



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ADMINISTRACIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y TELEMÁTICA

PLATAFORMA DE VISUALIZACIÓN ESTADÍSTICA DE VARIABLES
ATMOSFÉRICAS MÚLTIPLES

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO DE SISTEMAS Y TELEMÁTICA

AUTOR: MARÍA ALEXANDRA CABRERA LITUMA

DIRECTOR: ING CHESTER ANDREW SELLERS WALDEN M. Sc.

CUENCA, ECUADOR

2017

Dedicatoria

Dedico mi trabajo de graduación especialmente a mi familia, por ser quienes me enseñaron a seguir adelante a pesar de las caídas.

A mi gran amiga Karlita por ser esa persona que todos necesitamos para nunca dejar de reír.

A todos los que me cuidan desde el cielo en especial a Viviana, esto va por ti.

Agradecimientos

A mis familiares y amigos que me ayudaron a ser la persona que hoy en día soy.

A mi director de tesis el Ing. Chester Sellers por la confianza, tiempo y apoyo en este proceso de formación.

A mi tribunal el Ing. Francisco Salgado y el Ing. Marcos Orellana por haberme brindado su conocimiento a lo largo de la carrera.

Así también a todo el personal del IERSE por haberme dado la oportunidad de conocerlos y poder compartir con ellos el día a día.

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Índice.....	iv
Índice de Imágenes.....	vii
Índice de Tablas	viii
Índice de Ecuaciones.....	ix
Resumen.....	x
Abstract	xi
Capítulo I: Introducción	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo general.....	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Alcance y resultados esperados	2
Capítulo II: Estado del Arte	2
Introducción.....	2
2.1 Atmósfera terrestre	2
2.1.1 Capas Atmosféricas	3
2.2 Contaminación Atmosférica.....	4
2.2.1 Fuentes Contaminantes	4
2.2.1.1 Naturales	4
2.2.1.2 Artificiales.....	5
2.2.1.2.1 Fijas	5
2.2.1.2.2 Móviles.....	5
2.2.2 Contaminantes Atmosféricos.....	5
2.2.2.1 Ozono (<i>O3</i>)	6
2.2.2.2 Dióxido de Nitrógeno (<i>NO2</i>)	6
2.2.2.3 Monóxido de carbono <i>CO</i>	6
2.2.2.4 Partículas finas (<i>PM2.5</i>).....	7
2.2.2.5 Dióxido de Azufre (<i>SO2</i>)	7
2.3 Variables meteorológicas	7

2.3.1 Presión Barométrica.....	8
2.3.2 Humedad Relativa.....	8
2.3.3 Precipitación	9
2.3.4 Radiación Solar.....	9
2.3.5 Velocidad y dirección del viento	10
2.4 Normativa Aplicada	11
2.4.1 Normativa Legal Ecuatoriana	11
2.4.2 Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)	11
2.4.2.1 Preventivo o de Prevención.....	11
2.4.2.2 Precautorio o de Precaución.....	12
2.4.2.3 Corrección en la Fuente	12
2.5 Red de monitoreo	12
2.5.1 Estación automática de monitoreo.....	14
2.6 Desarrollo del sistema	15
2.6.1 Red Privada Virtual (VPN, siglas en ingles)	15
2.6.2 Base de datos PostgreSQL.....	16
2.6.3 pgAdmin	18
2.6.4 Herramienta de desarrollo.....	18
2.6.4.1 Macromedia Dreamweaver 8	18
Conclusión.....	19
Capítulo III: Metodología	19
Introducción.....	19
Etapa I. Requerimientos del sistema	20
Etapa II. Captura, almacenamiento y sistematización de las variables atmosféricas ...	21
Etapa III. Transformación y estandarización de los datos.....	21
III.I Normativa EPA	22
III.II Normativa TULSMA	26
Etapa IV. Desarrollo del sistema.....	28
Etapa V. Pruebas de funcionamiento	30
Conclusión.....	30
Capítulo IV: Resultados	31
Conclusiones	37

Referencias38

Anexos41

 Anexo A: Mapa estación automática de monitoreo de la calidad del aire42

 Anexo B: Requerimientos específicos.....43

 Anexo C: Esquema de base de datos de servicios SOS de la implementación de 52North
.....50

 Anexo D: Pruebas de funcionalidad51

Índice de Imágenes

Ilustración 1 Capas Atmosféricas (Medina, s.f.).....	3
Ilustración 2 Espectro visible (InfoEscola Navegando e Aprendendo, 2016)	10
Ilustración 3 Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca Año 2015 (EMOV-EP, 2015)	13
Ilustración 4 Datos de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca 2015 (EMOV-EP, 2015)	13
Ilustración 5 Área de cobertura estación automática	14
Ilustración 6 Estación automática de monitoreo (EMOV-EP, 2015).....	15
Ilustración 7 Sistema PostgreSQL (PostgreSql-es, 2010).....	17
Ilustración 8 Diagrama de flujo de datos	20
Ilustración 9 Esquema transferencia de datos	21
Ilustración 10 Medidas de ICA general (United States Environmental Protection Agency, 2016).....	26
Ilustración 11 Criterios de concentraciones TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2015)	27
Ilustración 12 Criterios de nivel TULSMA	27
Ilustración 13 Sql estadísticas básicas.....	28
Ilustración 14 Función estadística básica.....	29
Ilustración 15 Cruce de variables función drawChart.....	30
Ilustración 16 índice de Calidad del Aire Cuenca.....	31
Ilustración 17 Gráfico de contaminantes atmosféricos O ₃ NO ₂ EPA	32
Ilustración 18 Datos Generales O ₃ NO ₂	32
Ilustración 19 Datos Estadísticas Básicas O ₃ NO ₂	33
Ilustración 20 Representación Estadística General O ₃ NO ₂	33
Ilustración 21 Ejemplo rango de periodo de tiempo	34
Ilustración 22 Meteorología de la ciudad de Cuenca	34
Ilustración 23 Concentraciones contaminantes TULSMA	35
Ilustración 24 Gráfico contaminantes atmosféricos SO ₂ PM _{2_5} TULSMA.....	35

Índice de Tablas

Tabla 1 Contaminantes Atmosféricos 2015 (EMOV-EP, 2015).....	5
Tabla 2 Variables meteorológicas 2015 (EMOV-EP, 2015)	8
Tabla 3 Cobertura de la estación automática	14
Tabla 4 Metodología Etapas.....	19
Tabla 5 Unidades de Medida.....	22
Tabla 6 Peso Molar	22
Tabla 7 ppb a ug/m3.....	23
Tabla 8 Clasificación de contaminantes aplicando EPA (Sellers, 2013)	24

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Transformación (ug/m ³) a ppm.....	22
Ecuación 2 Cálculo general ICA (Mintz, 2006).....	23

Resumen

La contaminación del aire afecta a la salud de los seres humanos por lo que se necesita una herramienta de gestión ambiental para tomar decisiones en beneficio de la comunidad.

Este proyecto presenta, una plataforma web para el análisis estadístico de variables atmosféricas registrados en la estación de monitoreo automático de la EMOV EP, mediante la generación del Índice de Calidad del Aire (ICA), tablas y gráficas estadísticas de este comportamiento los mismos que se basan en la normativa del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA) y de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA).

ABSTRACT

Air pollution affects the health of human beings; therefore, an environmental management tool is needed to make decisions for the benefit of the community. This project presents a web platform for the statistical analysis of atmospheric variables recorded in the automatic monitoring station of EMOV EP. This is carried out by generating the Air Quality Index (AQI), tables and statistical graphs of this behavior, which are based on the Unified Text of Secondary Legislation of the Ministry of Environment (TULSMA, as per its Spanish acronym), and the United States Environmental Protection Agency (EPA) regulations.


UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas


Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Capítulo I: Introducción

El aumento vehicular en el centro de la ciudad de Cuenca genera emisiones de gases, lo cual produce problemas en la calidad de vida de los ciudadanos, afectando a su salud, por lo que es necesario dar a conocer la situación en la que viven.

La empresa pública municipal de movilidad, tránsito y transporte de Cuenca (EMOV-EP) por medio de su Red de Monitoreo trabaja en la medición de las variables atmosféricas con el fin de establecer los principales focos de contaminación, los datos obtenidos deben ser presentados de forma apropiada y de fácil comprensión, por el propósito de establecer políticas públicas para salvaguardar la salud y bienestar de los cuencanos. Por tal razón la EMOV-EP conjuntamente con la Universidad del Azuay, a través del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador– IERSE trabaja en el proyecto encargado de proporcionar a los ciudadanos información del estado de la contaminación atmosférica que se encuentra la ciudad.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Implementar una plataforma web que permita publicar y actualizar diariamente el visor de administración de variables atmosféricas del área urbana del cantón Cuenca.

1.1.2 Objetivos específicos

- Sistematizar la información recogida por la estación de monitoreo en tiempo real a cargo de la EMOV-EP.
- Transformar los datos adquiridos por la estación de monitoreo en tiempo real, para la generación de índices.
- Recopilar y presentar las variables meteorológicas capturadas por la estación.
- Implementar un visor estadístico de las variables atmosféricas sistematizadas en un servidor local.

1.2 Justificación

El proyecto nace con el propósito de que los ciudadanos de Cuenca, expertos y autoridades conozcan la calidad ambiental en la que se encuentran, por lo que se ve la necesidad de

implementar una plataforma digital donde se informe en tiempo real el estado del ambiente presentando la información de forma sencilla, ágil y didáctica.

De esta manera el convenio entre la EMOV-EP y la Universidad del Azuay para la creación de la plataforma de visualización estadística de variables atmosféricas múltiples, para que la ciudadanía pueda estar informada y tome medidas de prevención.

