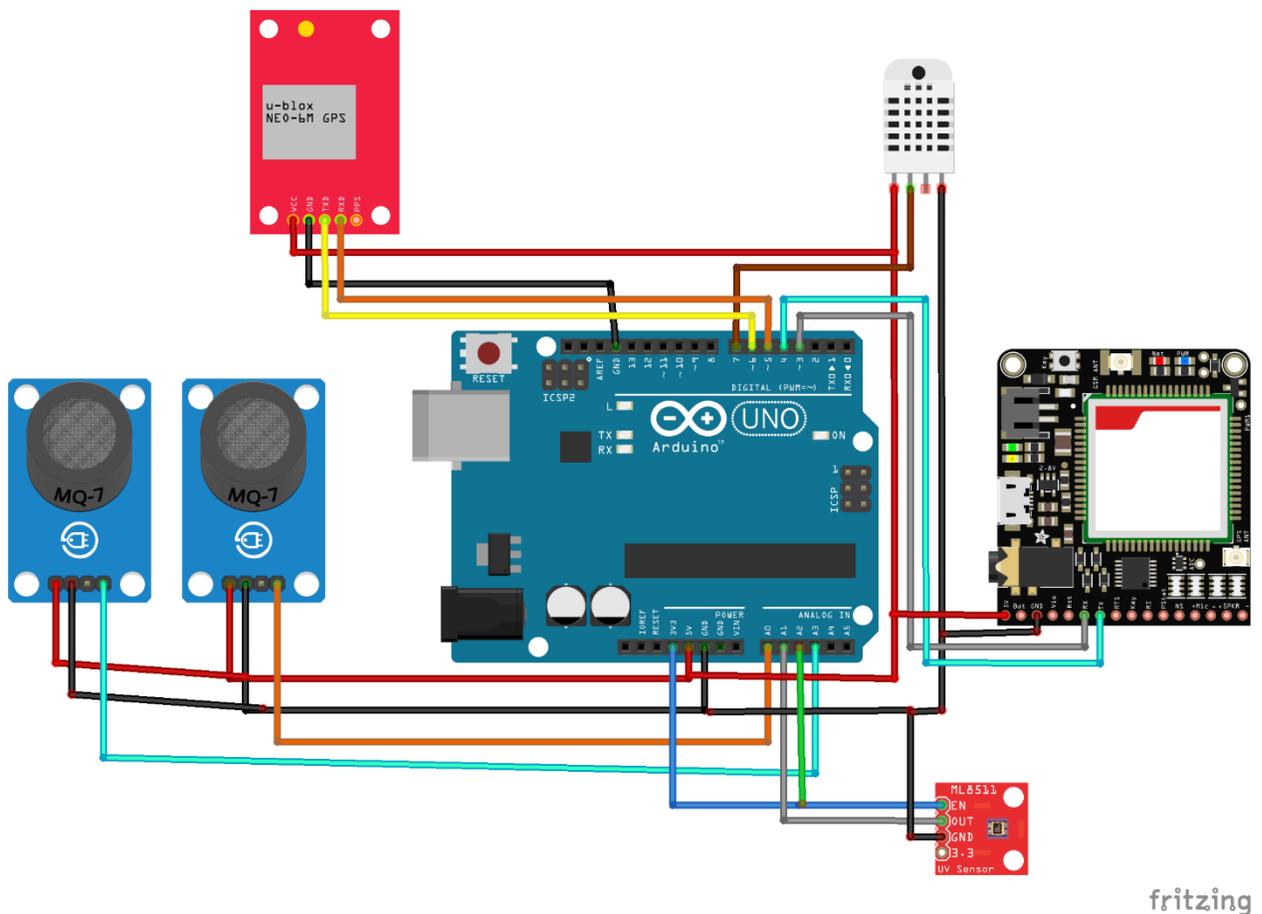


Figura 14. Diagrama circuital del sistema

Fuente: Elaboración propia adaptado de (Fritzing)

### 3.3.4 Diagrama de flujo del proceso del sistema

Se realiza el análisis de la lectura que debe hacer cada sensor, con la finalidad de obtener las ecuaciones que se emplearan para establecer la concentración de gases nocivos en el aire y la temperatura ambiental para posteriormente elaborar el diagrama de flujo del sistema.

- **Lectura sensor MQ-7**

Este es un sensor fácil de usar para la detección de Monóxido de Carbono (CO), ideal para detectar concentraciones de CO en el aire. El MQ-7 puede detectar concentraciones en el rango de 20 a 2000 ppm.

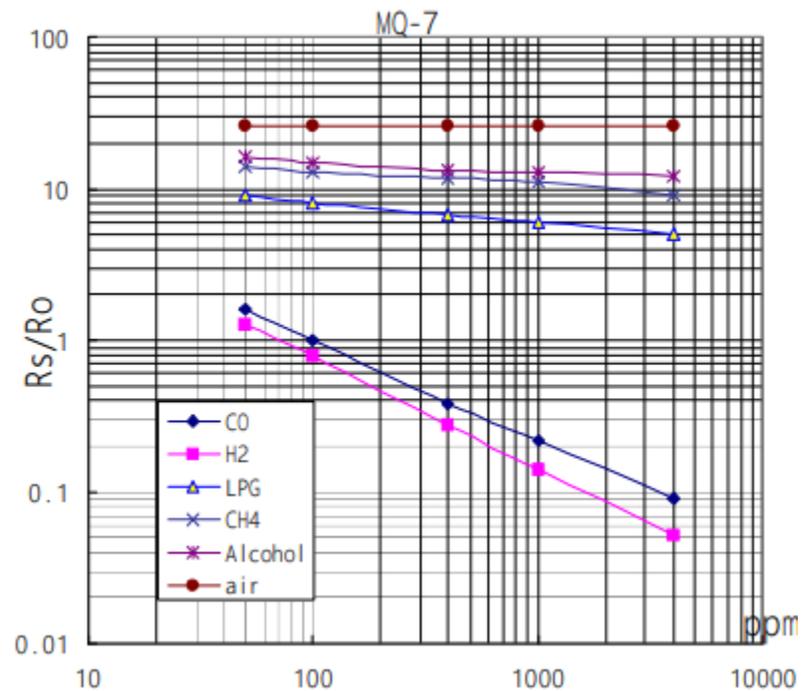


Figura 15. Características de sensibilidad del sensor MQ-7

Fuente: (HETPRO, 2017)

En la Figura 15, se indica las curvas de sensibilidad del MQ-7 para distintos gases, en donde:

Tª: 20°C; Humedad: 65%

Concentración de O<sub>2</sub>: 21%

R<sub>L</sub>= 10KΩ

R<sub>o</sub> = Resistencia del sensor a 100 ppm de CO en el aire limpio

R<sub>s</sub>= Resistencia del sensor a varias concentraciones de gases

Debido a que el datasheet de este sensor no especifica de forma clara como debe realizarse el cálculo de la resistencia interna, se consultó diferentes estudios relacionados con este sensor, en los que se asume que el valor de la resistencia R<sub>o</sub> (Resistencia interna) es de 300 ohmios en el aire limpio.

Para obtener los valores en ppm se aplicó la siguiente fórmula:

$$CO = 10 * \frac{\log(17.5) - \log \frac{R_s}{R_o}}{0.63}$$

Ecuación 1. Ecuación de la concentración de Monóxido de Carbono

Fuente: Adaptado de: (HETPRO, 2017)

R<sub>s</sub>: Resistencia superficial

R<sub>o</sub>: resistencia interna

- **Lectura sensor MQ-135**

Este sensor se usa en equipos de control de la calidad del aire en edificios y oficinas, y es adecuado para detección de NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, Alcohol, Benceno, humo, CO<sub>2</sub>, etc.

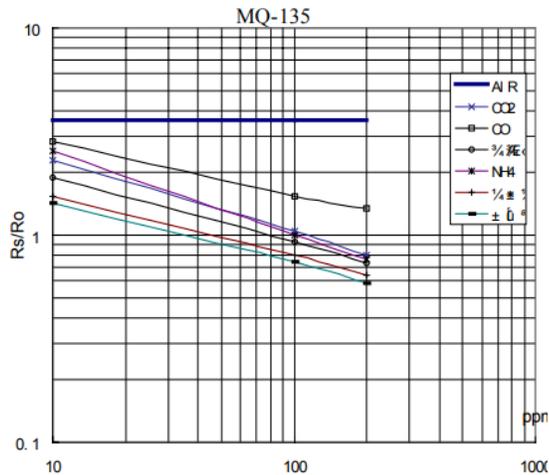


Figura 16. Características de la sensibilidad del MQ-135

Fuente: Adaptado de: (Omniblug, 2018)

En la Figura 16, se indica las curvas de sensibilidad del MQ-135 para distintos gases, en donde:

T<sup>a</sup>: 20°C; Humedad: 65%

Concentración de O<sub>2</sub>: 21%

R<sub>L</sub>= 20KΩ

R<sub>o</sub> = Resistencia del sensor a 100 ppm de NH<sub>3</sub> en el aire limpio

R<sub>s</sub>= Resistencia del sensor a varias concentraciones de gases

Las fórmulas que se aplican dentro de las funciones de las librerías son:

- **Resistencia de Carga (RI):**

$$RL = Rs(\text{en aire limpio}) * e^{\frac{\log \frac{\text{intercepto}}{\text{ppm en aire limpio}}}{\text{pendiente}}}$$

Ecuación 2. Ecuación para calcular la resistencia de carga

Fuente: Adaptado de: (TdRobótica, 2018)

Rs= resistencia superficial

RL= resistencia de carga

- **Resistencia superficial (Rs):**

$$Rs = \frac{Vc - VRL}{VRL} * RL$$

Ecuación 3. Ecuación para calcular la resistencia superficial

Fuente: Adaptado de: (NAYLAMP ELECTRONICS)

Rs: resistencia superficial

Vc: voltaje de entrada

VRI: voltaje de salida

RI: resistencia de carga

- **El valor de ppm/ppb:**

$$ppm = Intercepto * \frac{Rs}{R0}$$

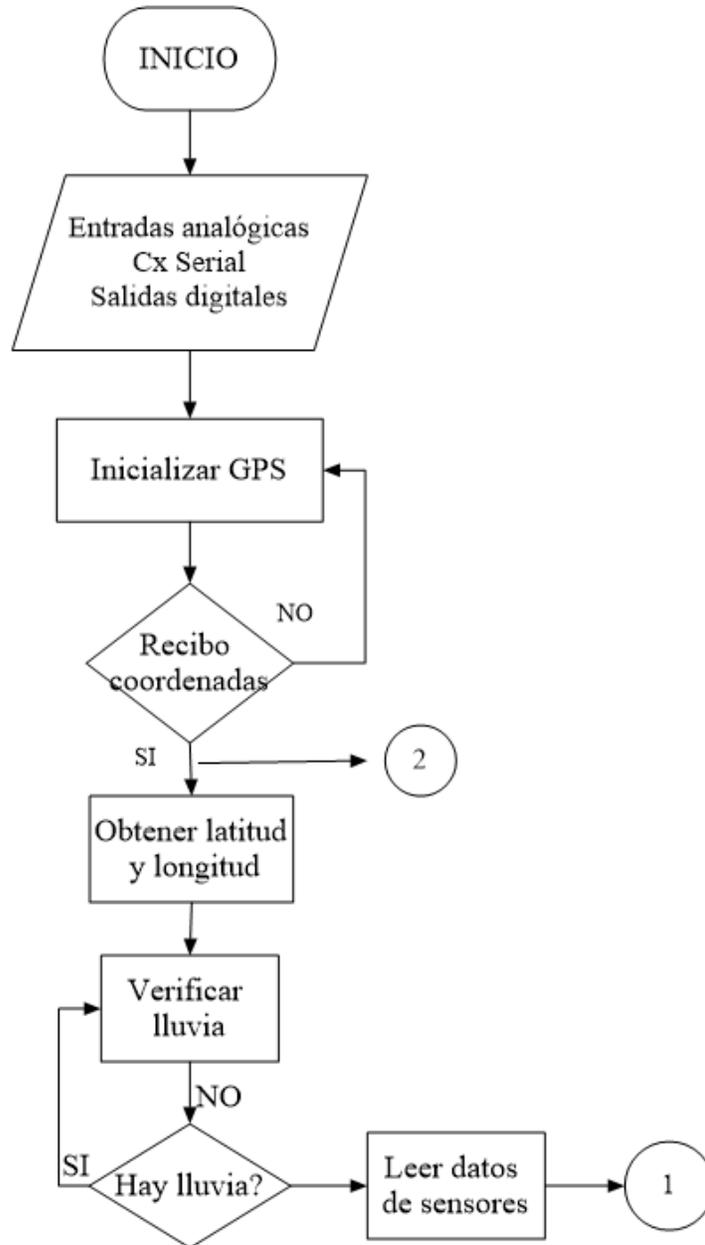
Ecuación 4. Ecuación para calcular el valor de ppm/ppb

Fuente: Adaptado de: (HETPRO, 2017)

Rs: resistencia superficial

R0: resistencia interna

El diagrama de flujo que se muestra en la Figura 17, explica el proceso que cumplirá el sistema de monitoreo móvil de patrones de la calidad del aire en la ciudad de Ibarra.



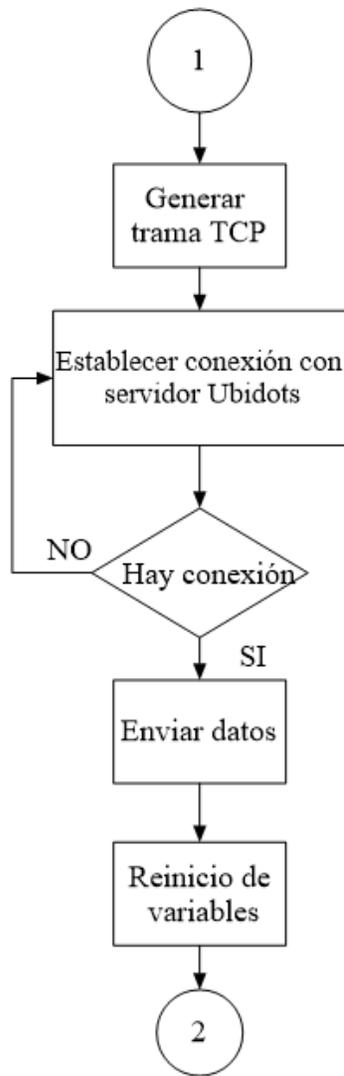


Figura 17. Diagrama de flujo del sistema

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Diseño detallado del sistema AirQIB

En esta sección se realiza el diseño detallado de cada uno de los bloques del sistema, tomando en consideración la elección de los sensores que se realizó en el apartado 3.2.3.

### 3.5.1 Diseño de Hardware

En la fase de implementación de la metodología de desarrollo en base al modelo en V se materializa el diseño del proyecto y la unificación del sistema, con los requerimientos antes analizados se procede al desarrollo del hardware, en donde se integra todo lo que necesita el sistema para tener un buen funcionamiento; para lo cual se realiza el montaje de las placas, la conexión eléctrica para la alimentación de estas en el vehículo. Se debe tomar en cuenta los bloques con los que va a trabajar los cuales son: bloque de sensores, bloque de localización, bloque de alimentación, bloque de procesamiento de datos y bloque de transmisión

#### 3.5.1.1 Bloque de sensores

Una vez seleccionado los sensores idóneos para la red de sensores como se indica en la Tabla 9, se procede a realizar el diseño de la placa para los sensores.