1.3 Alcance y resultados esperados

Establecer el medio de comunicación para el suministro automático de la información generada por la estación de monitoreo continuo de variables atmosféricas.

Generar los procedimientos y técnicas para la parametrización y transformación las unidades de medida de la información capturadas de la estación, información que en este punto se encuentra preparadas para su procesamiento. Se elaborará las rutinas y métodos para la generación de índices y su correspondencia a los rangos de peligro establecidos por la EPA y el TULSMA.

Se elaborará y publicará la plataforma de visualización estadísticas de variables atmosféricas en la IDE (Infraestructura de Datos Espaciales) de la Universidad del Azuay, cumpliendo con los estándares internacionales.

Capítulo II: Estado del Arte

Introducción

En este capítulo se describirá el concepto de atmósfera terrestre, contaminación atmosférica y fuentes contaminantes. Se explicarán los conceptos y la influencia en la salud de los contaminantes atmosféricos, además de explicar las variables meteorológicas a monitorear. Posteriormente se brinda una breve explicación de la normativa legal para el control ambiental. Se detallará y analizará la estación automática de monitoreo que cuenta la EMOV-EP. Finalmente se detallará las herramientas que se utilizarán para el desarrollo de la plataforma.

2.1 Atmósfera terrestre

La atmósfera terrestre es la capa externa que circunda el planeta, formada por varios gases en cantidades variables dependiendo de la altura la que se encuentren, a esta combinación

de gases se le conoce como aire. Los elementos más comunes de la atmósfera terrestre son nitrógeno (N), oxígeno (O), argón (Ar), dióxido de carbono (CO_2), neón (Ne), helio (He) y otros (Figueruelo & Dávila, 2004).

2.1.1 Capas Atmosféricas



Ilustración 1 Capas Atmosféricas (Medina, s.f.)

La capa atmosférica está formada por cinco subcapas: La tropósfera que se encuentra en contacto con la superficie terrestre tiene de un espesor de hasta 10km, a medida que la altura aumenta disminuye la temperatura. (Casas & Alarcón, 1999). En esta capa de la atmósfera se realiza el estudio de caso.

La estratósfera se encuentra desde los 10km hasta los 50km con un espesor de 40km, la temperatura aumenta en forma directa a la altura debido a la impregnación de la radiación ultravioleta (UV) (Casas & Alarcón, 1999).

La mesósfera es una franja de color azul que se encuentra desde los 50km hasta 80km con un espesor de 30km y una temperatura entre $0^{\circ}C$ y $-80^{\circ}C$ siendo la zona más fría de la atmósfera terrestre (Casas & Alarcón, 1999).

La termosfera tiene una altura que va desde los 80km hasta los 500km, en las alturas superiores a 150km las partículas son ínfimas (Casas & Alarcón, 1999).

La exósfera es la capa donde la altura es superior a 500km y es relativamente infinita, se le considera como un espacio ultraterrestre donde apenas se encuentran moléculas de materia (Casas & Alarcón, 1999)

2.2 Contaminación Atmosférica

La contaminación atmosférica es causada por las alteraciones que sufre el aire debido a la recolección de sustancias que producen daños temporales o permanentes en los seres vivos y en el ambiente per sé. Los principales mecanismos que provocan mayor contaminación al entorno tenemos a las industrias y los automotores que generan óxido de nitrógeno (NO_x), azufre (S) y Dióxido de carbono (CO_2), además las industrias emiten gases en sus procesos de producción como los desechos de la combustión de hidrocarburos (United States Environmental Protection Agency, 2016).

El aire es un elemento vital para la vida, el momento en que sucede alguna alteración tiene una mayor consecuencia en los seres humanos y el planeta. Un aire contaminado incide negativamente en la salud de las personas y su entorno; los cambios que se originan en la composición química de la atmósfera cambian el clima y destruyen el ozono (O_3); estos fenómenos de gran importancia, incluyendo las actividades diarias, originan contaminación (Querol, 2008). La afectación por la contaminación del aire tiene un valor que incide en la parte psicológica y muchas veces económica en la sociedad, que se puede percibir en el diario vivir de los ciudadanos de Cuenca (EMOV EP, 2014).

2.2.1 Fuentes Contaminantes

Los contaminantes atmosféricos presentes en el ambiente proveniente de dos fuentes naturales y artificiales debidas a las actividades humanas.

2.2.1.1 Naturales

La vegetación (bosques, pastizales, cultivos, arbustos y otros) genera una gran cantidad de material de combustión y contaminantes a la atmósfera, en los suelos se emite óxido nitroso (N_2O) debido a su proceso de desnitrificación (Instituto Nacional de ecología y cambio climático, 2014).

La erosión eólica que genera emisiones asociadas con los suelos perturbados (Instituto Nacional de ecología y cambio climático, 2014)

Otras fuentes naturales de contaminación son las erupción volcánicas, tempestades de polvo, los incendios forestales provocados de forma natural y otros (Puigcerver & Carrascal, 2008).

2.2.1.2 Artificiales

Conocidas también como antropogénicas las cuales son producidas por actividad humana, teniendo tanto de fuentes fijas y móviles.

2.2.1.2.1 Fijas

Incluyen varias fuentes que generan contaminación como las plantas industriales, refinerías de petróleo, químicas, textiles, aceites, etcétera; las cuales producen emisiones de contaminantes peligrosos para la salud entre estas están el dióxido de azufre (SO_2), los materiales particulados (PM) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs) (Organización Mundial de la Salud, 2016).

2.2.1.2.2 Móviles

Incluyen las distintas maneras de transporte como automotores, motocicletas, aviones, barcos, etcétera; pero la principal fuente contaminante son los vehículos de los que procede la mayor cantidad de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COVs). Debido a estas emisiones y para controlarlas se han emitido normas que detallan los límites máximos de emisiones que deben producir un vehículo (Instituto Nacional de ecología y cambio climático, 2014) .

2.2.2 Contaminantes Atmosféricos

A continuación se presenta la descripción de los contaminantes atmosféricos con los respectivos sensores empleados para la captura de datos en este proyecto.

Contaminantes Atmosféricos	
Parámetro	Sensor
Ozono	Teledyne. M400E
Dióxido de nitrógeno	Teledyne. M200E
Monóxido de carbono	Teledyne. M300E
Partículas finas	Met One BAM-1020
Dióxido de azufre	Teledyne. M100E

Tabla 1 Contaminantes Atmosféricos 2015 (EMOV-EP, 2015)

2.2.2.1 Ozono (O_3)

Es un gas muy reactivo, incoloro, olor fuerte, compuesto por 3 átomos de oxígeno formado al exponerse a la radiación solar. Este contaminante se localiza en dos regiones de la atmósfera terrestre en la estratósfera y tropósfera (Zuk, Tzintzum, & Rojas, 2007).

El ozono a nivel de estratósfera es el encargado de proteger la capa atmosférica de los daños que produce la radiación solar, pero se ve afectado por la presencia de los contaminantes compuestos clorofluorocarbonados (CFCs) que provocan que se destruya la capa atmosférica (Zuk, Tzintzum, & Rojas, 2007).

El ozono a nivel troposférico está compuesto por óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (VOCs) que generan una neblina en las zonas contaminadas conocida como smog (Zuk, Tzintzum, & Rojas, 2007).

Cuando la concentración de ozono es mayor a 180 g/m^3 es perjudicial a la salud porque provoca tos, náuseas, dolor de cabeza, dificultades al respirar. Este se manifiesta en la época de calor (Zuk, Tzintzum, & Rojas, 2007).

2.2.2.2 Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

Es un gas de color café compuesto por la presencia del óxido de nitrógeno que se forma en los cilindros de los motores emitido en su mayoría por los vehículos, industrias y plantas de energía (Zuk, Tzintzum, & Rojas, 2007). El NO_2 también se forma de manera natural por la actividad volcánica y las descargas eléctricas atmosféricas. (Sellers, 2013)

La presencia de dióxido de nitrógeno afecta al sistema respiratorio principalmente en los niños y las personas asmáticas. La exposición a corto plazo en niveles altos provoca deterioros en las células pulmonares mientras que a largo plazo en niveles bajos causa daños al tejido pulmonar (Sellers, 2013).

2.2.2.3 Monóxido de carbono (CO)

Es un gas incoloro e inodoro donde el 96% es de origen antropogénico compuesto por la combustión incompleta de petróleo, gas, gasolina y tabaco. Un 70% se debe a las emisiones en los vehículos y el humo del tabaco. Este afecta a los pulmones, corazón y cerebro debido a la reducción de oxígeno en la sangre (Puigcerver & Carrascal, 2008).

2.2.2.4 Partículas finas ($PM_{2.5}$)

También conocidas como partículas respirables, se forman por las emisiones de una fuente antropogénica como los vehículos y aparatos eléctricos domésticos y de forma natural cuando ocurren incendios o erupciones volcánicas. Asociadas con enfermedades respiratorias como asma, disfunciones pulmonares y cardiovasculares (Zuk, Tzintzum, & Rojas, 2007).

2.2.2.5 Dióxido de Azufre (SO_2)

Gas incoloro, no inflamable, su olor se percibe entre 0.3ppm-1.4ppm, relativamente estable y se presenta natural por la actividad volcánica y artificial en los procesos de combustión del petróleo, quema del carbón e industrias metalúrgicas (The International Volcanic Health Hazard Network, 2005).

El SO_2 en concentraciones altas origina problemas para respirar, irritación crónica en las vías respiratorias debilitando las defensas, provocando bronquitis y bronco espasmos afectando problemas respiratorios y cardiovasculares presente en la mayoría de casos en niños y personas adultas (Sellers, 2013).

En la ciudad de Cuenca en el año 2014 se han registrado bajas en el contaminante de dióxido de azufre SO_2 debido al mínimo contenido de azufre tanto en la gasolina y diésel utilizados en los vehículos de la ciudad; pero la presencia de SO_2 involucra al uso de oxígeno en los procesos de combustión, aumentando la emisión de otros contaminantes (EMOV EP, 2014).

2.3 Variables meteorológicas

Son los fenómenos producidos a corto plazo en las capas bajas de la atmósfera, donde desenvuelven las actividades antrópicas y naturales de los seres vivos. Mediante estas variables se estudia los cambios atmosféricos producidos en un instante dado utilizando parámetros como presión barométrica, precipitación, temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento (Sierra, 2006).

Las variables meteorológicas a estudiar en este trabajo con sus respectivos sensores de medición se detallan a continuación.

Meteorología	
Parámetro	Sensor
Presión barométrica	K17474
Humedad relativa	HMP155
Precipitación	Young 52203
Radiación solar	CMP3
Velocidad y dirección del viento	WMS302

Tabla 2 Variables meteorológicas 2015 (EMOV-EP, 2015)

2.3.1 Presión Barométrica

Se entiende a la presión barométrica como el peso del aire, ejerciendo una fuerza sobre un cuerpo debido a la gravedad. También se le conoce como unidad de medida por superficie medida en Pascal (1 Pascal= 1 *Newton/metro*²) (Rodríguez, Capa, & Portela, 2004).

La presión atmosférica depende principalmente de la altitud, mientras más arriba de la atmósfera nos encontremos menor será la presión por ende a nivel del mar habrá mayor presión, representando un decrecimiento exponencial. Además depende de otras variables como la situación geográfica, humedad, temperatura y condiciones meteorológicas (Rodríguez, Capa, & Portela, 2004).

La combinación de una alta presión atmosférica, baja temperatura y alta humedad puede llevar a problemas en el sistema circulatorio provocando problemas a la salud como por ejemplo una hemorragia intracerebral. (Diez, 2006)

2.3.2 Humedad Relativa

Está representada por la cantidad de vapor de agua que contiene al aire; esa cantidad no es fija ya que se debe a distintos factores como: el nivel del mar, la precipitación, cobertura vegetal, etcétera (Rodríguez, Capa, & Portela, 2004).

Existen varias formas de expresar la humedad del aire, este estudio se analiza la humedad relativa, esta se expresa en porcentaje en función del grado de saturación la cual nos indica qué tan cerca está un cuerpo de aire en lograr su saturación, si está en un 100% está plenamente saturado de humedad, encima del 60% se puede decir que un aire es húmedo y debajo del 40% se considera seco (Diez, 2006).

Si la humedad relativa se encuentra bajo del 20% puede causar problemas en la salud ya que la deshidratación de las membranas del tracto respiratorio origina infecciones bacterianas, se ha probado que el confort mental de una persona es influido por la humedad relativa; en zonas cálidas a mayor grado de humedad relativa menor confort mental (Rodríguez, Capa, & Portela, 2004).

2.3.3 Precipitación

Una nube está compuesta por millones de gotas de agua y cristales de hielo, originarios del cambio de estado de vapor del agua en una masa de aire, que al tener contacto con la atmósfera fría produce la saturación. La cantidad e intensidad de precipitación depende del contenido y velocidad de la humedad en el aire; es medido en milímetros por metro cuadrado (Maderey & Jiménez, 2005).

La precipitación que llega a la superficie terrestre se da distintas formas como lluvia, nieve, granizo y neblina (Sierra, 2006). Una gran cantidad de precipitación conjunto con bajas temperaturas y fuertes vientos puede afectar a la salud provocando problemas cerebrovasculares, ataques cardiacos, estrés físico y mental (Diez, 2006) .

2.3.4 Radiación Solar

La radiación solar se comprende como la energía trasladada del Sol a la atmósfera terrestre, la cual viaja por el espacio en forma de ondas llevando una cantidad de energía. Según la forma de la onda se clasifican en el espectro electromagnético (Rodríguez, Capa, & Portela, 2004).

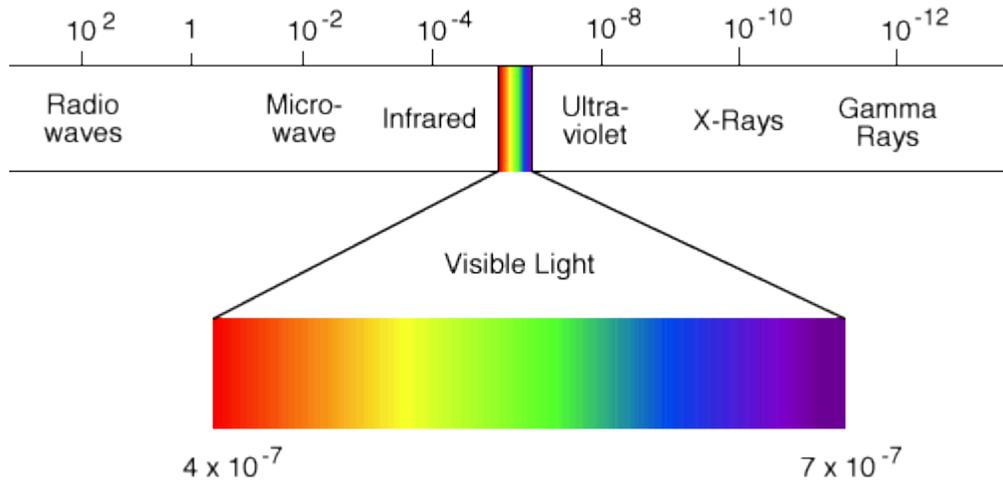


Ilustración 2 Espectro visible (InfoEscola Navegando e Aprendendo, 2016)

La gama de radiaciones visibles para los humanos está comprendida desde 0.38 y 0.78 micrómetros ($1 \text{ micrómetro} = 1 * 10^{-6} \text{ m}$), es decir las longitudes de onda menor y mayor corresponden a los colores violeta y rojo se le conoce como espectro visible, pero el ojo humano lo percibe como una luz blanca del Sol. La longitud de onda mayor que el rojo corresponde con el espectro de los infrarrojos, microondas, las ondas de radio y si es menor que el espectro del violeta es la ultra violeta, los rayos X y rayos gamma (Martínez, 2010).

La exposición a la radiación solar en exceso provoca problemas a la piel como quemaduras, arrugas, cáncer de piel, entre otros. Las quemaduras se producen debido a la exposición de rayos ultravioletas provocando que la piel se vuelva roja, inflamada, ampollas, conjuntamente con descamaciones, esto se presenta normalmente después de 24 horas de exposición. Las arrugas se provocan por la muerte de las células de la piel debido a la falta de humectación derivada de la exposición a los rayos ultravioletas (Cecofar, 2014).

2.3.5 Velocidad y dirección del viento

El viento se debe al movimiento del aire de un lugar a otro provocado entre dos puntos debido a la diferencia de presión o temperatura. Por presión cuando el aire se desplaza desde la zona de presión alta hacia la baja y por temperatura cuando un cuerpo de aire

tiene una temperatura superior a la del entorno se produce lo que se conoce como viento. (Rodríguez, Capa, & Portela, 2004)

Sus características son la dirección y velocidad; la dirección varía en base a la distribución y a los centros de presión, la cual se desplaza desde una presión alta hacia una presión baja. Si la velocidad llega a 1 m/s no se siente por las personas, si se encuentra entre 1 y 4 m/s se siente ligeramente, pero si es superior a los 8 m/s se siente con fuerza (Diez, 2006) . Cuando se asocia el viento fuerte con una temperatura baja provoca dolores en las articulaciones en las personas reumáticas, baja autoestima produciendo depresión y trastornos emocionales (Gutiérrez, 2007).

2.4 Normativa Aplicada

2.4.1 Normativa Legal Ecuatoriana

En la ley de prevención y control de la contaminación ambiental del Ecuador, registro oficial suplemento N°418 en el Artículo 1 expresa “Queda prohibido expeler hacia la atmósfera o descargar en ella, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, contaminantes que, a juicio de los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencias, puedan perjudicar la salud y vida humana, flora, la fauna y los recursos o bienes del estado o de particulares o constituir una molestia” (Sistema Integrado de Lesgilación Ecuatoriana, 2004).

2.4.2 Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)

En la reforma del libro VI del TULSMA de la calidad del aire emitido por el Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE el 4 de mayo del 2015 establece los siguientes principios que serán de apoyo para el caso de estudio.

2.4.2.1 Preventivo o de Prevención

“Es la obligación que tiene el Estado, a través de sus instituciones y órganos y de acuerdo a las potestades públicas asignadas por ley, de adoptar las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño.” (Ministerio del Ambiente, 2015)

2.4.2.2 Precautorio o de Precaución.

“Es la obligación que tiene el Estado, a través de sus instituciones y órganos y de acuerdo a las potestades públicas asignadas por ley, de adoptar medidas protectoras eficaces y oportunas cuando haya peligro de daño grave o irreversible al ambiente, aunque haya duda sobre el impacto ambiental de alguna acción, u omisión o no exista evidencia científica del daño.