##### 3.5.1.1.1 Diagrama de conexión – Módulo sensor MQ-7

Se emplea el sensor MQ-7 ya que este módulo determina el nivel de monóxido de carbono que existe en el aire, la alimentación se lo realiza mediante la placa Arduino UNO. En la Figura 18 se muestra la distribución de pines del sensor. El pin analógico de salida del MQ-7 irá conectado al pin analógico A3 del Arduino UNO.

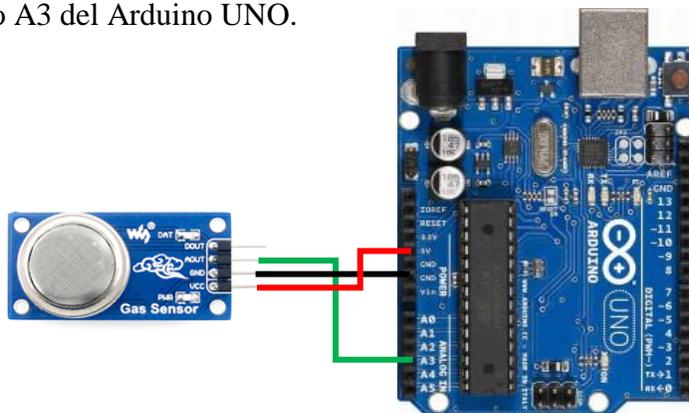


Figura 18. Distribución pines sensor MQ-7  
Fuente: Elaboración propia adaptado de: (TdRobótica, 2018)

### 3.5.1.1.2 Diagrama de pines – Módulo sensor MQ-135

Este sensor determina la calidad del aire (NOx) la alimentación se la realiza mediante la placa Arduino UNO, el pin analógico del MQ-135 se conectará a A0 del Arduino, en la Figura 19 se muestra la distribución de pines:

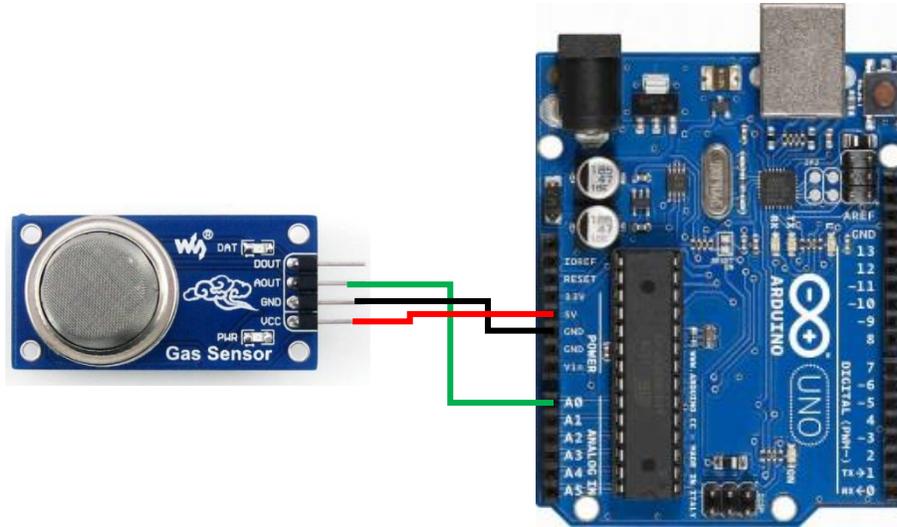


Figura 19. Distribución de pines del sensor MQ-135

Fuente: Elaboración propia adaptado de: (TdRobótica, 2018)

### 3.5.1.1.3 Diagrama de pines – Módulo sensor dth11

El sensor dth11 mide la temperatura y humedad del ambiente, este sensor conecta el pin de datos en el pin digital 7 del Arduino UNO como se indica en la Figura 20:

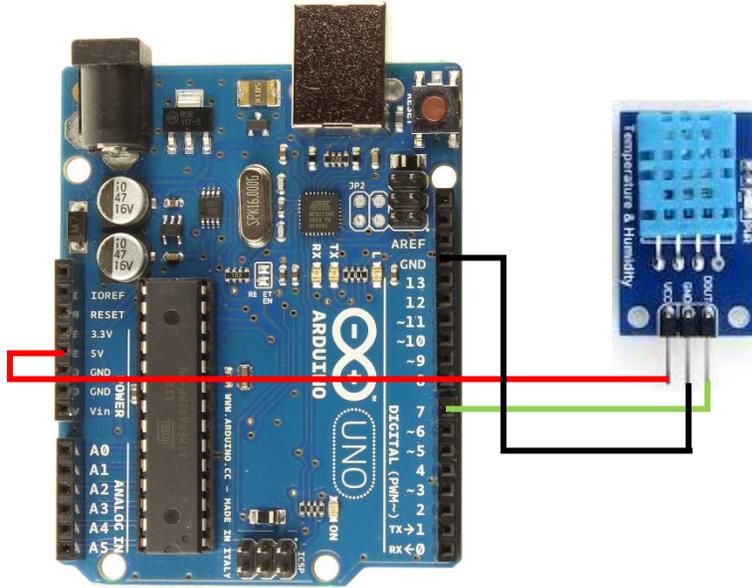


Figura 20. Distribución de pines del sensor dth11

Fuente: Adaptado de: (NAYLAMP ELECTRONICS)

#### 3.5.1.1.4 Diagrama de pines – Módulo UV

El sensor ML8511 (UV) mide las radiaciones solares, este sensor va conectado según el diagrama de la Figura 21.

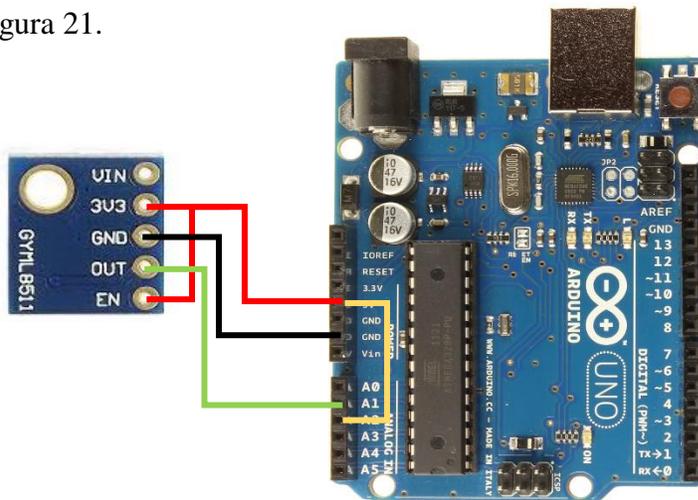


Figura 21. Distribución de pines del sensor UV

Fuente: Elaboración propia adaptado de: (Electronilab, 2018)

### 3.5.1.2 Bloque de Alimentación

La etapa de Control de Contacto a 12V es la que se encarga de hacer uso del voltaje proporcionado por el sistema de encendido del vehículo, formado principalmente por el circuito de la llave de contacto, (Ver Figura 22) el cual permite el paso o no del voltaje para alimentar al motor de arranque.

Dado esto, se hace uso de ese voltaje trasladándolo directamente a la placa, para trabajar con 12 voltios y el sistema funcione correctamente y provea el voltaje a todos los dispositivos que se usaran.

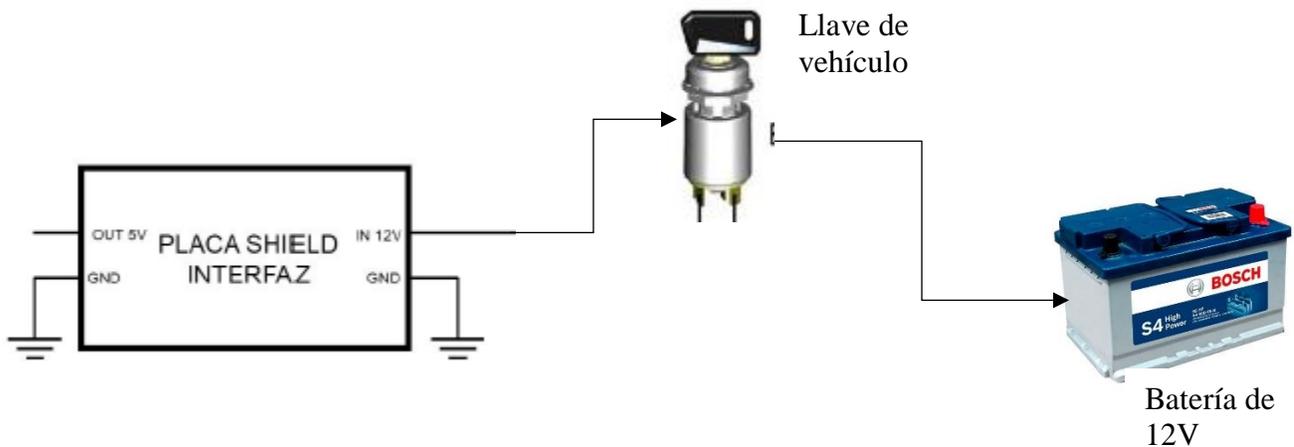


Figura 22. Diseño de conexión del circuito de encendido del vehículo hacia la placa Shield

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 22 permite observar el esquema de conexión de la salida de voltaje proporcionado por el circuito de la llave de contacto hacia la placa Shield Interfaz, en donde se puede observar que se hace una conexión en serie desde la batería de 12v hacia la llave de encendido del vehículo.

### 3.5.1.3 Bloque de localización

En este bloque se realiza la colocación del sistema de localización que en este caso es un módulo GPS mismo que se eligió en la Tabla 12.

#### 3.5.1.3.1 Diagrama de conexión – Módulo GPS

El módulo GPS se encarga de dar las coordenadas de ubicación del lugar donde se está realizando la toma de datos, en la Figura 23 se puede observar la conexión del GPS con el Arduino.

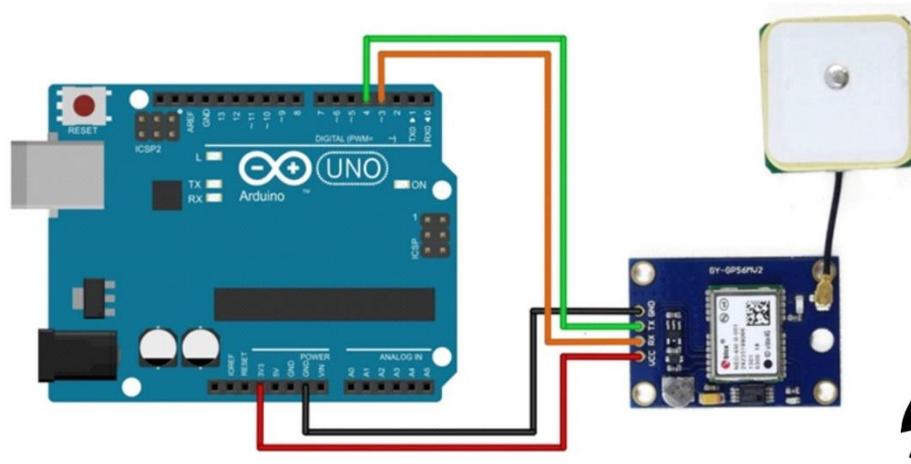


Figura 23. Distribución de pines del módulo GPS

Fuente: Elaboración propia adaptado de: (Electronilab, 2018)

### 3.5.1.4 Bloque de Transmisión

En la Tabla 14 se eligió el sistema que se usará para el envío de datos, el SIMM 808 será el sistema de transmisión que se empleará en el sistema de monitoreo, siendo una de las mejores opciones que se adaptó al sistema, permitiendo el envío de tramas TCP/IP.

### 3.5.5.4.1 Diagrama de conexión – Módulo SIM808

El SIM808 determina la ubicación de dónde se encuentra mayor concentración de los gases a analizar, y los envía mediante GPRS a la base de datos.

En la Figura 24 se observa que el módulo de comunicación se conectará al Arduino UNO por medio de los pines 3 y 4 que sirven de transmisión (Tx) y recepción (Rx) respectivamente, Tx del módulo de comunicación se conecta con Rx del Arduino (4) y Rx de comunicación con Tx del Arduino (3).

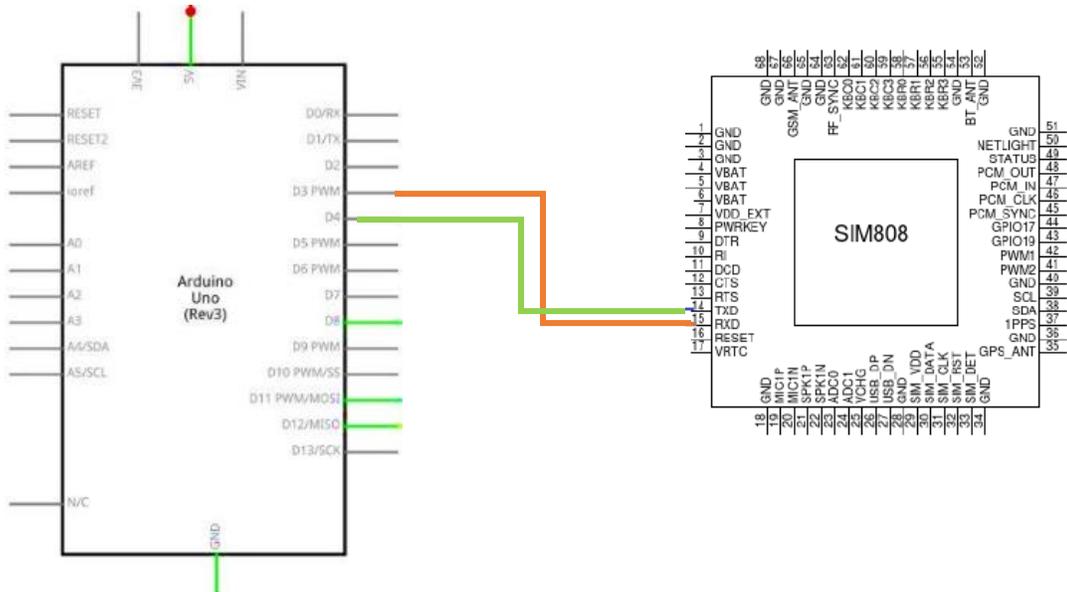


Figura 24. Distribución de pines del módulo SIM808

Fuente: Elaboración propia adaptado de: (ARDUINO, 2018)

### 3.5.1.5 Bloque de procesamiento de datos

En la Tabla 7 se realizó la elección del sistema embebido con lo que se trabajará, para conocer un poco más de este sistema embebido a continuación se indican el diagrama de conexión de este:

### 3.5.1.5.1 Diagrama de pines y puertos del Arduino UNO

De la placa Arduino UNO R3 se emplean las entradas analógicas y digitales para conectar los sensores con los cuales se miden los patrones para determinar la calidad del aire, los pines GND para tierra común, 5v para alimentar a cada sensor, así como también el 3.3v para el sensor UV. A continuación, en la Figura 25 se muestra la distribución de pines de la placa Arduino UNO R3

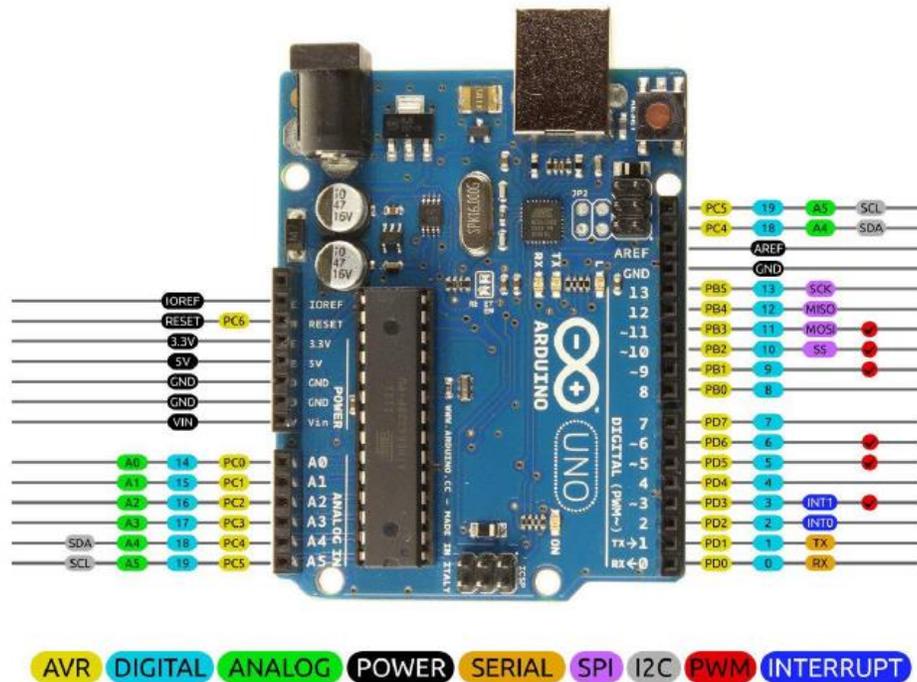


Figura 25. Distribución pines Arduino UNO

Fuente: (Tawil, 2016)

### 3.5.2 Diseño de Software

En esta sección se realiza el análisis de los bloques de procesamiento de datos y bloque de recepción de datos.