El principio de precaución se aplica cuando es necesario tomar una decisión u optar entre alternativas en una situación en que la información técnica y científica es insuficiente o existe un nivel significativo de duda en las conclusiones del análisis técnico-científico. En tales casos el principio de precaución requiere que se tome la decisión que tiene el mínimo riesgo de causar, directa o indirectamente, daño al ecosistema.” (Ministerio del Ambiente, 2015)

2.4.2.3 Corrección en la Fuente

“Es la obligación de los Sujetos de Control de adoptar todas las medidas pertinentes para evitar, minimizar, mitigar y corregir los impactos ambientales desde el origen del proceso productivo. Este principio se aplicará en los proyectos y en adición a planes de manejo o de cualquier naturaleza previstos en este Libro.” (Ministerio del Ambiente, 2015)

2.4.3 Normativa de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)

La EPA es la agencia responsable de identificar, evaluar, controlar la normativa de legislación ambiental en los Estados Unidos de Norte América (United States Environmental Protection Agency, 2016).

Esta agencia proporciona un marco de referencia estableciendo normativas consultivas y referenciales para otros países y para nuestro caso de estudio se observaran las normas de monitoreo y publicación de las variables atmosféricas que se registran en la ciudad de Cuenca, principalmente la presentación automatizada del ICA (Sellers, 2013).

2.5 Red de monitoreo

La ciudad de Cuenca cuenta con la red de monitoreo de la calidad del aire administrada por la EMOV-EP, la cual tiene en la actualidad 20 puntos de monitoreo ubicados en

distintos zonas de la ciudad que utiliza los estándares establecidos por la EPA (EMOV-EP, 2015).

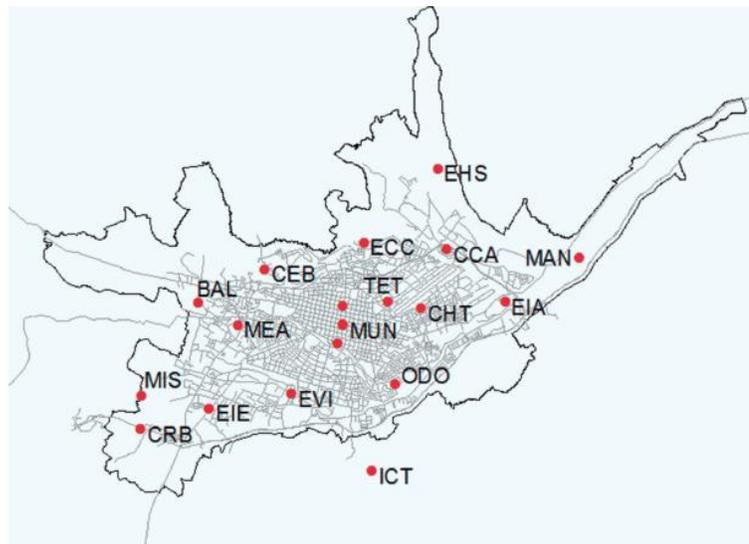


Ilustración 3 Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca Año 2015 (EMOV-EP, 2015)

Código	Nombre	Ubicación	Contaminantes	Escala
MAN	Machángara	Jardines del Río y Calle Londres	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
EIA	Escuela Ignacio Andrade	Reino de Quito y Av. González Suárez	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
EHS	Escuela Héctor Sempértgui	Camino a Ochoa León	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
CHT	Colegio Herlinda Toral	Altar Urco y Av. Paseo de los Cañaris	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
TET	Terminal Terrestre	Avenidas Madrid y España	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
ECC	Escuela Carlos Crespi II	Calle De la Bandolía y Calle Del Arpa	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
ODO	Facultad de Odontología - Universidad de Cuenca.	Av. Pasaje de Paraíso y Av. 10 de Agosto	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
EVI	Escuela Velasco Ibarra	Av. Felipe II y Av. Isabel Católica	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
BAL	Balzay CEA – Universidad de Cuenca.	Av. Ordóñez Laso y Av. Cerezos	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
VEG	Vega Muñoz	Vega Muñoz y Luis Cordero	NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Microescala
CCA	Colegio Carlos Arizaga Vega	Calle J. Lavalle y Calle A. Ricaurte	O ₃ ,NO ₂ ,SO ₂ ,PS,MP ₁₀ , BTEX	Vecinal
MUN	Municipio	Calle Simón Bolívar y Calle Presidente Borrero	O ₃ ,NO ₂ ,SO ₂ ,CO,MP _{2.5} , MP ₁₀ , PS, BTEX	Urbana, vecinal
EIE	Escuela Ignacio Escandón	Avenida Loja y Calle Ignacio de Rocha	O ₃ ,NO ₂ ,SO ₂ ,PS,MP ₁₀ , BTEX	Urbana, vecinal
BCB	Estación de bomberos	Calle Presidente Córdova y Luis Cordero	NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Microescala
LAR	Calle Larga	Calle Larga y Borrero	NO ₂ , SO ₂ , BTEX	Microescala
ICT	Antenas de Ictocruz	Camino a Ictocruz	O ₃	Regional
CEB	Cebollar	Calle del Cebollar	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal
MIS	Misicata	Calle Carmela Malo	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , PS, BTEX	Vecinal

Ilustración 4 Datos de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cuenca 2015 (EMOV-EP, 2015)

2.5.1 Estación automática de monitoreo

La EMOV-EP cuenta con una estación automática de monitoreo en tiempo real de variables atmosféricas, se encuentra localizada en la parte superior de la alcaldía de Cuenca ubicada en la Bolívar 7-67 y Borrero, con coordenadas UTM 721950.47 (mE) y 9679567.02 (mS), zona 17M, Datum WGS84 (Ilustración 5 y Anexo A), esta estación automática tiene un rango de cobertura de aproximadamente 4km, conteniendo la mayor parte de Cuenca limitando con las parroquias: Sinincay, Turi, Tororacochoa y San Joaquín (Tabla 3).

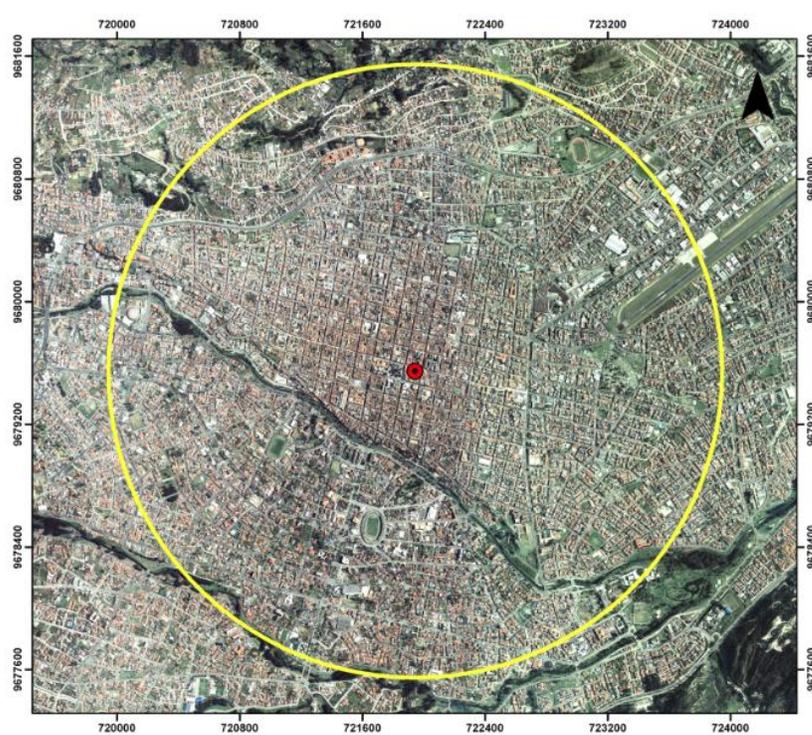


Ilustración 5 Área de cobertura estación automática

Cobertura de la estación automática	
Punto Cardinal	Parroquia
Norte	Sinincay
Sur	Turi
Este	Tororacochoa
Oeste	San Joaquín

Tabla 3 Cobertura de la estación automática

Los sensores instalados capturan las variables atmosféricas y de contaminantes registrados cada segundo y los transmite al servidor local de la EMOV-EP (Ilustración 6) cada minuto, con los datos obtenidos se calcula sus concentraciones en los periodos establecidos por la Normativa de Calidad del Aire Ambiente (NCAA).



Ilustración 6 Estación automática de monitoreo (EMOV-EP, 2015)

2.6 Desarrollo del sistema

Para desarrollar el sistema, el primer paso es establecer un canal de comunicación entre el servidor de la EMOV-EP y servidor local de la UDA a través de un canal virtual (VPN) para capturar los datos, estos se normalizarán y se almacenan en la base de datos PostgreSQL. Posteriormente se consultarán, analizarán los registros, estadísticas, comportamiento de las variables atmosféricas para obtener el índice de la calidad del aire a través de plataforma web utilizando la herramienta de desarrollo Macromedia Dreamweaver 8.

2.6.1 Red Privada Virtual (VPN, siglas en ingles)

Una VPN es una red que se extiende por distintos puntos remotos mediante una infraestructura de red pública (Internet). Asegura a los datos encapsulando utilizando técnicas de cifrado formando un paquete con los datos, los paquetes se envían a su destinatario a través de un túnel virtual establecido entre la fuente y el destinatario (Huguet, Soldevila, & Galindo, 2008).

Los usuarios utilizando la herramienta trabajan como si se encontrara dentro del mismo equipo, si el usuario es remoto puede acceder a la sub red corporativa, previamente asignando a su equipo las direcciones y privilegios necesarios para la comunicación (Huguet, Soldevila, & Galindo, 2008).

Las redes privadas virtuales tienen mayor seguridad mediante protocolos como la *Internet Protocol Security* (IPsec) o túneles VNP de *Secure Sockets Layer* (SSL), permiten encriptar la información, automatiza y monitorea la red evitando posibles ataques (Chiu, Gastelú, Serna, & Padilla, 2014).

La aplicación VNP de red a red se envía con el uso de internet; elimina las conexiones de líneas dedicadas reduciendo los costos de comunicación y administrativos. Además tiene las ventajas de ser escalable, permitiendo a la organización crecer, simplifica la topología de la red, enviando paquetes simultáneos (Chiu, Gastelú, Serna, & Padilla, 2014).

2.6.2 Base de datos PostgreSQL

Es un sistema de código abierto distribuido bajo la licencia de *Berkeley Software Distribution* (BSD) encargado en la gestión de base de datos utilizando el modelo cliente-servidor, usa multiprocesos para garantizar la estabilidad del sistema permitiendo al acceso a multiusuarios (PostgreSql-es, 2010).

El sistema PostgreSQL dispone de componentes cliente y servidor, la ilustración 7 nos permite una visualización de cómo interactúan.

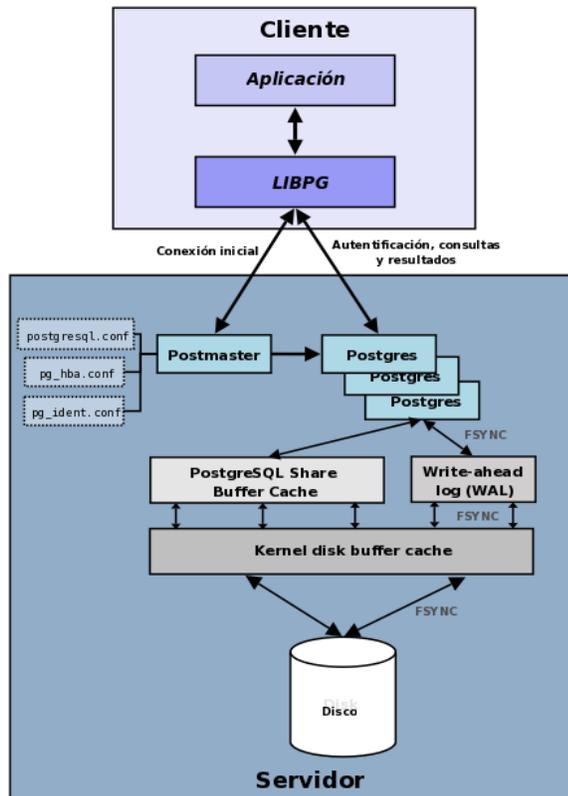


Ilustración 7 Sistema PostgreSQL (PostgreSQL-es, 2010)

Los componentes Cliente:

1. Aplicación cliente: El cliente administra la base de datos utilizando la conexión *Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)*.
2. LIBPG: Un conjunto de funciones que permite al programador generar consultas al servidor PostgreSQL.

Los componentes Servidor:

1. Postmaster: Escucha la petición cliente y realiza los procesos de autenticar, gestionar y mostrar los resultados.
2. Ficheros de configuración: El funcionamiento del sistema es controlado por los ficheros de configuración `postgresql.conf`, `pg_hba.conf` y `pg_ident.conf` situados en el directorio del cluster PostgreSQL.

2.1 postgresql.conf: Contiene la configuración de la base de datos como: el número máximo de clientes conectados a la vez, el tamaño del buffer de memoria, la capacidad de la memoria para lectura de datos.

2.2 pg_hba.conf: Define donde, como y desde que lugar el usuario accede al cluster PostgreSQL.

2.3 pg_ident.conf: Establece la información para acceder al pg_hba.conf.

3. Procesos hijos postgres: Son los encargados de la autenticación de los clientes, gestionar las consultas y enviar los resultados a la aplicación cliente.
4. PostgreSQL share buffer cache: Es la memoria de PostgreSQL que almacena los datos en su cache.
5. Write-Ahead Log (WAL): Asegura la integridad de los datos
6. Kernel disk buffer cache: Cache del Sistema operativo
7. Disco: Dispositivo de almacenamiento de información.

2.6.3 pgAdmin

Es un sistema escrito en el lenguaje de programación C ++ encargado del diseño y gestión de la base de datos *PostgreSQL* compatible para los sistemas operativos de Windows y Linux. Es de uso libre bajo los términos de *PostgreSQL License* (pgAdmin PostgreSQL Tools, 2015).

Cuenta con una biblioteca de funciones que se instalan al servidor ofreciendo las siguientes características: el *Status dialogue* nos muestra los registros de los archivos que están en el servidor, se puede configurar el servidor de forma remota, dispone de la asignación de los permisos apropiados para cada usuario de la plataforma (pgAdmin PostgreSQL Tools, 2015).

2.6.4 Herramienta de desarrollo

2.6.4.1 Macromedia Dreamweaver 8

Es una herramienta de diseño y desarrollo de sitio, cuenta con tres ambientes: de diseño, edición de código y uno combinado de los dos ambientes anteriores permitiendo al

programador trabajar de forma más cómoda. Además ayuda la gestión y mantenimiento del sitio proporcionando normas y estándares de codificación. (Page, 2006)

La principal ventaja es que nos permite personalizar el sitio permitiendo crear tablas, capas, macros, hipervínculos, funciones, estilos a los objetos, soportando programación JavaScript, Php, Asp, etcétera. Además permite conexión a bases de datos y cliente FTP. Dreamweaver permite a los usuarios visualizar los sitios web con el navegador que tenga instalado (Ruvalcaba, 2005).

Conclusión

Este capítulo presento un preámbulo para poder conocer y entender los contaminantes atmosféricos y las variables meteorológicas que se monitorean actualmente en la ciudad de Cuenca y las herramientas que se emplea para la comunicación y desarrollo de la plataforma web, esto permite a los expertos informarse de manera cómoda e inmediata.

Capítulo III: Metodología

Introducción

En este capítulo se describirá los requerimientos del sistema, así también se detallará el proceso de captura y almacenamiento de las variables atmosféricas registradas por la estación automática de monitoreo. Además, se describirá los procesos utilizados para la sistematización de la información y la presentación del ICA empleando las normas establecidas por EPA y TULSMA. Finalmente se realizará pruebas de funcionamiento de la plataforma web.

La metodología de este trabajo se compone de las siguientes etapas:

Metodología	
Etapas	Descripción
I	Requerimientos del sistema
II	Captura, almacenamiento y sistematización de las variables atmosféricas
III	Transformación y estandarización de los datos
IV	Desarrollo del sistema
V	Pruebas de funcionamiento

Tabla 4 Metodología Etapas

Etapa I. Requerimientos del sistema

El objetivo de esta etapa es detallar los requerimientos necesarios para el desarrollo del proyecto. Los requerimientos específicos son agrupados en el diagrama de caso de uso observado en la Ilustración 8, en el cual representa de manera global la interacción del usuario y el ambiente del sistema.

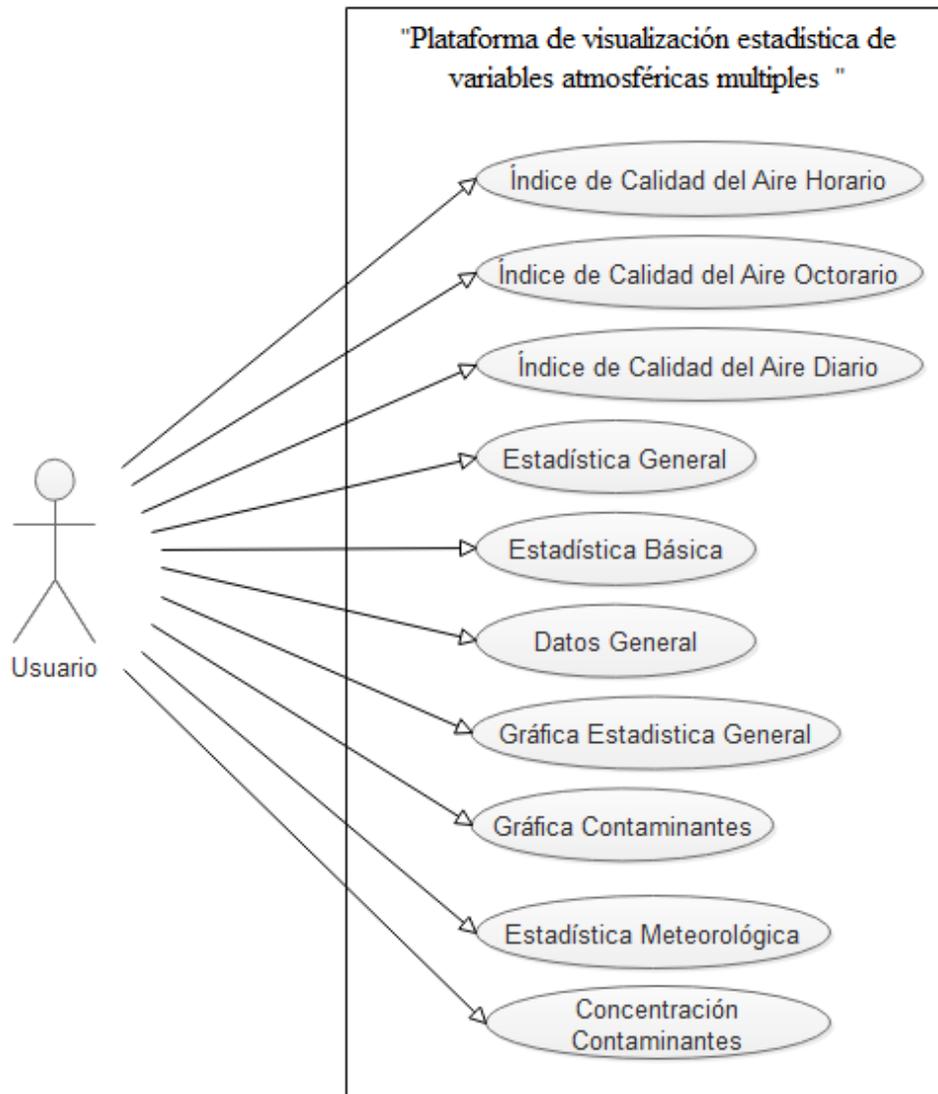


Ilustración 8 Diagrama de caso de uso

La descripción de los requerimientos funcionales y no funcionales, están disponibles en el Anexo B.