### 3.5.2.1 Bloque de acoplamiento de la señal

En este bloque se realiza la implementación del filtro moving average que se encarga de tomar cierta muestra de datos y saca un promedio logrando con esto estabilizar la señal de los sensores, mejorando el procesamiento de datos.

### 3.5.2.2 Bloque de procesamiento de datos.

En este bloque se realiza la toma de datos y el procesamiento de estos, para posterior clasificarlos por 3 niveles.

Guiándonos por el proceso de KDD (Ver Figura 26) se indicará los pasos a seguir en el tratamiento de datos obtenidos.

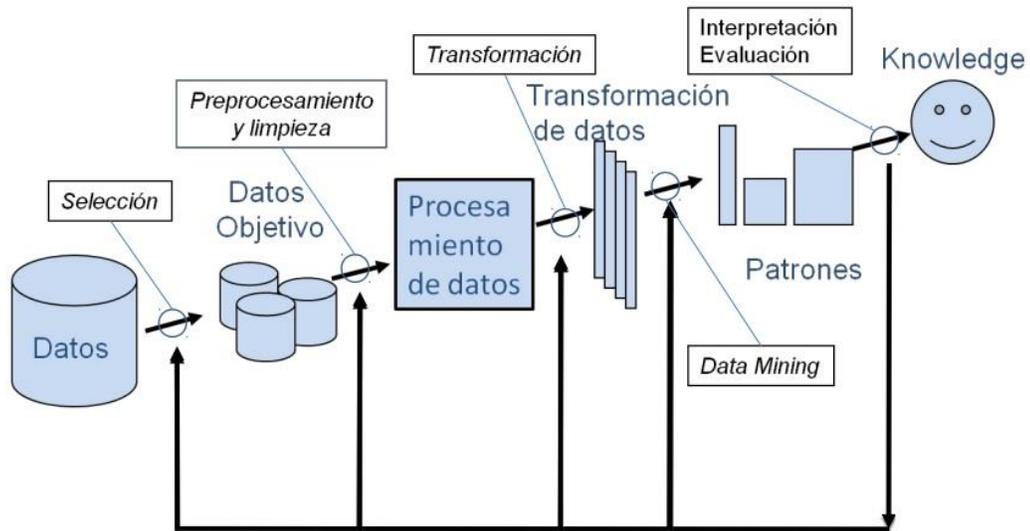


Figura 26. Proceso KDD

Fuente: (León Guzmán, 2017)

### ***3.5.2.3 Bloque de recepción de datos***

En este bloque se realiza la recepción y a la vez visualización de datos en la plataforma de Ubidots.

## **3.6 Implementación**

En este apartado se realiza la implementación de cada uno de los bloques, se realizará en dos secciones una dedicada a la implementación del hardware y otra al software.

### **3.6.1 Implementación del Hardware**

Como parte importante del sistema embebido es la construcción de una estructura que permita alojar todos los bloques del sistema.

#### ***3.6.1.1 Elaboración de plataforma del sistema***

Se realiza el diseño de la caja en donde van los sensores con el sistema embebido y el módulo SIM 808. Como se indica en la Figura 27, se realizó la caja en un material que no se dañe con los diferentes cambios climáticos, en este caso se eligió acrílico.



Figura 27. Caja para armar el sistema embebido

Fuente: Elaboración propia

### ***3.6.1.2 Bloque de alimentación***

Se realiza la conexión en el vehículo, colocando un conector macho a un extremo que permita conectar a la entrada del sim 808.



Figura 28. Conexión 12 v en el vehículo

Fuente: Elaboración propia

### ***3.6.1.3 Bloque de sensores***

#### ***3.6.1.3.1 Diseño de circuito impreso de placa electrónica Shield***

Para el diseño de la placa electrónica del sistema se utiliza el software Eagle. Se toma en cuenta las medidas del Arduino para poder realizar el Shield, así como la distribución de pines de cada sensor. En la Figura 29 se observa el diseño final.

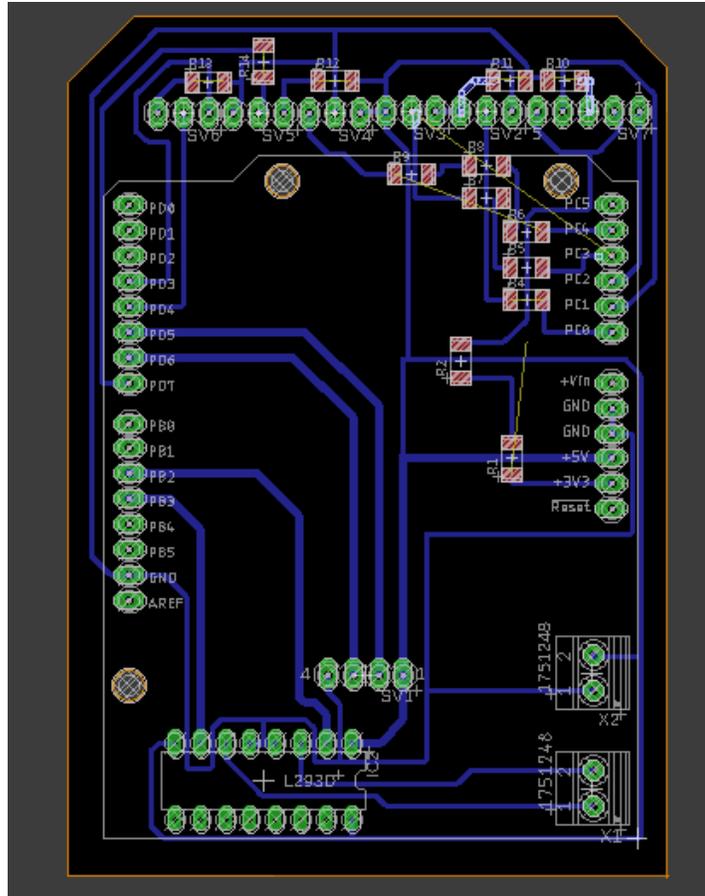


Figura 29. Circuito impreso de la placa Shield

Fuente: Elaboración propia

Una vez diseñado el circuito procedemos a realizar el proceso correspondiente para plasmarlo en la baquelita, como se muestra en el Figura 30.

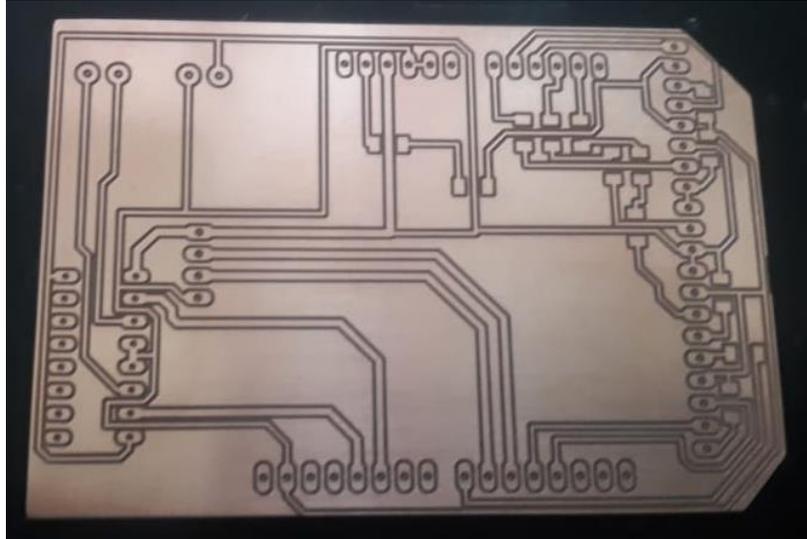


Figura 30. Placa diseñada  
Fuente: Elaboración propia

Una vez soldado correctamente todos los pines podemos observar el resultado final (Ver Figura 31).

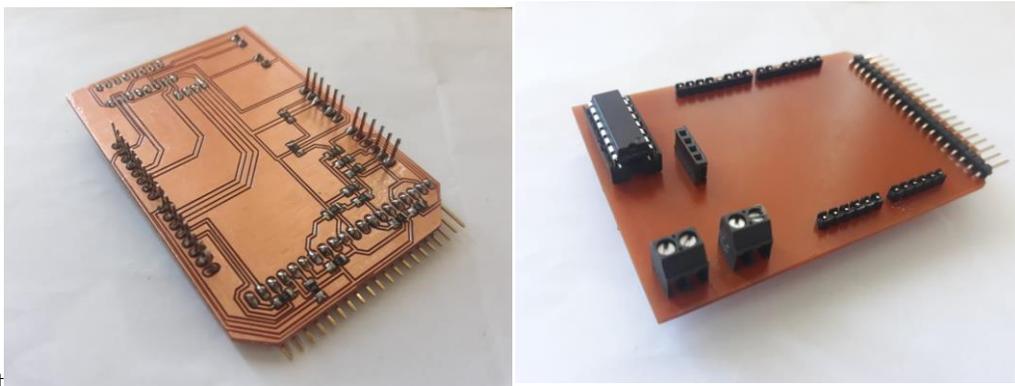


Figura 31. Placa Shield  
Fuente: Elaboración propia

#### ***3.6.1.4 Bloque de localización***

En este bloque se realiza la instalación de un módulo GPS, mismo que indicará las coordenadas de los lugares donde se realiza las tomas de datos.

#### ***3.6.1.5 Bloque de transmisión***

Para transmitir la información, conectamos el módulo sim 808, mismo que funciona con un chip que tiene datos, para así enviar la trama TCP/IP al servidor Ubidots, donde se almacena la información que se va recolectando.

### **3.6.2 Implementación del Software**

En esta etapa se elabora el código de programación de los sensores y módulos, tomando en cuenta los diferentes parámetros establecidos de calibración, así como la implementación de Machine Learning.

#### ***3.6.2.1 Bloque de acoplamiento de la señal***

Observamos en la Figura 32 como es la señal de los sensores sin filtro:

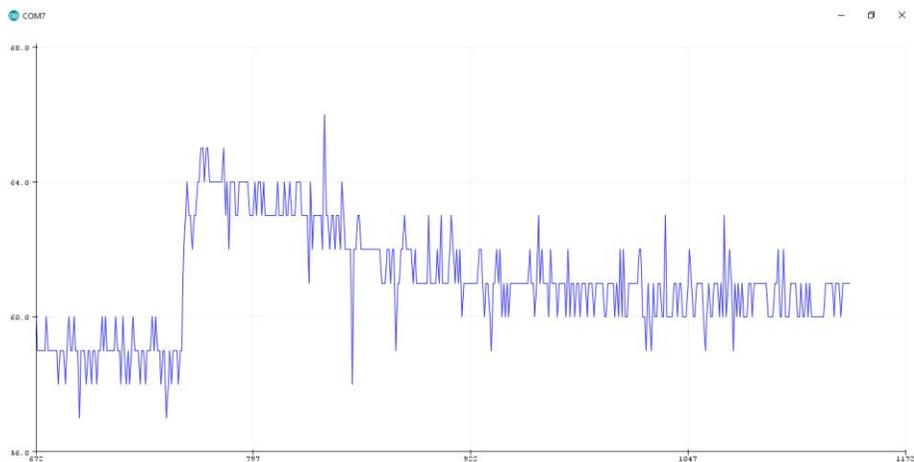


Figura 32. Señal sin filtro

Fuente: (Serial Plotter de Arduino)

Al implementar el filtro moving average, que es un filtro que tiene el objetivo de suavizar los valores de sensores ruidosos o inestables de una manera fácil.

El filtro promedio está dado por la siguiente fórmula

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Ecuación 5. Filtro moving average

Fuente: (Jimenez, 2018)

El resultado es la suma de una cantidad de N mediciones, y el total se divide por la cantidad de mediciones N. Cuantas más mediciones incluyas en el promedio, más ruido se eliminará. Sin embargo, se produce un retardo en la lectura de la señal.

En la Figura 33 podemos observar cómo se regula la señal ya con el filtro.

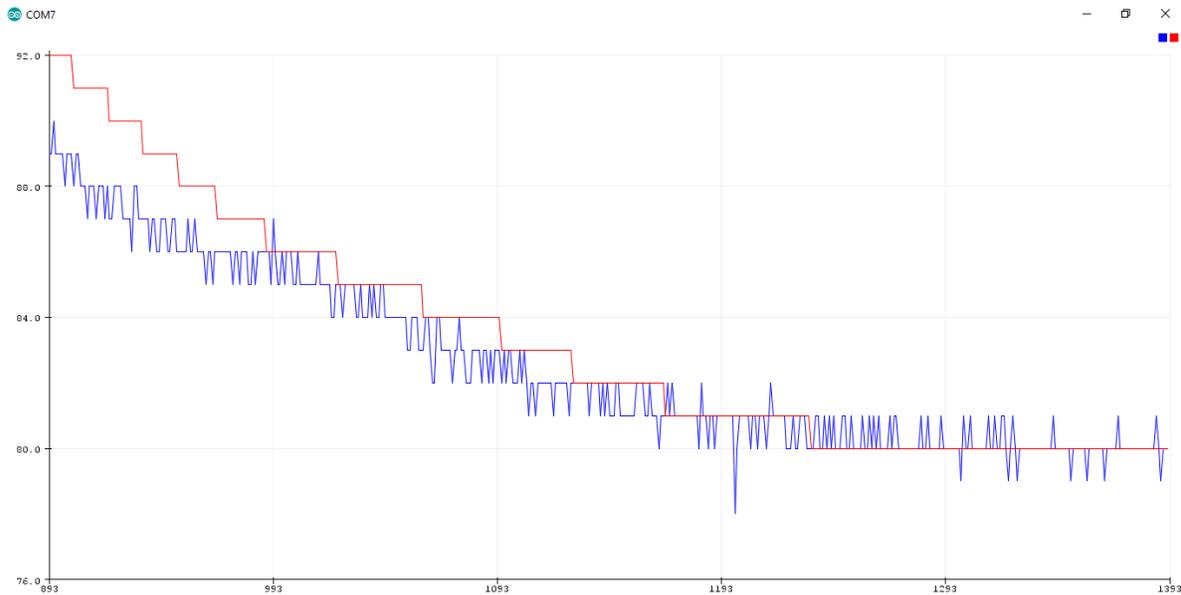


Figura 33. Señal con filtro

Fuente: (Serial Plotter de Arduino)

La señal en color rojo es la señal filtrada mientras que la de color azul es la que no tiene filtros, N tiene un valor de 10, es decir cada 10 datos se realiza un promedio y se grafica.