Etapa II. Captura, almacenamiento y sistematización de las variables atmosféricas

En esta etapa se detalla la manera de adquisición de los datos, desde la estación automática de monitoreo en tiempo real de las variables atmosféricas.

La captura de los datos se realiza cada segundo a través del *datalogger*, el cual es almacenado en la base de datos *mySql* de la EMOV-EP, por seguridad a la infraestructura de los registros de esta, la cual crea una base de datos espejo sincronizando la información cada 20 minutos a través de tareas programadas.

Para la comunicación se estableció un canal por medio de una VPN *Check Point Endpoint Security* y el aplicativo *MySql2Postgres* desarrollado en Visual Basic .Net el cual transfiere los datos del *mySql* espejo de la EMOV-EP a la *geodatabase* PostGIS del servidor de la UDA cada 1 minuto.

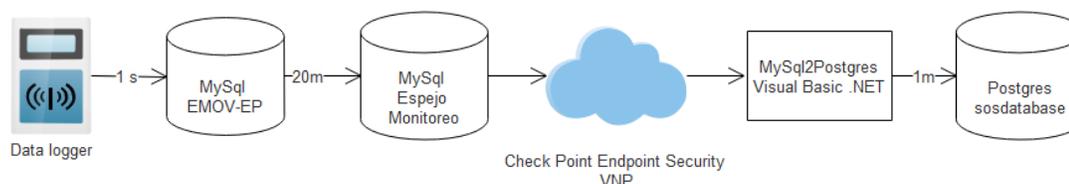


Ilustración 9 Esquema transferencia de datos

La base de datos *sosdatabase* fue diseñado por el proyecto *52 North* junto con el aplicativo desarrollado en java para implementar el servicio *Sensor Observation Service* (SOS) establecido por *Open Geospatial Consortium* OGC, (Anexo C) facilitando la descripción de los sensores y observaciones de los contaminantes (Sellers, 2013).

Debido a disposición de la EMOV-EP los datos de variables meteorológicas estarán disponibles a partir de mediados del año 2017, para ello se procedió en realizar un registro manual para la etapa de prueba.

Etapa III. Transformación y estandarización de los datos

Los datos de las variables atmosféricas capturadas de la estación de monitoreo automática de la EMOV-EP pasan por un filtro eliminando registros erróneos pertenecientes a calibración de los sensores o fallas eléctricas. Además los valores son corregidos de

acuerdo a las condiciones locales, tomando en cuenta la temperatura y la presión barométrica del lugar donde se tomó el dato. Los registros se encuentran en las unidades de medida que se observan en la Tabla 5, en el desarrollo del proyecto se transforman los datos para la generación del ICA utilizando la normativa EPA y TULSMA.

Unidades de Medida	
Variable Atmosférica	Descripción
CO	mg/m ³
O ₃	ug/m ³
NO ₂	ug/m ³
PM _{2.5}	ug/m ³
SO ₂	ug/m ³

Tabla 5 Unidades de Medida

III.I Normativa EPA

En la normativa EPA se homogenizan los datos en la unidad de medida de partes por millón (ppm), excepto para el material particulado de 2.5um que se conservará en (ug/m3). Para la transformación de los datos se utilizará la (Ecuación 1), donde el peso molar (pm) depende de cada contaminante (Tabla 6). Además se redondea los valores a tres decimales.

$$ppm = \frac{ug/m^3}{pm * \frac{1000}{24,5}}$$

$$ug/m^3 = \text{Concentración registrada}$$

$$pm = \text{peso molar del contaminante}$$

$$24,5 = \text{volumen del molar del gas con una presión de 1 atmosférica y 25 °C}$$

Ecuación 1 Transformación (ug/m3) a ppm

Peso Molar	
Variable Atmosférica	Gramos/molécula
CO	28.01 g/mol
O ₃	48 g/mol
NO ₂	46.01 g/mol
SO ₂	64.06 g/mol

Tabla 6 Peso Molar

Se muestra un ejemplo con los datos capturados aplicando la Ecuación 1. El contaminante SO₂ el día 07/11/2016 a las 10:38:00 registró un valor 6.91 ug/m³.

$$ppm = \frac{6,91}{64,06 * \frac{1000}{24,5}}$$

$$ppm = 0,002$$

La comprobación de conversión de los datos se presenta en la Tabla 7. Esta conversión equivale a una parte por billón (ppb) es igual 0.001 parte por millón (ppm).

ppb a ug/m3		
Variable Atmosférica	ppb	ug/m3
CO	1	1.145
O ₃	1	2
NO ₂	1	1.88
SO ₂	1	2.62

Tabla 7 ppb a ug/m3

En el desarrollo del proyecto se generará el ICA horario correspondiente a una hora, ICA octorario correspondiente a 8 horas y el ICA diario correspondiente a 24 horas, tomando los valores dentro de los rangos establecidos, el rango máximo corresponde a la fecha y hora máxima registrada en la base de datos *sosdatabase* y como mínimo dependiente del ICA. Como ejemplo para el ICA octorario se tomarán todos los valores entre 2016-11-13 16:00 y 2016-11-13 8:00 y se generará el ICA octorario.

En la generación del ICA, se toma el valor promedio generado en el periodo de tiempo observado de cada contaminante utilizando la Ecuación 2.

$$ICA = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} * (C_P - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

ICA = Índice de calidad del aire
C_P = Concentración promedio del contaminante p
BP_{Hi} = Punto de corte mayor o igual *C_P*
BP_{Lo} = Punto de corte menor o igual *C_P*
I_{Hi} = Valor de *ICA* correspondiente al *BP_{Hi}*
I_{Lo} = Valor de *ICA* correspondiente al *BP_{Lo}*

Ecuación 2 Cálculo general ICA (Mintz, 2006)

Los de BP_{Hi} , BP_{Lo} , I_{Hi} , I_{Lo} se obtiene de la Tabla 8, el cual depende del contaminante.

La Tabla 8 es una combinación de las tablas de referencia de la EPA permitiendo evaluar los valores de los contaminantes y determinar los índices. Está formada por tres columnas principales: la primera columna (ICA) expresa los rangos de valores entre 0 a 500 de los índices posibles, la segunda columna (Color) representa el color asociado al rango de valores, las siguientes columnas representan a cada contaminante con su concentraciones mínimas y máximas para cada rango llamados puntos de corte menor y mayor respectivamente, los cuales están en unidad de medida de ppm, excepto para el material particulado que se encuentra en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

$$ICA_{O3} = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} * (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

ICA	Color	O3 (ppm) (1h 8h 24h)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (1h 24h)	CO (ppm) (1h 8h 24h)	SO2 (ppm) (1h 24h)	NO2 (ppm) (1h 24h)
0-50	Verde	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,059	15,400	4,400	0,034	0,000
51-100	Amarillo	0,060	15,500	4,500	0,035	0,000
		0,075	40,400	9,400	0,144	0,000
101-150	Naranja	0,076	40,500	9,500	0,145	0,000
		0,095	65,400	12,400	0,224	0,000
151-200	Rojo	0,096	65,500	12,500	0,225	0,000
		0,115	150,400	15,400	0,304	0,000
201-300	Purpura	0,116	150,500	15,500	0,305	0,650
		0,374	250,400	30,400	0,604	1,240
301-500	Marrón	--	425,000	30,500	0,605	1,250
		--	604,000	50,400	1,004	2,040

Tabla 8 Clasificación de contaminantes aplicando EPA (Sellers, 2013)

A continuación presenta un ejemplo del cálculo del ICA del ozono. El contaminante O3 registró un valor promedio 0,015 ppm en un periodo de 24 horas, buscamos el rango donde

se encuentra el valor para este caso $BP_{Lo} = 0,000$ y $BP_{Hi} = 0,059$ el cual corresponde a ICA $I_{Hi} = 50$ y $I_{Lo} = 0$, los cuales son reemplazados en la Ecuación 2.

$$ICA\ O3 = \frac{50-0}{0,059-0,000} * (0,015 - 0) + 0$$

$$ICA\ O3 = \frac{50}{0,059} * (0,015)$$

$$ICA\ O3 = 12,712$$

El valor calculado 12,712 cae en el rango de 0 a 500 del ICA diario correspondiente al color verde, este proceso se realiza para todos los contaminantes atmosféricos (CO, SO₂, NO₂, O₃, PM_{2.5}) registrados por la estación de monitoreo continuo.

Al determinar el ICA de cada uno de los contaminantes se identifica cuál de ellos tiene el mayor índice, siendo este el índice de calidad general del aire. Finalmente según el valor del índice se determina su rango de peligrosidad, color, nivel de cuidado para la salud y medidas de precaución que se deben de tomar.

Índice de Calidad del Aire General			
Valores ICA Rango	Color Simbolizado	Nivel de cuidado para la salud	Medidas de precaución
0-50	Verde	Bueno	Sin impactos para la salud en este rango
51-100	Amarillo	Moderado	Personas inusualmente sensibles deberían considerar limitar su exposición
101-150	Naranja	Desfavorable para grupos sensibles	Los siguientes grupos deberán limitar su exposición. Personas con problemas pulmonares, ejemplo asma. Niños y adultos mayores. Personas activas en exteriores.
151-200	Rojo	Desfavorable	Los siguientes grupos deberán limitar la exposición prolongada. Personas con problemas pulmonares, ejemplo asma. Niños y adultos mayores. Personas activas en exteriores. El resto de personas debe limitar exposiciones prolongadas en el exterior.
201-300	Purpura	Muy desfavorable	Los siguientes grupos deberán limitar la exposición prolongada. Personas con problemas pulmonares, ejemplo asma. Niños y adultos mayores. Personas activas en exteriores. El resto de personas debe limitar exposiciones en el exterior.
301-500	Marrón	Peligroso	Todos los grupos deben limitar lo más posible su exposición al ambiente.