### 3.6.2.2 Bloque de Procesamiento de datos

En este bloque se desarrolla el algoritmo que se va a emplear para recopilar los datos de los 4 sensores y el módulo GPS, mismo que serán analizados después. Basándonos en el proceso de KDD (Ver Figura 26), iremos desarrollando cada uno de sus pasos.

#### 3.6.2.2.1 Selección

En la elección se realiza la BDD, se hace la recopilación de datos en varios sectores de la ciudad de Ibarra, esta información es recopilada en diferentes horarios del día para poder realizar una comparación basándose en los mismos, En el Figura 34 se muestra un resumen de la BDD que se obtiene del sistema embebido. En donde se indica los valores de CO, NOx, Temperatura, Humedad, radiación UV y la respectiva latitud y longitud de donde son tomados estos datos.

co	hum	nox	temp	uv	latitud	longitud
3,23	46	0,19	13	0.77	0.353578	-78.124.496
3,88	46	0,26	13	0.77	0.354218	-78.124.702
5,21	47	0,93	12	0.77	0.355293	-78.124.008
4,66	47	0,61	12	0.77	0.355371	-78.123.665
3,7	47	0,29	12	0.77	0.355647	-78.123.192
3,98	47	0,35	12	0.77	0.355851	-78.122.948
4,09	47	0,37	12	0.77	0.356729	-78.122.368
4,19	47	0,3	12	0.77	0.357026	-78.122.185
4,29	47	0,3	12	0.77	0.358886	-78.121.407
4,09	47	0,27	12	0.76	0.360206	-78.120.544
4,05	47	0,46	12	0.77	0.361398	-78.119.125
3,88	47	0,24	12	0.77	0.361455	-78.118.538
4,26	47	0,25	12	0.78	0.359757	-78.116.165
4,26	47	0,22	12	0.77	0.359114	-78.113.037
4,46	47	0,31	12	0.77	0.361168	-78.111.992
4,16	47	0,29	12	0.77	0.363050	-78.111.931
3,88	47	0,21	12	0.78	0.365000	-78.111.855
4,09	46	0,24	12	0.79	0.368492	-78.111.626

Figura 34. Base de datos inicial

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1.2.2 Preprocesamiento y limpieza

Una vez que tenemos la BDD procedemos a clasificarlos por los 3 niveles establecidos (Ver Figura 35), tomando en cuenta los valores que se indican en el Figura 2 antes mencionada. Se añade un campo más a la BDD que es el nivel que tiene cada valor tomado por el CO y el NOx.

CO	NOX	CLASE	NIVEL
3230	190		1 Aceptable
4260	200		1 Aceptable
10005	250		2 Alerta
40010	3001		3 Emergencia
15000	1007		2 Alerta
5340	198		1 Aceptable
4290	200		1 Aceptable
10100	350		2 Alerta
5670	130		1 Aceptable
3050	2008		3 Emergencia
5790	160		1 Aceptable
15000	370		2 Alerta

Figura 35. BDD con nivel

Fuente: Elaboración propia

Los niveles se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 17. Clasificación de datos

<b>NOx</b>	<b>CO</b>	<b>CLASE</b>
0 – 200	0 – 3800	Aceptable
201 – 900	3801 – 6700	Alerta
900 -	6701 -	Emergencia

Fuente: Elaboración propia

La base de datos cuenta con 1836 datos en los cuales van incluidos los valores de NOx, CO y la clase a la que pertenece. En el anexo 2 se observa la base de datos completa.

Se ha considerado solo los valores de NOx y CO debido a que se analizará los gases nocivos, por lo tanto, la temperatura, humedad y UV solo serán un referente para analizar en un proceso futuro.

### 3.6.2.2.3 Transformación

En esta fase es donde se realiza la reducción de la base de datos haciendo uso del software RStudio.

Se realiza la reducción de información haciendo uso de diferentes algoritmos, entre ellos tenemos CNN, DROP1, DROP2, DROP3.

Después de realizar un análisis se determina el algoritmo óptimo es CNN, siendo el que remueve 414 instancias, con un porcentaje de reducción del 90.19%, tal como se muestra en la Figura 36.

```
Results:  
Number of removed instances: 414 (90.19608 %)  
Number of repaired instances: 0 (0 %)
```

Figura 36. Resultados de CNN

Fuente: Adaptado de (RStudio, 2019)

Se debe tener en cuenta que un 75% de la base de datos inicial es utilizada como base de datos de entrenamiento del sistema mientras que el 25% restante es la base de datos que se usará para ejecutar el algoritmo KNN, es decir de pruebas.

### 3.6.2.2.4 Data Mining (Minería de datos)

En esta fase se realiza la elección del algoritmo que tenga mayor eficiencia comparando entre diferentes algoritmos, una vez determinado se implementa en el microcontrolador del Arduino UNO para proceder a realizar las pruebas donde se clasificará el nivel de gases nocivos existen en los diferentes sectores de la ciudad de Ibarra.

Se realizaron 4 simulaciones con diferentes algoritmos que son KNN, Bayesiano y Árbol de decisión, en la Tabla 18 se indica la eficiencia que obtuvo cada una de ellas:

Tabla 18 . Eficiencia de algoritmos

Semilla	Algoritmos de aprendizaje automático			
	KNN K=5	KNN K=3	Bayesiano	Árbol de decisión
240	88%	90%	60%	30%
700	88%	89%	60%	30%
1020	90%	89%	60%	30%

Fuente: Elaboración propia adaptada de (RStudio, 2019)

Se realiza el promedio final para así determinar el algoritmo indicado como se muestra en la Tabla 19:

Tabla 19. Promedio de eficiencia de algoritmos

Promedio	Algoritmos de aprendizaje automático			
	KNN K=5	KNN K=3	Bayesiano	Árbol de decisión
	88.6%	89.3%	60%	30%

Fuente: Elaboración propia

Según los promedios obtenidos en la Tabla 19, el algoritmo  $k = 3$  de KNN es el de mayor eficiencia con un valor de 89.3%, por lo tanto, este algoritmo será implementado en el microprocesador, en el bloque de procesamiento de datos.

#### 3.6.2.2.5 Análisis y cálculo de envío de datos.

Para el análisis de envío de datos por medio de tecnología GPRS se ha tomado en consideración una distancia que recorre un vehículo de cuatro ruedas teniendo en cuenta la velocidad en la que puede recorrer dentro de la ciudad en zona poblada.

Dentro de la ciudad está permitido una velocidad de 50km/h por lo tanto aproximadamente se tarda 10 segundos en recorrer una cuadra.

Para saber el tiempo de transmisión de datos GPS se calcula mediante la Ecuación 6 donde la distancia (d) es igual a velocidad (V) por tiempo (t).

$$d = v * t$$

Ecuación 6. Ecuación para calcular la distancia

Fuente: (Electronilab, 2018)

$$t = (d/v)$$

$$t = (150 \text{ m} / (50 \text{ Km/h})) ((1 \text{ Km/h}) / 1000 \text{ m}) (3600 \text{ s} / 1 \text{ h})$$

$$t = 10.8 \text{ segundos}$$

En recorrer una cuadra se tarda 10 segundos, teniendo esta consideración se enviará datos cada 1 minuto que es el recorrido que realiza en 5 cuadras teniendo en cuenta las paradas que se hacen en los semáforos.

### 3.6.2.3 Bloque de Recepción de datos

#### 3.6.2.3.1 Visualización de datos

Para la visualización de datos se ha elegido la plataforma Ubidots for Education, mismo que permite subir datos de varios sensores y graficar sus valores en diagramas, facilitando el entendimiento de estas, como se muestra en la Figura 37.

Ubidots permite descargar la base de datos en formato .csv de los valores que se almacenan en la plataforma.

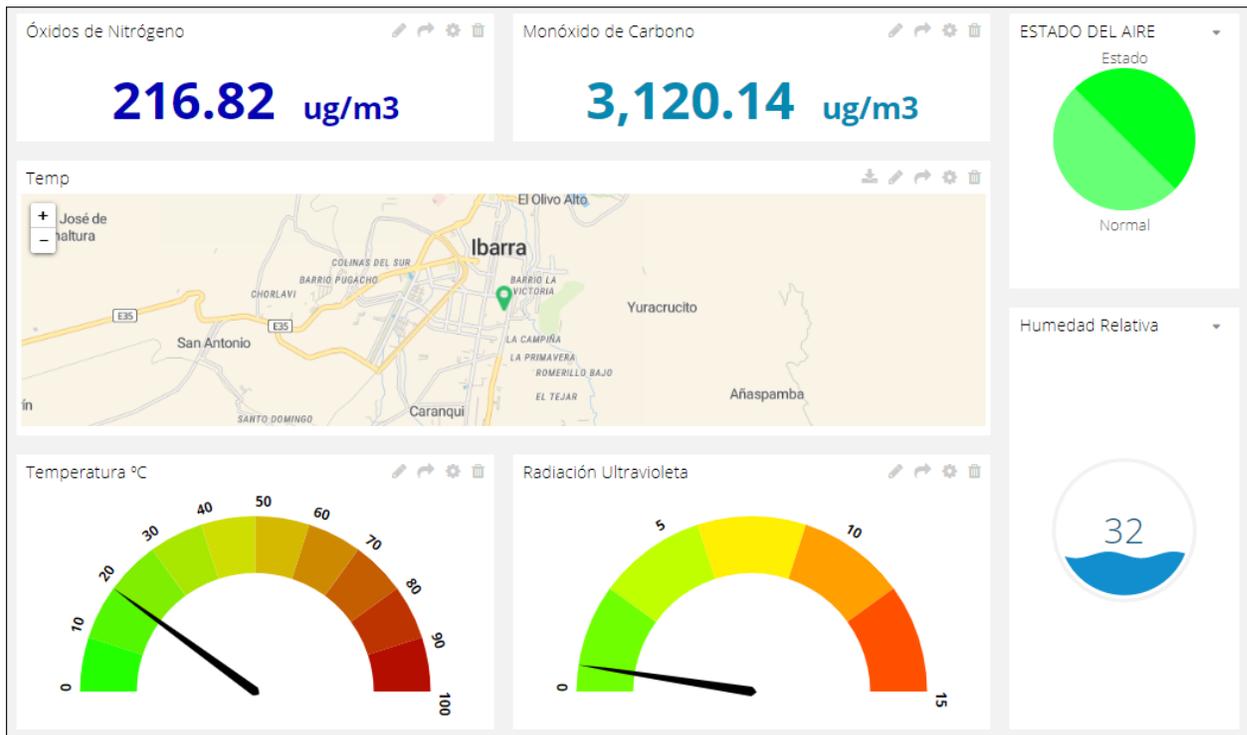


Figura 37. Interfaz general

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.2.3.2 Interfaz de visualización de datos

Al ingresar a la página web <https://ubidots.com/education/> debemos acceder a nuestra cuenta con las credenciales respectivas.

Una vez en la cuenta se puede observar que lo primero que nos muestra es un mapa en donde se observa la localización del nodo móvil (Ver Figura 38), este se va actualizando cada minuto aproximadamente, dándonos así el sitio exacto dónde se encuentra el sistema embebido móvil.

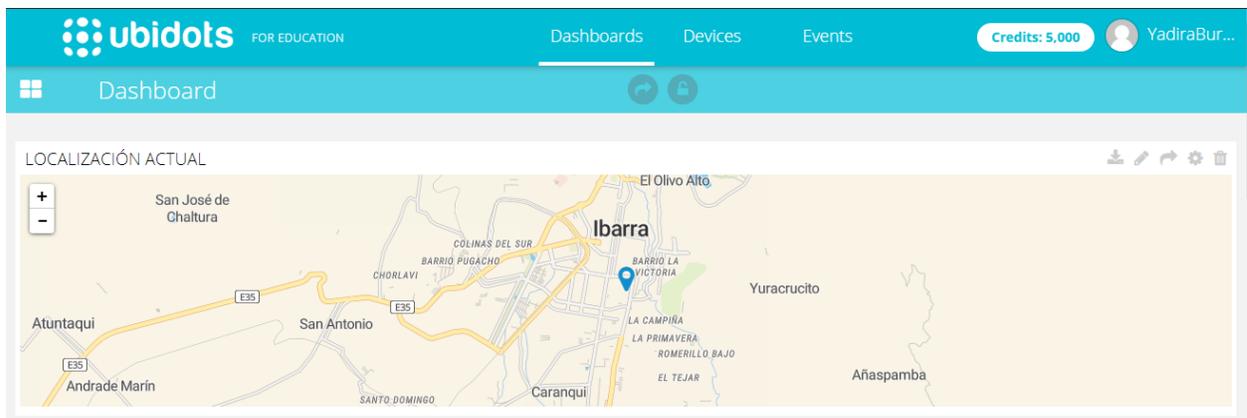


Figura 38. Localización de nodo

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 39 podemos encontrar el valor de la temperatura y humedad del ambiente. La temperatura se puede ver en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) y la humedad en porcentaje (%).

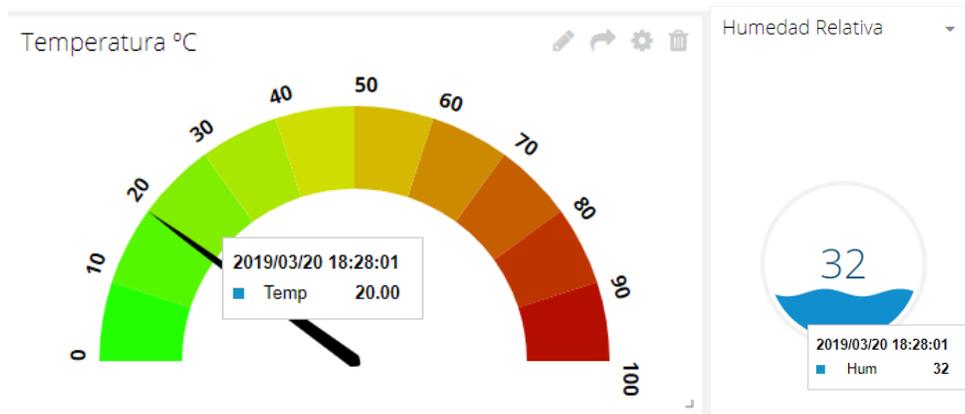


Figura 39. Temperatura y humedad del ambiente

Fuente: Elaboración propia

En Ubidots nos permite crear tablas para cada uno de los sensores con los que estamos trabajando, y con esos datos graficarlos.

En la Figura 40 se puede observar el estado del aire, puede cambiar de Normal, a Alerta y Emergencia que son los 3 niveles en los que se clasificó el sistema.