Ilustración 10 Medidas de ICA general (United States Environmental Protection Agency, 2016)

III.II Normativa TULSMA

En la normativa TULSMA exige que los datos estén en la unidad de medida de microgramos por medio cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Para el contaminante CO que se encuentra en mg/m^3 se multiplica por 1000 para convertir a $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Además se redondea los valores a tres decimales.

En la calidad del aire se toma el valor promedio generado en el periodo de tiempo establecido por la norma de calidad del aire, de los contaminantes aplicando la Ilustración 11.

La calidad del aire puede estar en los niveles de bueno, alerta, alarma y emergencia. La Ilustración 11 indica los valores mínimos que deben de tener para estar dentro del nivel.

En el caso del valor de calidad del aire sea menor al valor de alerta se considera como bueno.

CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15000	30000	40000
Ozono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	400	600
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1000	2000	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	1000	1800
Material particulado PM 10 Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	250	400	500
Material Particulado PM 2,5 Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	250	350

Ilustración 11 Criterios de concentraciones TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2015)

Después de determinar la calidad del aire de cada uno de los contaminantes se establece el criterio de nivel y el color de acuerdo a la Ilustración 12.

Calidad de Aire	
Color Simbolizado	Criterio de Nivel
Verde	Bueno
Amarillo	Alerta
Naranja	Alarma
Marrón	Emergencia

Ilustración 12 Criterios de nivel TULSMA

Etapa IV. Desarrollo del sistema

La estructura de la plataforma de visualización se elaboró utilizando las reglas de estilo de desarrollo web del IERSE, entre ellas tenemos:

- Fuente del tema de texto: *'Source Sans Pro'*
- Máximo Ancho: 1280px;
- Margen centrado
- Fondo de pantalla blanco
- Color del texto de preferencia negro.
- Las imágenes a publicar son proporcionadas por la entidad

Con respecto a los datos de estadísticas general y básica se aplican los comandos SQL (MIN, AVG, MAX, STDDEV, VARIANCE) para la obtención de mínimo, promedio, máximo, desviación estándar, varianza en el caso de la moda se obtiene el valor que mayor veces se repite, para estos se utilizan de los valores normalizados registrados por el contaminante en un rango de tiempo establecido por el usuario.

Para la presentación de las estadísticas generales se empleó el SQL que se encuentra en la Ilustración 13, aplicando los comandos mencionados anteriormente, en él cual se obtiene el código de identidad del contaminante, los valores de mínimo, promedio y máximos registrados.

```
select phenomenon_id as contaminante ,
min(valor) as minimo,avg(valor) as promedio,max(valor)
as maximo
from observation
where time_stamp >='$fini'
and time_stamp <='$ffin'
and ( phenomenon_id like '%$O3%'
or phenomenon_id like '%$SO2%'
or phenomenon_id like '%$PM2_5%'
or phenomenon_id like '%$CO%'
or phenomenon_id like '%$NO2%')
group by phenomenon_id
```

Ilustración 13 Sql estadísticas básicas

En el caso de las estadísticas básicas se optó por programar las funciones para la obtención de la desviación estándar, varianza, moda. Estas funciones utilizan la misma estructura que se observa en la Ilustración 14.

```
function obtener_desviacion($fini,$ffin,$procedimiento)
{
global $conexion;
$sqlrec="select STDDEV(valor) as des from observation where time_stamp >='$fini'
and time_stamp <='$ffin' and phenomenon_id like '%" . $procedimiento."%";
$resultado = pg_Exec($conexion,$sqlrec);
$filas=pg_NumRows($resultado);
if ($filas==0)
{
    $celda='Sin desviacion ';
}
else
{
    $fila = pg_fetch_array($resultado, 0, PGSQL_ASSOC);
    $celda=$fila['des'];
}
return $celda;
}
```

Ilustración 14 Función estadística básica

En cuanto a la gráfica de las variables se programó la función *drawChart*, en la cual primero se crea la estructura del gráfico y posteriormente se agregan los valores a presentar. Esta función fue construida usando la librería *chart* y paquete *line* proporcionados por *Google*.

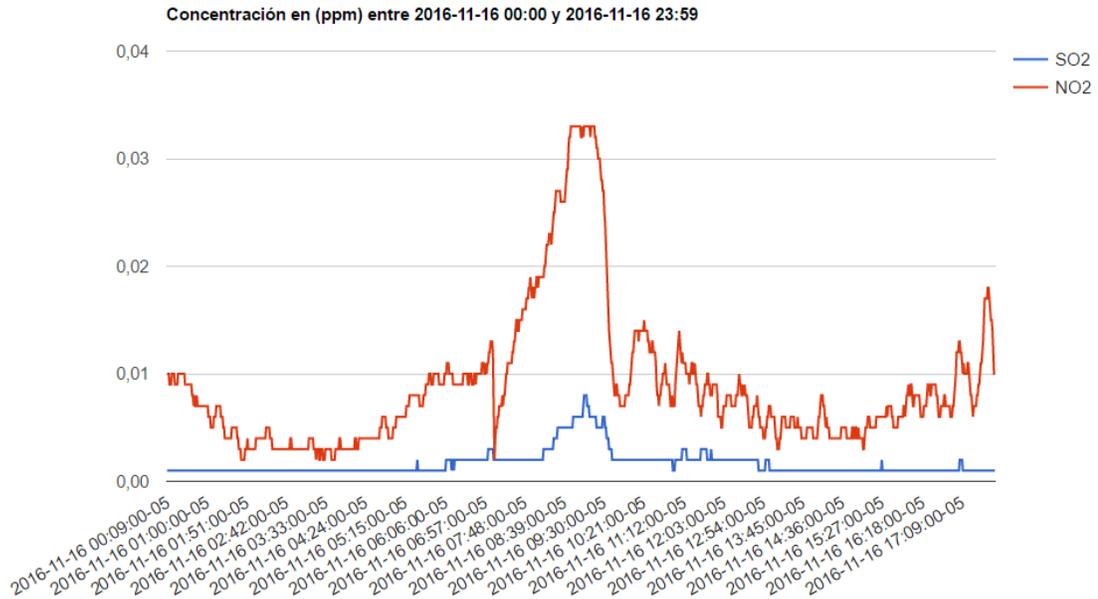


Ilustración 15 Cruce de variables función drawChart

En relación al gráfico de estadísticas generales se programó la función *drawVisualization* utilizando la misma idea del gráfico de variables atmosféricas pero en este caso se utilizó el paquete *comboChart*.

Etapa V. Pruebas de funcionamiento

Durante el desarrollo de la Etapa II, se realizó pruebas de verificación de los datos entre la base de datos de monitoreo y la base de datos *sosdatabase* para validar que la información a capturada sea la correcta. De igual manera en la Etapa III por medio de la herramienta Excel se comparó la transformación de los datos y los cálculos de ICA. Para finalizar, antes de publicar en la plataforma web, se procedió a ejecutar pruebas de interfaz de usuario y navegación utilizando las plantillas que se encuentran en el Anexo D, con el fin de mejorar la interacción de la plataforma web con el usuario final.

Conclusión

Este capítulo muestra las etapas realizadas en el desarrollo de la plataforma web de los contaminantes atmosféricos y las variables meteorológicas con sus respectivos métodos y herramientas tanto para la transformación de los datos como la presentación de ellos. Para la validación y publicación de las variables atmosféricas se ejecutaron pruebas de funcionamiento.

Capítulo IV: Resultados

El principal resultado de la elaboración e implementación de este proyecto es una plataforma web para el monitoreo y publicación de los contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas de la ciudad de Cuenca cumpliendo con las normativas EPA y TULSMA. Para una mejor representación de las normativas se desarrolló dos páginas web, las cuales están implementadas en el Geoportal de la UDA en los siguientes vínculos:

Según la normativa EPA: <http://gis.uazuay.edu.ec/ide2015/sistemaepa.php>

Según la normativa TULSMA: <http://gis.uazuay.edu.ec/ide2015/sistematulisma.php>

Al acceder al vínculo de la normativa EPA, a primera vista se observa el ICA, en el rango que se encuentra y la medida de prevención que se debe de ejecutar, esta información se obtiene basado en los datos registrados en la última hora.

Además se presenta el ICA horario, octonario y diario indicando su valor, rango y el contaminante.



ICA:62.4

Hoy, 9:01 La calidad del aire es

Personas inusualmente sensibles deberán considerar limitar su exposición.

ICA Horario



ICA Octorario



ICA Diario



Ilustración 16 índice de Calidad del Aire Cuenca

También presenta la generación del gráfico lineal de variables atmosféricas en un periodo de tiempo de un día. La herramienta está desarrollada para permitir la selección de los distintos contaminantes y un rango horario con el cual se construirá el gráfico respectivo.

Para el contaminante PM2_5 se graficará en solitario debido a diferencia de unidades y escala de medición con respecto a los otros gases.