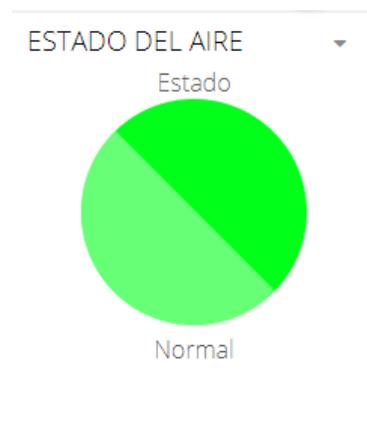


Figura 40. Estado del aire

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.3 Implementación final de AirQIB

Una vez terminado de realizar las placas se empotra en la caja realizada tal como se indica en la Figura 41, teniendo así el prototipo terminado y listo para poner en el vehículo.

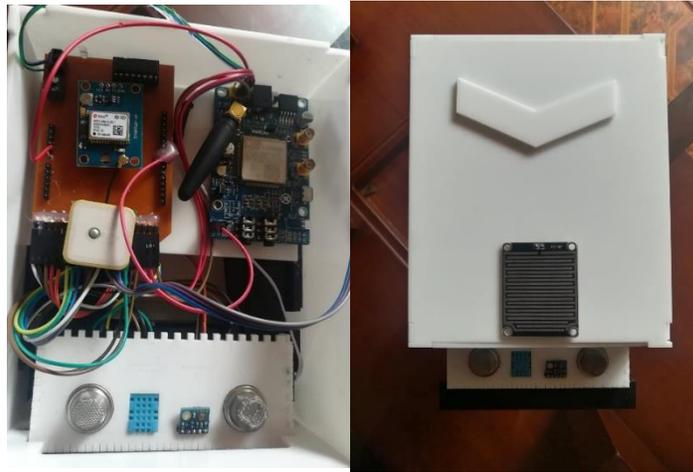


Figura 41. Diseño de prototipo

Fuente: Elaboración propia

Una vez adaptado en el vehículo se procede a realizar a conexión a 12v, en la Figura 42 se indica la implementación final del prototipo en el vehículo.



Figura 42. Implementación Final (Vista Lateral)

Fuente: Elaboración Propia



Figura 43. Implementación final (Vista superior)

Fuente: Elaboración Propia



Figura 44. Implementación final (Vista Frontal)

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

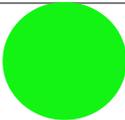
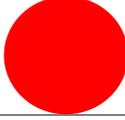
En el presente capítulo se indica las pruebas de funcionamiento del software y hardware del sistema de monitoreo móvil de patrones de la calidad del aire. Con las pruebas de funcionamiento y los resultados obtenidos se finaliza la metodología de desarrollo basada en el modelo en V en la fase de Pruebas de operación y validación.

### 4.1 Resultados

Para demostrar los resultados se ha realizado el mapeo por parroquias de la ciudad de Ibarra en sus avenidas principales para determinar los sectores en donde existe mayor cantidad de contaminación del aire.

Se debe tener en cuenta que los datos fueron tomados en horas picos y en los sectores turísticos en fines de semana.

Tabla 20. Simbología

SIMBOLOGÍA	
	Normal
	Elevado
	Emergencia

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1 Parroquia Caranqui y Los Ceibos

Se realizó la toma de datos en la Avenida Atahualpa y Avenida el Retorno, en la Figura 45 y 46 se indican los resultados correspondientes.



Figura 45. Mapeo Caranqui

Fuente: Elaboración propia adaptado de (Google Maps, 2019)

En la Figura 45 se puede observar que en los sectores más congestionados sube el nivel de contaminación, como son en la Av. El Retorno por el sector de la Academia San Diego así mismo en la Av. Atahualpa por el Parque de Caranqui y en la intersección con la calle Hernán Gonzales de Saa.

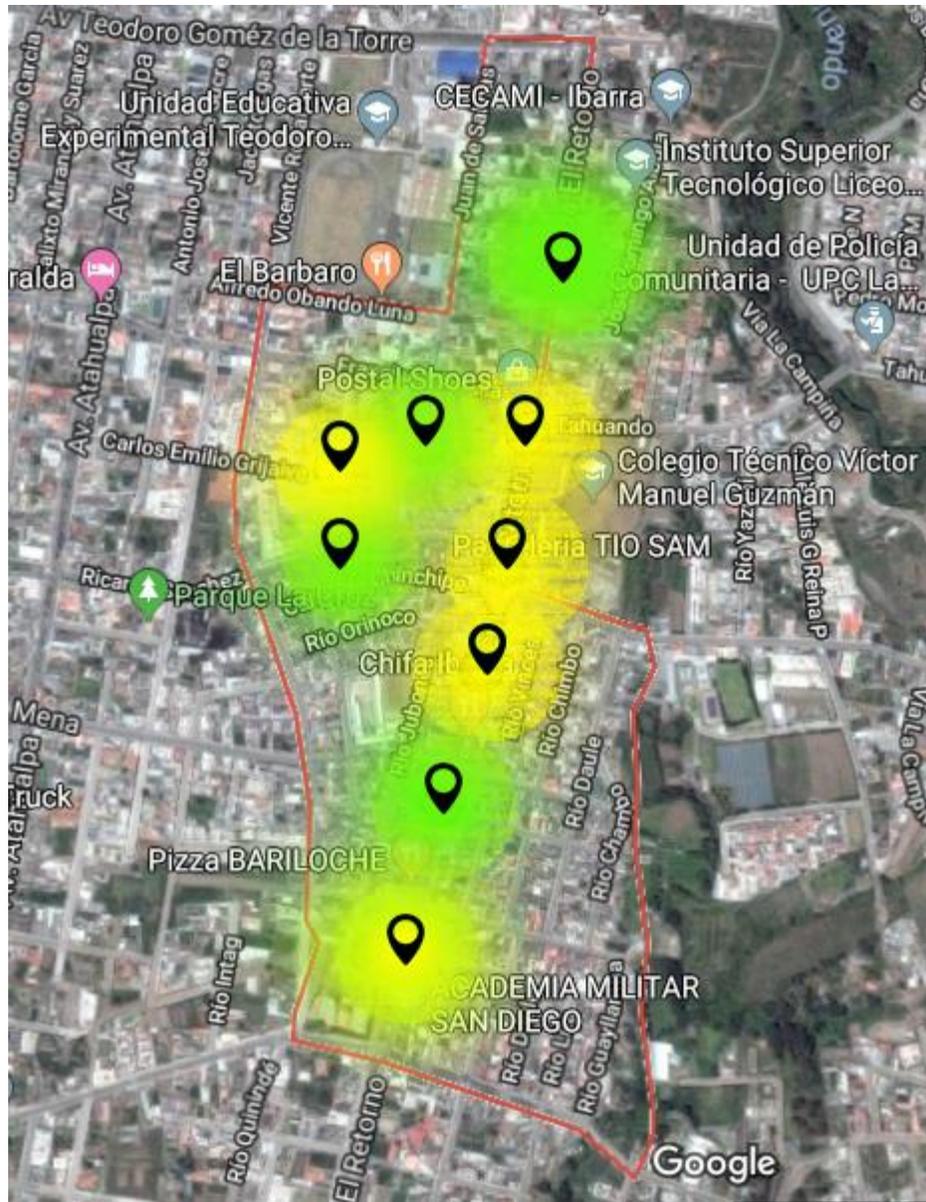


Figura 46. Mapeo Ceibos

Fuente: Elaboración propia adaptado de (Google Maps, 2019)

En la Figura 46 se observa el barrio los Ceibos en donde se realizó la toma de datos por la avenida principal observando que existe un nivel elevado en el sector del parque de los Ceibos, en la Cruz Verde y por el Colegio Víctor Manuel Guzmán.

#### 4.1.2 Parroquia Alpachaca

En la Figura 47 se observa que en el sector del Hospital del Seguro Social existe un nivel elevado de contaminación.

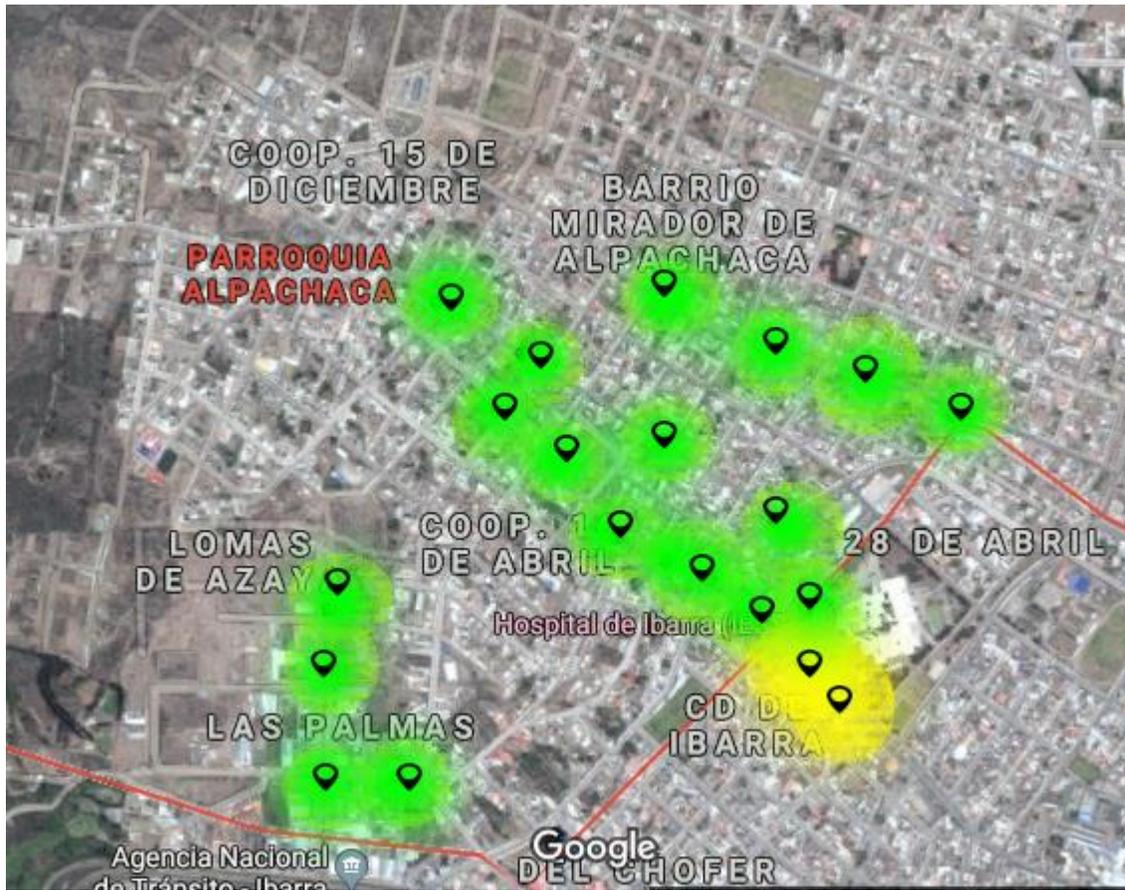


Figura 47. Mapeo parroquia Alpachaca

Fuente: Elaboración propia adaptado de (Google Maps, 2019)

### 4.1.3 Parroquia El Sagrario

En la Figura 48 en horas de lata congestión vehicular existe un nivel elevado de contaminación en las afueras de la Universidad Técnica del Norte.

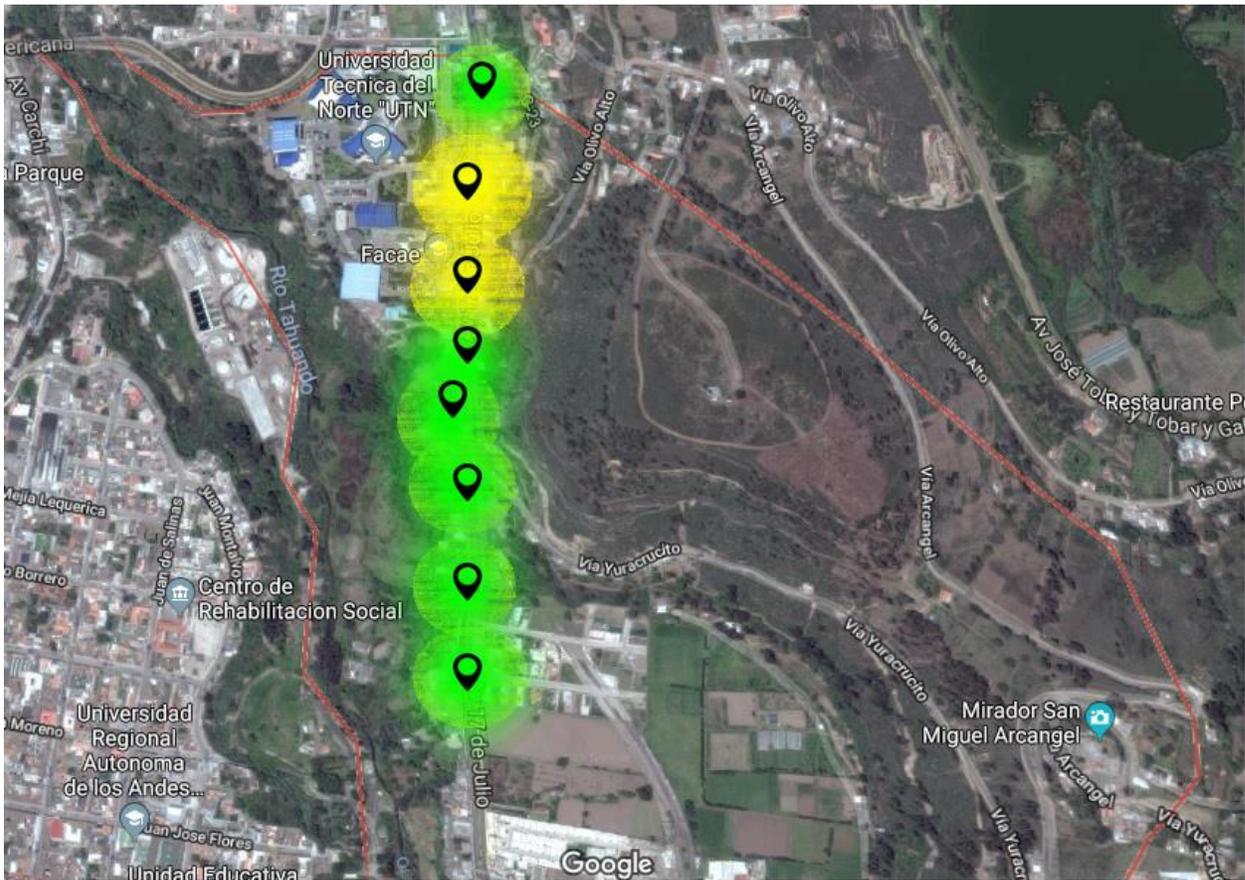


Figura 48. Mapeo sector Universidad Técnica del Norte

Fuente: Elaboración propia adaptado de (Google Maps, 2019)





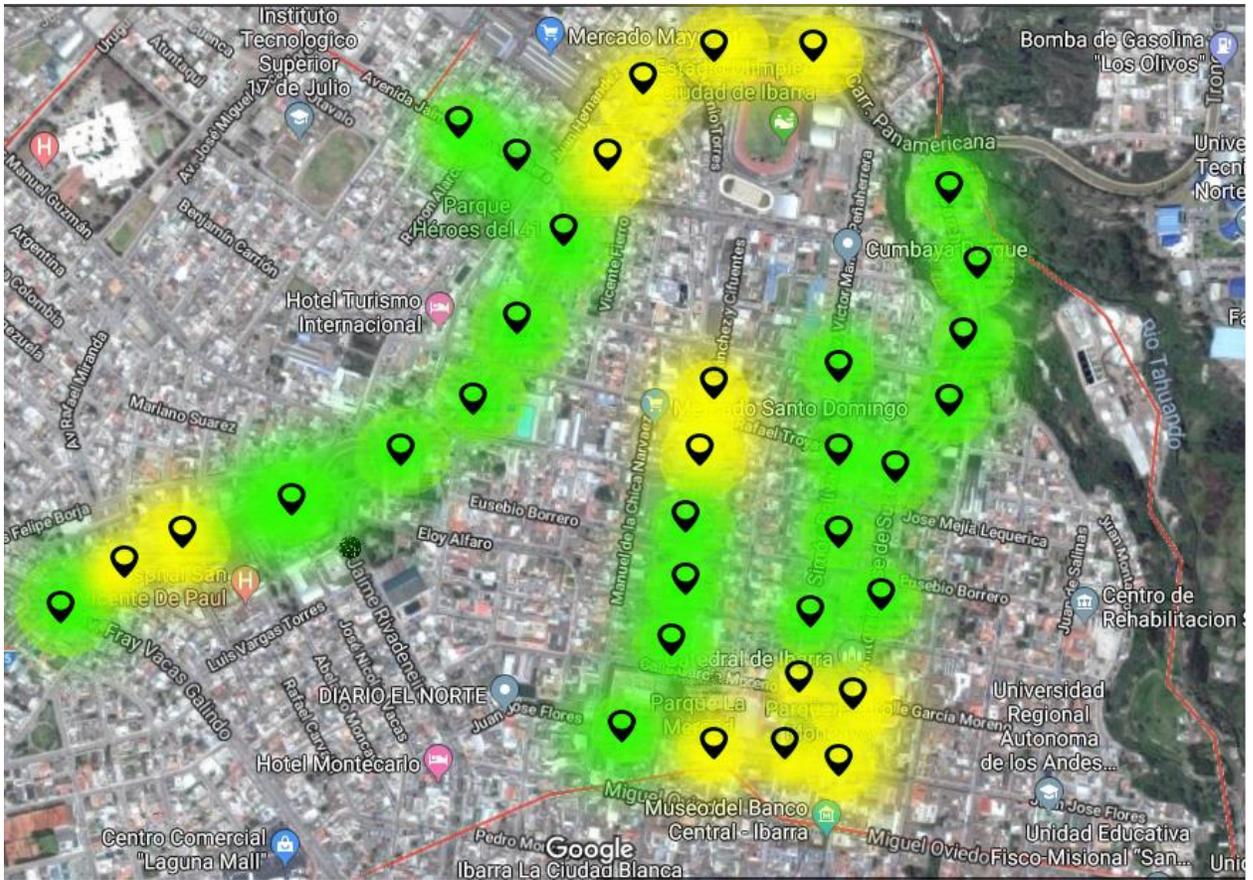


Figura 51. Mapeo sector Panamericana y Parque Principales

Fuente: Elaboración propia adaptado de (Google Maps, 2019)

En el Estadio, por los parques principales y por el sector del Mercado Mayorista en horas picos existe un nivel elevado de contaminación ya que por esos lugares transitan varios vehículos (Ver Figura 51).

#### 4.1.5 Parroquia La Dolorosa del Priorato

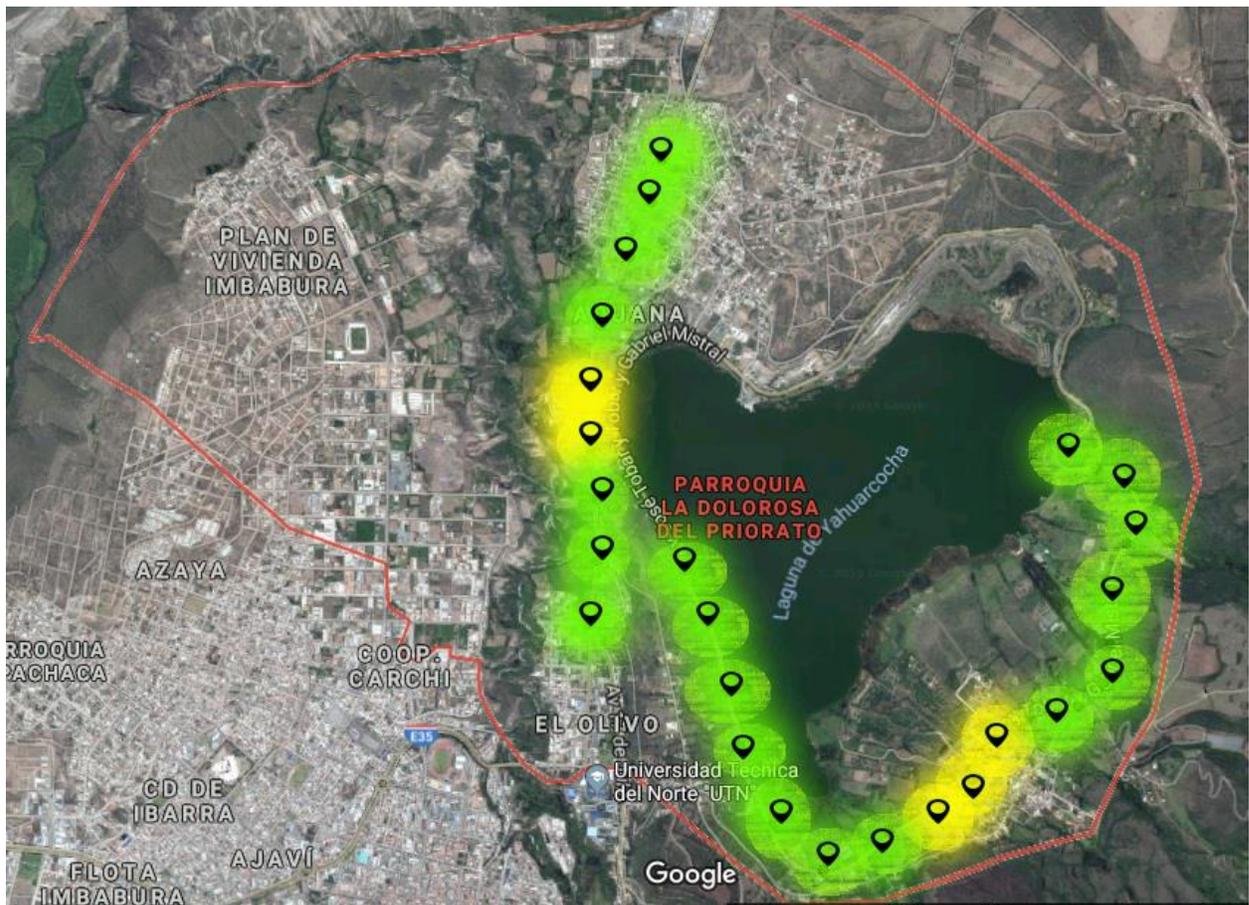


Figura 52. Mapeo Priorato

Fuente: Elaboración propia adaptado de (Google Maps, 2019)

En la Laguna de Yahuarcocha (Ver Figura 52) los fines de semana existe afluencia de vehículos por lo cual en el pueblo existe un aumento de nivel de aire contaminado en comparación con los demás días de la semana.

## **4.2 Análisis de la calidad del aire en Ibarra**

Después de realizar la toma de datos con el sistema embebido se pudo llegar a la conclusión que en la ciudad de Ibarra aún existe un nivel bajo de contaminación, en sectores como los Mercados, las afueras de las instituciones educativas en horas de ingreso y salida de clases sube el nivel de contaminación a elevado por la afluencia de vehículos que existe, en ningún lugar de la ciudad de Ibarra el nivel de contaminación subió a Emergencia, es decir no excedió los límites fijados por la Norma de la Calidad del Aire.

## **4.3 Comparación de resultados con APP Air Quality**

Air Quality es una aplicación desarrollada para medir el sistema meteorológico, este sistema al ser una aplicación para teléfono celular no tiene sensores específicos para la medición de gases por lo que hace uso de los satélites para obtener la información, existen un margen de error de un 20% en los datos, pero la información que brinda se acerca bastante a los datos que se obtienen con el sistema embebido que se desarrolló.

En la Figura 53 se observa que nos indica que el lugar donde se realizó la medición es de nivel Moderado, que en nuestro sistema viene a ser nivel Elevado.

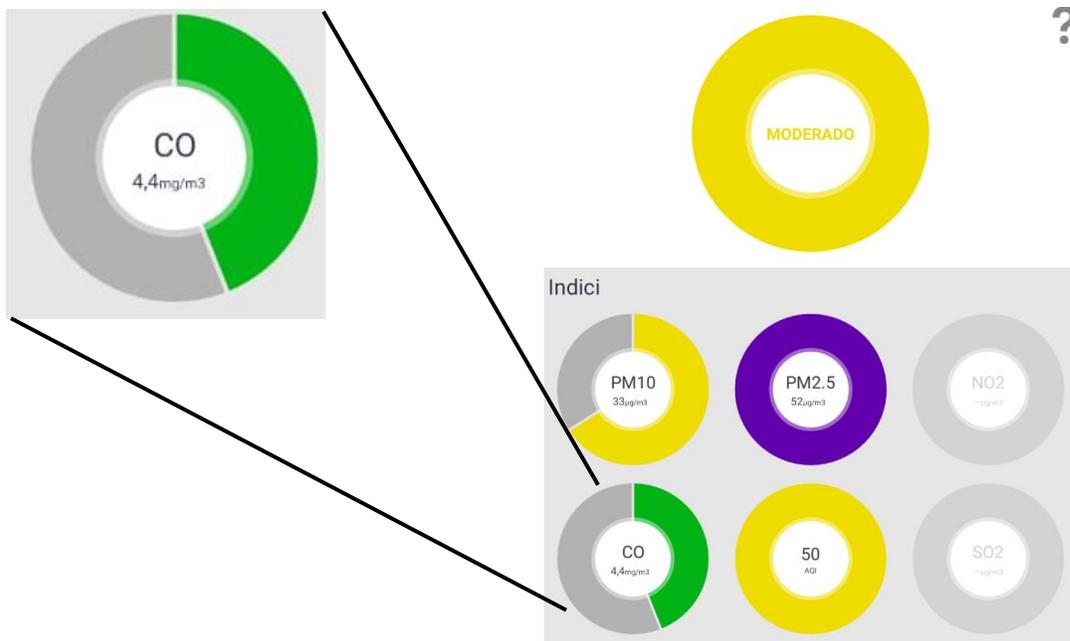


Figura 53. Información obtenida de Air Quality

Fuente: (Air Quality, 2019)

El valor que mide esta APP de CO es de  $4.4 \text{ mg/m}^3$ , mientras que el sistema embebido móvil para medir los patrones de la calidad del aire nos indica un valor de CO de  $4.592 \text{ mg/m}^3$ , teniendo así un error de 0.1 aproximadamente, estos resultados se indican en la Figura 54, que es una imagen tomada de la plataforma de Ubidots.

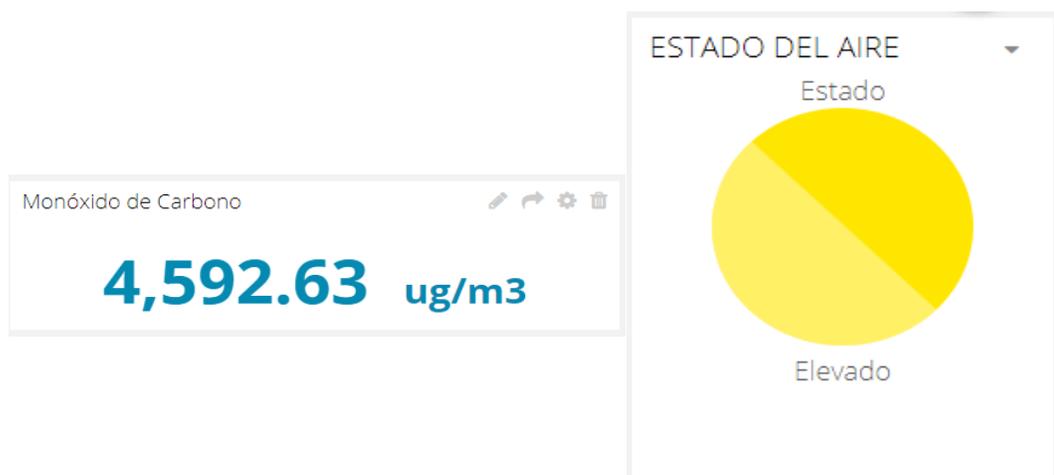


Figura 54. Valores de la plataforma de Ubidots

Fuente: (Ubidots, 2019)

#### 4.4 Matriz de confusión

Para interpretar la matriz de confusión debemos analizar los Falsos Negativos, Falsos positivos, los verdaderos positivos y los verdaderos negativos como se indica en la tabla 21.

Tabla 21. Interpretación matriz de confusión

TN	FP	TN
FN	TP	FN
TN	FP	TN

Fuente: (Rouse, 2016)

Realizamos la matriz de confusión con los datos de la base de datos de prueba que obtuvimos de RStudio, como se indica en la Tabla 22.

Tabla 22. Matriz de confusión

	<b>NORMAL</b>	<b>ELEVADO</b>	<b>EMERGENCIA</b>
<b>NORMAL</b>	62	8	0
<b>ELEVADO</b>	6	68	1
<b>EMERGENCIA</b>	0	0	8

Fuente: Elaboración propia

Para calcular la exactitud empleamos la ecuación 7:

$$Exactitud = \frac{TN + TP + TN}{\# TOTAL DE DATOS}$$

Ecuación 7. Ecuación para calcular la exactitud

Fuente: (Alibaba, 2018)

$$Exactitud = \frac{62 + 68 + 8}{149}$$

$$\text{Exactitud} = 0,9261$$

$$\text{Exactitud} = 92.61\%$$

Por lo tanto, existe un error de 7,39 % en los datos obtenidos.

#### 4.5 Valores máximo y mínimos obtenidos de la toma de datos

Al realizar la toma de datos en los diferentes sectores de la ciudad de Ibarra se puede llegar a la conclusión que en nuestra ciudad no existen aún límites sumamente elevados, ya que aún existen espacios verdes que ayudan a mantener un aire limpio y menos contaminando en comparación con ciudades más grandes.

En la tabla 23 se observa los valores máximos y mínimos que existen en la ciudad de Ibarra:

Tabla 23. Valores máximos y mínimos

	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>NOx</b>	2482 ug/m <sup>3</sup>	113 ug/m <sup>3</sup>
<b>CO</b>	10508 ug/m <sup>3</sup>	2368 ug/m <sup>3</sup>
<b>Radiación UV</b>	8,14	0,7
<b>Temperatura</b>	38°C	12°C
<b>Humedad</b>	60%	10%

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.6 Test de pruebas basadas en el modelo en V

El objetivo de este capítulo es reunir los casos de pruebas que verifican que el sistema satisface los requisitos especificados. Las pruebas serán realizadas basándose en el modelo en V.

En este apartado se describen en detalle cada uno de los casos de pruebas que se han identificado como necesarios para comprobar la funcionalidad del sistema, se identifica las pruebas que deben realizarse para asegurar el correcto funcionamiento del prototipo.

4.6.1 Test Eléctrico	Subsistema prueba	Eléctrico
	Prueba de despliegue	Si/No
<p><b>Descripción:</b></p> <p>Prueba de diseño del prototipo basado en el subsistema eléctrico</p>		
<p><b>Prerrequisitos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conexiones de Shield y distribución hacia y desde las placas programables a los sensores</li> <li>2. Verificar posiciones de dispositivos</li> </ol>		
<p><b>Pasos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación de encendido de placa programable Arduino</li> <li>• Verificación de encendido de dispositivos electrónicos: sensores y módulos de comunicación.</li> <li>• Comprobación de niveles bajos de temperatura de elementos</li> <li>• Verificación de niveles de voltaje regulados por resistencias.</li> <li>• Comprobación de suministro de energía continua hacia dispositivos electrónicos.</li> </ul>		
<p><b>Resultado esperado:</b></p> <p>Tener todos los elementos necesarios para el suministro y distribución de energía en el sistema embebido, con un consumo de energía ideal, para evitar que los sensores no tengan la suficiente energía para funcionar y evitar que el sistema tenga fallas durante la realización de la toma de datos.</p>		

**Resultado obtenido:**

Se verificó que tanto la placa Arduino, como el SIM808 y la placa de red de sensores funciona correctamente, no tiene bajas de voltaje.

4.6.2 Test Subsistema pasivo	Subsistema prueba	Eléctrico
	Prueba de despliegue	Si/No
<p><b>Descripción:</b></p> <p>Prueba de diseño del prototipo basado en el subsistema Pasivo.</p>		
<p><b>Prerrequisitos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adquisición de cables conectores para el prototipo móvil</li> <li>2. Ubicación adecuada en el vehículo.</li> <li>3. Seguridad ante los cambios climáticos.</li> </ol>		
<p><b>Pasos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobación de estado de cables para el prototipo</li> <li>• Verificación de conexiones a pines de placa programable</li> <li>• Posición del sistema embebido en el vehículo.</li> <li>• Comprobación de estabilidad del sistema embebido en el vehículo.</li> <li>• Revisión de conectividad.</li> </ul>		
<p><b>Resultado esperado:</b></p> <p>Las conexiones con todos los elementos electrónicos desde la placa Arduino UNO debe estar funcional y no sufrir alteraciones o daños con el movimiento del vehículo, permitiendo estabilidad a los sensores.</p>		

**Resultado obtenido:**

Las conexiones realizadas en la placa se encuentran en estado correcto y seguro, las soldaduras realizadas están en buen estado; también se verificó que la placa Arduino está estable y no se producirá daños en los pines. La caja en la que se encuentra el sistema embebido está correctamente empotrado al vehículo sin riesgo de que se caiga o se averíe.

4.6.3 Test Subsistema activo	Subsistema prueba	Eléctrico
	Prueba de despliegue	Si/No
<p><b>Descripción:</b></p> <p>Prueba de diseño del prototipo basado en el subsistema activo.</p>		
<p><b>Prerrequisitos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adquisición de módulos GPS, sim808.</li> <li>2. Revisión de conectividad</li> <li>3. Análisis de funcionamiento de aplicación de registro de fallos</li> </ol>		
<p><b>Pasos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Correcto funcionamiento de placa Arduino UNO R3</li> <li>• Comprobación de conexión GSM/GPRS</li> <li>• Comprobación de conexión de GSM/GPRS con la web.</li> <li>• Verificación de niveles de interferencia entre nodos de comunicación.</li> <li>• Comprobación de envío y recepción de datos de nodos esclavos hacia aplicación y base de datos.</li> </ul>		
<p><b>Resultado esperado:</b></p> <p>Mantener una transmisión de datos libres de interferencias, teniendo una adquisición de datos con un margen mínimo de errores, almacenando los datos censados a todo momento y de cualquier sector de la ciudad de Ibarra, manteniendo la disponibilidad de los servicios presente en todo momento.</p>		

**Resultado obtenido:**

Se comprobó que el Arduino UNO se acopla correctamente con todos los módulos, y se pudo establecer la comunicación GPRS, permitiendo el envío de los datos de los sensores.

4.6.4 Test de Hardware	Subsistema prueba	Eléctrico
	Prueba de despliegue	Si/No
<b>Descripción:</b>		
Prueba de los dispositivos electrónicos utilizados para el desarrollo del prototipo		
<b>Prerrequisitos</b>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Compra de materiales</li> <li>2. Adquisición de materiales</li> <li>3. Estudio de funcionamiento de cada dispositivo</li> </ol>		
<b>Pasos:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación de encendido de los dispositivos electrónicos</li> <li>• Análisis de las funciones de cada dispositivo</li> <li>• Análisis de sensores MQ</li> <li>• Revisión del funcionamiento de la placa Arduino UNO</li> <li>• Revisión de módulos GPS y SIM808</li> </ul>		
<b>Resultado esperado:</b>		
Los dispositivos electrónicos funcionan correctamente, las placas programables alimentan con 5v a los módulos y sensores. El módulo GPS debe ser capaz de dar correctamente las coordenadas. El módulo SIM808 debe tener buena conectividad para enviar los datos.		

#### **Resultados obtenidos:**

Una vez realizada el análisis del hardware se pudo determinar que los equipos están en correcto estado, el Arduino UNO tiene los pines necesarios para conectar todos los sensores y módulos que se necesitan. Lo primero que se realizó es el encendido de las placas Shield para verificar que el voltaje sea suficiente.

4.6.5 Test de Software	Subsistema prueba	Eléctrico
	Prueba de despliegue	Si/No
<b>Descripción:</b>		
Prueba de funciones y características del software para el uso del sistema.		
<b>Prerrequisitos</b>		
1. Verificación de conectividad entre nodos de comunicación		
2. Análisis de requerimientos del prototipo		
3. Estudio de la programación		
<b>Pasos:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibración de sensores.</li> <li>• Transmisión y recepción de datos.</li> <li>• Página web para la muestra de información.</li> </ul>		
<b>Resultado esperado:</b>		
Se espera que el sistema embebido móvil tome datos de los gases nocivos que se encuentran en el aire y juntamente con su localización y se visualice esa información en la plataforma elegida.		

**Resultado obtenido:**

Se pudo recopilar información en varios sectores de los gases nocivos y ubicarlos mediante las coordenadas que se obtienen del módulo GPS y con el GPRS subir esta información a Ubidots en donde se puede visualizar de manera gráfica y entendible.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Durante el estudio para la realización del proyecto, se pudo conocer la necesidad que tiene la población de la ciudad de Ibarra de tener un sistema de medición de gases contaminantes, que permita la visualización de los niveles de contaminación a los cuales está expuesta diariamente.
- Con la implementación del sistema embebido móvil para medir los patrones de la calidad del aire en la ciudad de Ibarra se facilita la recopilación de datos, ya que se puede hacer uso de los vehículos que transitan por varios sectores de la ciudad, sin causar inconvenientes ni molestias a los conductores ni ocupantes del vehículo.
- La correcta calibración de los sensores permite que los datos obtenidos se puedan clasificar de mejor manera, guiándose en los valores permitidos que tiene cada gas en el ambiente.
- Para la ubicación de los sensores y módulos en la placa diseñada se debió tener en cuenta varias consideraciones para que al momento de su funcionamiento no se alteren los datos de ninguno de los sensores.

## 5.2 Recomendaciones

- El proyecto permite mejoramientos, tanto a nivel de software como también el hardware utilizado; es decir, los sensores, la tarjeta Arduino, el módulo GPS podrían ser reemplazadas para tener una mayor cobertura de los diferentes tipos de gases contaminantes a monitorear.
- Se debe tener precaución al momento de realizar la instalación y mantenimiento del hardware utilizado en el proyecto, evitando que se averíe por condiciones climáticas, golpes o manipulaciones no autorizadas.
- Es recomendable ubicar el sistema embebido en un lugar del vehículo en el que no cause inconvenientes para el conductor ni a los ocupantes, y a la vez sea una parte del vehículo en la que la temperatura de este no afecte a los sensores en la toma de datos
- Los diferentes sensores y dispositivos que componen el sistema de monitoreo de gases contaminantes se pueden adquirir mediante internet, en diferentes fabricantes a nivel mundial o a través de distribuidores en el Ecuador.
- El proyecto permite la integración de sistemas informáticos, dando lugar a futuras investigaciones referentes a la contaminación ambiental.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J. A. (2013). El Planeta Tierra en peligro: Calentamiento Global, Cambio Climático, Soluciones.
- Altamirano, C., & Meneses, L. (2018). Determinación de BTEX en aire ambiente del Distrito Metropolitano de Quito mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama. *infoANALÍTICA*, 25-37.
- ARDUINO. (2018). *What is Arduino?* Obtenido de <https://www.arduino.cc>
- Areny, R. P. (2004). Sensores y acondicionadores de señal. Marcombo.
- Big Data International Campus. (n.d). *Procesos de Análisis de Datos. Retrieved from* . Obtenido de <https://www.campusbigdata.com/big-data-blog/item/104-procesos-de-analisis-de-datos>
- Calderón, J., & Montero, Y. S. (1993). *Mediciones e instrumentacion industrial*.
- Caparrini, F. (2017). *Clasificación Supervisada y No Supervisada* . Obtenido de <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=77>
- Carmen Mera, L. (2013). *Enfermedades causadas por la contaminación del aire*. Obtenido de <http://www2.esmas.com/salud/salud-natural/660548/enfermedades-causadas-contaminacion-del-aire/>
- Castilla, J. C. (2015). Tragedia de los recursos de uso común y ética ambiental individual responsable frente al calentamiento global. *Acta bioethica*, 65-7.

Castro, J. C., & Abad , R. G. (2015). Medición de los niveles de contaminación de CO y CO<sub>2</sub>, a través de un sistema electrónico basado en PLC´ s, para el monitoreo de la calidad del aire en la Universidad Católica de Cuenca. *Revista Interam.*

Castro, J. C., & Abad, R. G. (2015). (2015). Medición de los niveles de contaminación de CO y CO<sub>2</sub>, a través de un sistema electrónico basado en PLC´ s, para el monitoreo de la calidad del aire en la Universidad Católica de Cuenca, Sede Azogues. *Interamericana de Ambiente y Turismo-RIAT*, 217-224.

Cienfuegos, J., & Méndez, G. (2016). Capacidades de desarrollo de sistemas embebidos en México para la industria automotriz. *Sistemas Embebidos. Aplicaciones y Tendencias.*

Cruz, J. (2013). *Sistemas Embebidos Sistemas de Tiempo Real*. Obtenido de [http://www.sase.com.ar/2013/files/2013/09/SASE2013-Tiempo\\_Real.pdf](http://www.sase.com.ar/2013/files/2013/09/SASE2013-Tiempo_Real.pdf)

De Miranda, E. M. (2017). ¿ Es posible la vida en el planeta tierra?

Delgado, J. F., & Romero, D. C. (2007). Cambio climático: glaciaciones y calentamiento global.

El Comercio. (12 de mayo de 2016). *La calidad del aire es desastrosa en la mayoría de ciudades del mundo*. Obtenido de El Comercio: <http://www.elcomercio.com/tendencias/calidad-aire-ciudades-mundo-oms.html>

EL NORTE. (2014). *Ibarra es la segunda ciudad en Latinoamérica donde se respira el aire más puro*. *EL NORTE*. Obtenido de Retrieved from <https://www.elnorte.ec/ibarra/ibarra-es-la-segunda-ciudad-en-latinoamerica-donde-se-respira-el-aire-mas-puro-ECEN47886>

El Telégrafo. (7 de 5 de 2014). *El Telégrafo*. Obtenido de Ibarra y Ambato, entre las ciudades con el aire más limpio de Latinoamérica:

<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/4/ibarra-y-ambato-entre-las-ciudades-con-el-aire-mas-limpio-de-latinoamerica>

Equipo de expertos de la Universidad Internacional de Valencia. (21 de 03 de 2018). VIU. Obtenido de Universidad Internacional de Valencia: <https://www.universidadviu.com/sistemas-gprs-concepto-general-usos-principales/>

Estévez-Velarde, S., & Cruz, Y. A. (2015). Evaluación de algoritmos de clasificación supervisada para el minado de opinion en twitter. *Investigación Operacional*, 194-205.

Fernandez, M. (2014). Redes inalámbricas de sensores.

Franco, E. (n.d). *Características de un instrumento de medición*. Obtenido de <http://www.eafranco.com/docencia/instrumentacion/files/05/Diapositivas05.pdf>

Garrahan, J. (2015). *Prevención de Intoxicaciones por Monóxido de Carbono*. Obtenido de [http://www.garrahan.edu.ar/pluginfile.php?file=/1233/mod\\_page/content/12/Monóxido%20de%20Carbono.pdf](http://www.garrahan.edu.ar/pluginfile.php?file=/1233/mod_page/content/12/Monóxido%20de%20Carbono.pdf)

Giménez Rodríguez, T., & Ros Bernabeu, M. E. (2010). Sistema de Posicionamiento Global (GPS). *Gravitación y Astrofísica*, 3-5.

Gordon, J. L., Salazar, J. E., Vinueza, W. A., Montenegro, F. M., & Vera, R. G. (2017). Navegación pre-programada de trayectorias de un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) aplicado a la supervisión y transmisión en línea de la calidad del aire. *Revista Publicando*, 61-80.

Guajala, G., & Carlos, J. (2015). El calentamiento global en el ecuador y el mundo y cómo influye el gobierno ecuatoriano en defensa del medio ambiente.

HANWEI ELECTRONICS. (s.f.). *HANWEI ELECTRONICS*. Obtenido de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>

Herrador-Valencia, D., & Paredes, M. (2016). Cambio climático y agricultura de pequeña escala en los Andes ecuatorianos: un estudio sobre percepciones locales y estrategias de adaptación. *Journal of Latin American Geography*, 101-12.

HETPRO. (2017). *HETPRO*. Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/gps-ublox-neo-6m-modulo-con-matlab/>

HOY En Imbabura. (2017). *Ibarra continúa siendo la tercera ciudad con el mejor aire de latinoamérica*. Obtenido de <https://hoyenimbabura.com/2017/01/20/ibarra-continua-siendo-la-tercera-ciudad-con-el-mejor-aire-de-latinoamerica/>

Infas. (2018). *RESOLUCIÓN, DISCRIMINACIÓN Y SENSIBILIDAD*. Obtenido de <http://www.infas.com.ar/resolucion/>

Jimenez, C. (2018). *Sistemas inteligentes*. Obtenido de <https://es.calameo.com/books/004596089d805e1d87e0c>

JM Industrial. (2017). *¿Qué es la adquisición de datos y por qué es importante?* Obtenido de <https://www.jmi.com.mx/literatura/blog/item/32-que-es-la-adquisicion-de-datos-y-por-que-es-importante.html>

La hora. (23 de Noviembre de 2009). *La hora*. Obtenido de El aire de Ibarra lleno de contaminación: <https://lahora.com.ec/noticia/961626/el-aire-de-ibarra-lleno-de-contaminacion3b3n>

- Llamas, L. (2017). *Ingeniería, informática y diseño*. Obtenido de DETECTOR DE GASES CON ARDUINO Y LA FAMILIA DE SENSORES MQ: <https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/>
- Loachamín, D. (2017). *DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE IBARRA DEL PERIODO 2012- 2015*. Quito.
- Loachamin, D. (2018). *Diagnóstico de la calidad del aire de la ciudad de ibarra del periodo 2012 - 2015*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10530/1/T-UCE-0012-34.pdf>
- Londoño, C. A., & Vasco, G. J. (2008). Relación entre las partículas finas (PM 2.5) y respirables PM 10) en la ciudad de Medellín. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 23-42.
- Márquez, J. (2016). *Introducción y Definiciones Básicas*. Obtenido de <http://www.academicos.ccadet.unam.mx/jorge.marquez/cursos/Instrumentacion/IntroduccionDefiniciones.pdf>
- Martínez-López, E., & Díaz-Valencia , P. A. (2015). Respirar aire contaminado es tan nocivo como fumar cigarrillo. *Revista de Salud Pública*, 365-378.
- MC Measurement Computing. (2012). *Data Acquisition Handbook*. Estados Unidos de América: MC Measurement Computing.
- Mecafenix, F. (2017). *Tipos de sensores y sus características*. Obtenido de <http://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/>
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de Controlar la contaminación ambiental contribuye a mejorar la calidad de vida de la población:

<http://www.ambiente.gob.ec/controlar-la-contaminacion-ambiental-contribuye-a-mejorar-la-calidad-de-vida-de-la-poblacion/>

Moreno Jiménez, A. (2007). Justicia ambiental y contaminación atmosférica por dióxido de azufre en Madrid: análisis espacio-temporal y valoración con sistemas de información geográfica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*.

National Instrument. (n.d). *Guía de acondicionamiento de señales para ingenieros*. Obtenido de [http://ftp://ftp.ni.com/evaluation/signal\\_conditioning/23807\\_Engineer\\_s\\_guide\\_to\\_signal\\_conditioning\\_Spanish\\_localisation\\_HR.pdf](http://ftp://ftp.ni.com/evaluation/signal_conditioning/23807_Engineer_s_guide_to_signal_conditioning_Spanish_localisation_HR.pdf)

NAYLAMP ELECTRONICS. (s.f.). *NAYLAMP ELECTRONICS*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/73-sensor-calidad-aire-mq135.html>

Núñez, N. (n.d). *Sistemas Embebidos y Aplicaciones*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/342320232/Sistemas-Embebidos-y-Aplicaciones>

Olvera López, J. A. (2010). Prototype selection methods.

Organización Mundial de la Salud. (2011). *Organización Mundial de la Salud, Organización Panamericana de la Salud*. Obtenido de 7 millones de muertes ocurren cada año debido a la contaminación atmosférica, según la OMS: [https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1172:7-millones-muertes-ocurren-cada-ano-debido-contaminacion-atmosferica-segun-oms&Itemid=360](https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com_content&view=article&id=1172:7-millones-muertes-ocurren-cada-ano-debido-contaminacion-atmosferica-segun-oms&Itemid=360)

Organización Mundial de la Salud. (2018). *Contaminación del aire de interiores y salud*. Obtenido de <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>

pnuma.org. (s.f.). *Estado del Aire*. Obtenido de Pnuma: <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador%20pdf/04.%20Capitulo%202.%20Estado%20del%20aire.pdf>

Random Nerd . (s.f.). *Guide to SIM900 GSM GPRS Shield with Arduino* . Obtenido de <https://randomnerdtutorials.com/sim900-gsm-gprs-shield-arduino/>

Rodríguez, D. (2015). *Instrumentación industrial* . Obtenido de <http://introductioninstrumentation.blogspot.com/2015/09/errores-en-la-medicion-al-hacer.html>

Rouse, M. (2016). *¿Qué es Análisis de datos?* Obtenido de <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Analisis-de-Datos>

Salazar, J. (2000). Procesadores digitales de señal (DSP). *Mundo electrónico*, 46-57.

Sandoval, A., López, E., Martínez, C., & Rivas, L. (2015). Sistema de Autenticación Facial mediante la Implementación del algoritmo PCA modificado en Sistemas embebidos con arquitectura ARM. 53-64.

Schlumberger. (2018). *Schlumberger Oilfield Glossary*. Obtenido de [https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/m/measurement\\_range.aspx](https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/m/measurement_range.aspx)

- Software & Systems Engineering Standards Committee. (01 de 12 de 2011). *IEEE STANDARDS ASSOCIATION*. Obtenido de IEEE 29148-2011 - ISO/IEC/IEEE International Standard: <https://standards.ieee.org/standard/29148-2011.html>
- Solé, A. C. (2012). *Instrumentación industrial*. Maracombo.
- Sorgato, V. (10 de Junio de 2016). Seis urbes en Ecuador se exceden en contaminación ambiental, según OMS. *El Comercio*.
- Stocke, T., Dahe, Q., & Plattner, G. (2013). Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. *Cambridge University Press*.
- Tawil, Y. (01 de Julio de 2016). *All about circuits*. Obtenido de Understanding Arduino UNO Hardware Design: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/understanding-arduino-uno-hardware-design/>
- TdRobótica. (2018). *MQ-7 - Sensor de monóxido de carbono*. Obtenido de <http://tdrobotica.co/sensor-de-monoxido-de-carbono-mq-7-/141.html>
- Tonni, E. P. (2018). Cambio climático en el Holoceno tardío de la Argentina. Una síntesis con énfasis en los últimos 1000 años. *Folia Histórica del Nordeste*, 187-195. .
- Tsujita, W., Kaneko, S., Ueda, T., Ishida, H., & Moriizumi, T. (2003). SENSOR-BASED AIR-POLLUTION MEASUREMENT SYSTEM FOR ENVIRONMENTAL MONITORING NETWORK. *IEEE*, 544.

UNED. (2011). *Industrial Systems Engineering*. Obtenido de [http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion\\_de\\_referencia\\_ISE5\\_3\\_1.pdf](http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE5_3_1.pdf)

Universidad de Jaen. (2016). *Prácticas de teledetección*. Obtenido de [http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/tel/archivos/Prac\\_Tel\\_2006\\_7.pdf](http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/tel/archivos/Prac_Tel_2006_7.pdf)

Valverde, J. (2015). Estudio de la calidad del aire afectada por la actividad industrial en la urb. Primavera-distrito de El Agustino. . *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica*.

Vargas Marcos, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud.

Vide, J. M. (2008). La nueva realidad del calentamiento global. Un decálogo del cambio climático. . *Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 12-19.

Vuille, M. (2013). El cambio climático y los recursos hídricos en los Andes tropicales. . *Inter-American Development Bank*.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

**NO<sub>x</sub>**: Óxidos de Nitrógeno

**CO**: Monóxido de Carbono

**Rayos UV**: Radiación ultravioleta

**Knn**: k vecinos más cercanos (en inglés, k-nearest neighbors)

**Ug/m<sup>3</sup>**: Microgramo sobre metro cúbico

**Vcc**: Voltaje en corriente directa

**PM<sub>10</sub>**: partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10  $\mu\text{m}$ .

**Tx**: Transmisión

**Rx**: Recepción

**GPS**: Sistema de Posicionamiento Global (en inglés, GPS; Global Positioning System)

**GPRS**: Servicio general de paquetes vía radio, en inglés: General Packet Radio Service

## ANEXOS

### Anexo 1. Programación script IDE-Arduino para la lectura de los sensores

```
////////////////////////////////////LIBRERIAS////////////////////////////////////
#include <SoftwareSerial.h>
#include <DHT.h>
#include <TinyGPS.h>
#include <knn.h>
#include "MQ135.h"
#include "MQ7.h"
int tam;
int result;
////////////////////////////////////
int contador;
////////////////////////////////////VARIABLES
GLOBALES////////////////////////////////////
int estado=0;
float vector[2];
SoftwareSerial ss(6, 5);
MQ7 mq7(A3, 5.0);
int UVOUT = A1;
int REF_3V3 = A2;
#define ANALOGPIN A0
#define RZERO 206.85
MQ135 gasSensor = MQ135(ANALOGPIN);
#define DHTPIN 7
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
TinyGPS gps;
```

```
char http_cmd[155];
```

```
////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```
SoftwareSerial SIM808(3, 4);
```

```
////////////////////////////////////////////////////////////////SETUP////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```
void setup() {
```

```
  pinMode(8,OUTPUT);
```

```
  digitalWrite(8,1);
```

```
  delay(3000);
```

```
  digitalWrite(8,0);
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
  ss.begin(9600);
```

```
  Serial.println("Iniciando Sistema...");
```

```
    dht.begin();
```

```
  pinMode(10,OUTPUT);
```

```
  pinMode(11,OUTPUT);
```

```
    float rzero = gasSensor.getRZero();
```

```
    pinMode(UVOUT, INPUT);
```

```
    pinMode(REF_3V3, INPUT);
```

```
}
```

```
////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```

void loop() {

    bool newData = false;
    unsigned short sentences, failed;

    for (unsigned long start = millis(); millis() - start < 20000;)
    {
        while (ss.available())
        {
            char c = ss.read();
            if (gps.encode(c))
                newData = true;
        }
    }

    if (newData)
    {
        SIM808.begin(19200);
        String trama;
        float flat, flon;
        unsigned long age;
        gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
        String latitud = String(flat, 6);
    }
}

```

```

String longitud = String(flon, 6);
float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature()-8;
String humedad = String(h, 2);
String temperatura = String(t, 2);
float ppm = gasSensor.getPPM()*1000;
String Nox = String(ppm, 2);
int uvLevel = averageAnalogRead(UVOUT);
int refLevel = averageAnalogRead(REF_3V3);
float outputVoltage = 3.3 / refLevel * uvLevel;
float uvIntensity = mapfloat(outputVoltage, 0.99, 2.9, 0.0, 15.0);
String SensorUV = String(uvIntensity, 2);
float CO = mq7.getPPM()*1000;
String SensorCO = String(CO, 2);
vector[0]=(mq7.getPPM()*1000);
vector[1]=(gasSensor.getPPM()*1000);
result=knn(20,3,3,4,vector);
Serial.println(result);

int lluvia = analogRead(A4);

if(lluvia>600){
  if(estado==0){
    estado=1;
    digitalWrite(11,1);
    digitalWrite(10,0);
    delay(500);
    digitalWrite(11,0);
  }
}

```



```

delay(1000);
SIM808.println("AT+CIFSR");
delay(1000);

if (enviarAT("AT+CREG?", "+CREG: 0,5", 2000) == 1) //Comprueba la conexión a la
red
{
    enviarAT("AT+CIPSTART=\"TCP\", \"translate.ubidots.com\", \"9012\"", "CONNECT
OK", 10000); //Inicia una conexión TCP

    String com= "AT+CIPSEND=" + String(tam);
    Serial.println(com);
    SIM808.println(com);

    delay(300);
    SIM808.println(http_cmd);
    delay(3000);
    enviarAT("AT+CIPCLOSE", "CLOSE OK", 10000); //Cerramos la conexión
    enviarAT("AT+CIPSHUT", "OK", 10000); //Cierra el contexto PDP del GPRS
    ss.begin(9600);
}
}
else{
    Serial.println("Se detectó lluvia"); ///// entrada
    digitalWrite(11,0);
    digitalWrite(10,1);
    delay(1000);
    digitalWrite(11,0);
    digitalWrite(10,0);
}

```

```
    estado=0;
    delay(1000);
    ss.begin(9600);
  }

}
} //fin loop
```

```
int averageAnalogRead(int pinToRead)
{
  byte numberOfReadings = 8;
  unsigned int runningValue = 0;

  for (int x = 0 ; x < numberOfReadings ; x++)
    runningValue += analogRead(pinToRead);
  runningValue /= numberOfReadings;

  return (runningValue);
}
```

//The Arduino Map function but for floats

//From: <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=3922.0>

```
float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
```

```
return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}
```

```
int enviarAT(String ATcommand, char* resp_correcta, unsigned int tiempo)
{
```

```
int x = 0;
```

```
bool correcto = 0;
```

```
char respuesta[100];
```

```
unsigned long anterior;
```

```
memset(respuesta, '\0', 100); // Inicializa el string
```

```
delay(100);
```

```
while ( SIM808.available() > 0) SIM808.read(); // Limpia el buffer de entrada
```

```
SIM808.println(ATcommand); // Envia el comando AT
```

```
x = 0;
```

```
anterior = millis();
```

```
// Espera una respuesta
```

```
do {
```

```
    // si hay datos el buffer de entrada del UART lee y comprueba la respuesta
```

```
    if (SIM808.available() != 0)
```

```
    {
```

```
        respuesta[x] = SIM808.read();
```

```
        x++;
```

```
        // Comprueba si la respuesta es correcta
```

```
        if (strstr(respuesta, resp_correcta) != NULL)
```

```
{
  correcto = 1;
}
}
}
// Espera hasta tener una respuesta
while ((correcto == 0) && ((millis() - anterior) < tiempo));
Serial.println(respuesta);

return correcto;
```

## Anexo 2. Base de datos de entrenamiento

	co	nox	GasesNocivos
1	3230	100	normal
3	3900	100	normal
6	3880	210	normal
7	4090	240	normal
9	3120	130	normal
10	3120	130	normal
12	3230	130	normal
13	3160	120	normal
14	3230	130	normal
15	3160	130	normal
17	3420	150	normal
18	3230	140	normal
19	3120	130	normal
22	2970	130	normal
23	3200	190	normal
25	3040	160	normal
26	3080	150	normal
27	2890	130	normal
28	2930	150	normal
29	3310	180	normal
30	3160	130	normal
33	3310	160	normal
35	3080	150	normal
36	3080	200	normal
38	2850	110	normal
39	2890	110	normal

40	2810	110	normal
41	2810	110	normal
42	2810	120	normal
43	2810	130	normal
44	2850	120	normal
45	2890	100	normal
46	2930	100	normal
47	2890	110	normal
48	3120	130	normal
49	2930	100	normal
51	2890	100	normal
52	2930	100	normal
54	2770	110	normal
55	2850	110	normal
56	2930	110	normal
57	3010	110	normal
60	3010	110	normal
61	2930	110	normal
62	3040	110	normal
63	3080	120	normal
64	3010	110	normal
66	3010	110	normal
70	3160	150	normal
72	3420	140	normal
73	3230	130	normal
74	3530	150	normal
75	3560	150	normal

279	4900	256	alerta
280	4890	258	alerta
282	3420	400	alerta
283	3310	300	alerta
284	3600	259	alerta
285	3270	350	alerta
286	3310	250	alerta
287	3670	250	alerta
288	3380	250	alerta
289	3490	260	alerta
290	3900	300	alerta
291	3450	400	alerta
292	3900	450	alerta
293	3230	250	alerta
298	3700	250	alerta
299	3450	249	alerta
302	3200	362	alerta
304	3080	259	alerta
305	3380	425	alerta
306	3700	250	alerta
307	3310	250	alerta
308	3560	269	alerta
309	3810	250	alerta
310	3340	248	alerta
311	3230	259	alerta
312	4005	250	alerta
313	3698	365	alerta

579	7000	930	emergencia
580	6999	910	emergencia
582	7002	930	emergencia
584	5500	800	emergencia
586	7521	910	emergencia
587	7325	800	emergencia
588	7000	930	emergencia
590	5500	800	emergencia
591	7528	930	emergencia
592	5897	910	emergencia
594	7000	905	emergencia
595	6999	799	emergencia
597	7000	963	emergencia
598	6999	910	emergencia
600	7000	930	emergencia
601	6999	910	emergencia
602	5024	800	emergencia
603	7000	930	emergencia
604	6999	910	emergencia
605	5500	654	emergencia
606	7000	789	emergencia
607	6999	963	emergencia
609	7000	987	emergencia
610	6999	753	emergencia
611	5500	789	emergencia
612	6025	741	emergencia