Gráfica de los contaminantes ■ O3 ■ SO2 ■ CO ■ NO2 ■ PM2_5 (ug/m3)

Período mostrado: **DESDE:** 2016-11-22 06:00

HASTA: 2016-11-22 13:33

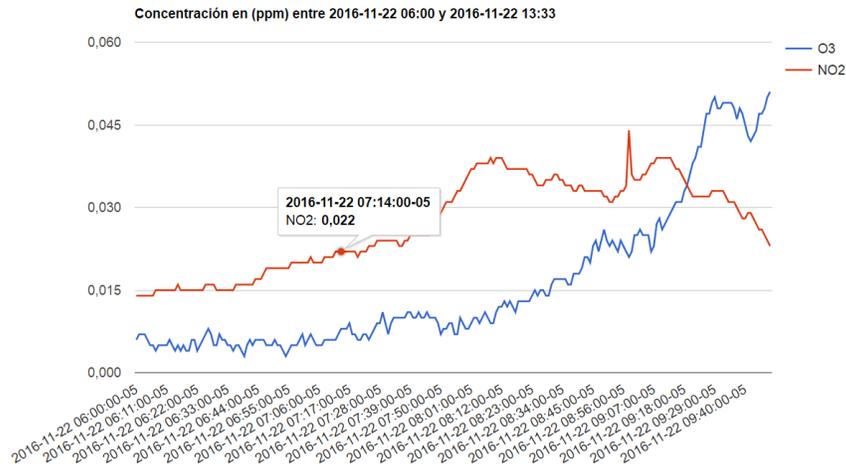


Ilustración 17 Gráfico de contaminantes atmosféricos O₃ NO₂ EPA

Conjuntamente los valores del gráfico lineal de variables atmosféricas están asociados a la tabla de datos generales (Ilustración 18) los cuales presentan el número de registros encontrados y los valores medidos de cada contaminante en el rango de tiempo establecido.

Datos: General

Registros encontrados:190

No.	Fecha/hora	O3	NO2
1.	2016-11-21 06:00:00-05	0.004	0.223
2.	2016-11-21 06:01:00-05	0.006	0.219
3.	2016-11-21 06:02:00-05	0.006	0.217
4.	2016-11-21 06:03:00-05	0.004	0.219
5.	2016-11-21 06:04:00-05	0.005	0.224
6.	2016-11-21 06:05:00-05	0.004	0.229
7.	2016-11-21 06:06:00-05	0.003	0.231
8.	2016-11-21 06:07:00-05	0.003	0.239
9.	2016-11-21 06:08:00-05	0.004	0.248
10.	2016-11-21 06:09:00-05	0.004	0.248
11.	2016-11-21 06:10:00-05	0.002	0.25

Ilustración 18 Datos Generales O₃ NO₂

Las mediciones estadísticas se muestran en dos formatos: El primero de estadística básica por medio de una tabla que contiene la unidad, desviación estándar, varianza y moda por

contaminante (Ilustración 19). El segundo, de estadística general a través un gráfico de barras el cual representa los valores de la tabla de datos de estadística general, y contiene la unidad de medida, los mínimos, promedios y máximos por contaminante (Ilustración 20). Las mediciones de los valores estadísticos se obtiene dependiendo del contaminante y el periodo de tiempo establecido por el usuario.

Estadísticas: Básicas

Registros encontrados: 2

No.	Contaminante	Unidad	DE	Varianza	Moda
1	O3	ppm	0.012	0.265	0.007
2	NO2	ppm	0.008	0.109	0.027

Ilustración 19 Datos Estadísticas Básicas O₃ NO₂

Estadística: General

Registros encontrados: 2

No.	Contaminante	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo
1	O3	ppm	0	0.017	0.041
2	NO2	ppm	0	0.02	0.03

Gráfica Estadística: General

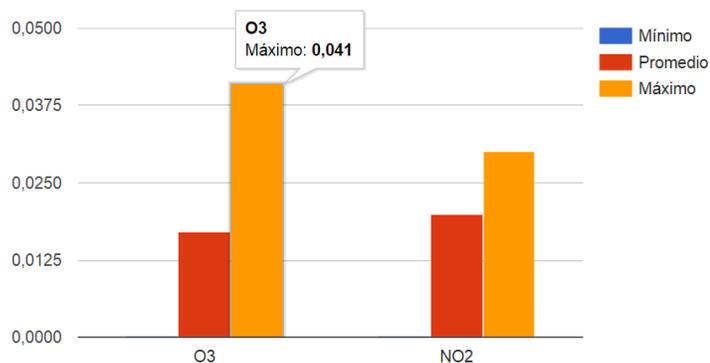


Ilustración 20 Representación Estadística General O₃ NO₂

Con respecto a la disponibilidad de los rangos de tiempo se utilizó la herramienta que facilita al usuario personalizar su consulta, estableciendo el rango de tiempo de acuerdo a sus necesidades permitiendo visualizar los datos históricos, esto ayuda a tener una visión

más clara de cómo se van relacionando los comportamientos de las variables atmosféricas dependiendo del cambio climático, incendios, tráfico vehicular, entre otros.

DESDE: 2016-11-01 06:00 **HASTA:** 2016-11-21 23:59

Nov 2016

Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

Time 06:00

Hour

Minute

Now Done

Nov 2016

Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

Time 23:59

Hour

Minute

Now Done

Ilustración 21 Ejemplo rango de periodo de tiempo

Conjuntamente se representan las variables meteorológicas de la ciudad de Cuenca por medio de una tabla para cada variable, la cual contiene la unidad de medida, los valores de mínimos, promedios y máximos registrados excepto para la precipitación que contiene la unidad de medida y el total que es la suma total de todas las precipitaciones.

Meteorología de la ciudad de Cuenca

<p>Grados Centígrados</p> <p>Temperatura del aire</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th>Unidad</th><th>Mínimo</th><th>Promedio</th><th>Máximo</th></tr> <tr><td>°C</td><td>12.114</td><td>15.990</td><td>22.36</td></tr> </table>	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo	°C	12.114	15.990	22.36	<p>Presión barométrica</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th>Unidad</th><th>Mínimo</th><th>Promedio</th><th>Máximo</th></tr> <tr><td>hPa</td><td>75.08</td><td>752.881</td><td>758.63</td></tr> </table>	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo	hPa	75.08	752.881	758.63	<p>Humedad relativa</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th>Unidad</th><th>Mínimo</th><th>Promedio</th><th>Máximo</th></tr> <tr><td>%</td><td>40.877</td><td>67.957</td><td>93.238</td></tr> </table>	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo	%	40.877	67.957	93.238	<p>Precipitación</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th>Unidad</th><th>Total</th></tr> <tr><td>mm</td><td>7.6</td></tr> </table>	Unidad	Total	mm	7.6
Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo																												
°C	12.114	15.990	22.36																												
Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo																												
hPa	75.08	752.881	758.63																												
Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo																												
%	40.877	67.957	93.238																												
Unidad	Total																														
mm	7.6																														
<p>Radiación solar</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th>Unidad</th><th>Mínimo</th><th>Promedio</th><th>Máximo</th></tr> <tr><td>W/m2</td><td>49.367</td><td>384.700</td><td>1214.674</td></tr> </table>	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo	W/m2	49.367	384.700	1214.674	<p>Velocidad del viento</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th>Unidad</th><th>Mínimo</th><th>Promedio</th><th>Máximo</th></tr> <tr><td>m/s</td><td>0</td><td>1.025</td><td>5.1</td></tr> </table>	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo	m/s	0	1.025	5.1	<p>Dirección del viento</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><th>Unidad</th><th>Mínimo</th><th>Promedio</th><th>Máximo</th></tr> <tr><td>°</td><td>0</td><td>159.958</td><td>370</td></tr> </table>	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo	°	0	159.958	370					
Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo																												
W/m2	49.367	384.700	1214.674																												
Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo																												
m/s	0	1.025	5.1																												
Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo																												
°	0	159.958	370																												

Ilustración 22 Meteorología de la ciudad de Cuenca

Al acceder al vínculo de la normativa TULSMA, a primera vista se observa la concentración de los contaminantes atmosféricos, el periodo de tiempo y el rango en el que estos se encuentran.



Concentraciones de los contaminantes



Ilustración 23 Concentraciones contaminantes TULSMA

Para la representación del gráfico lineal de variables atmosféricas, utiliza la herramienta de la normativa EPA; pero en esta situación nos permite presentar los comportamientos de todos los contaminantes.

Gráfica de los contaminantes

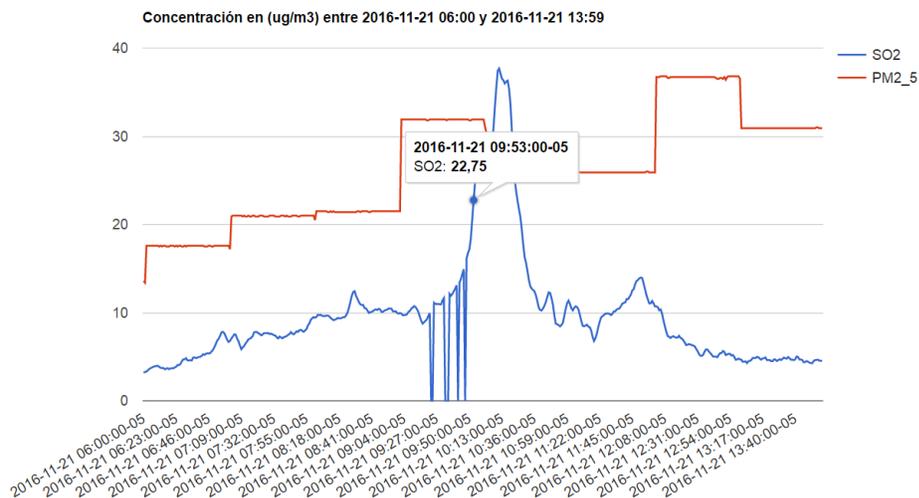


Ilustración 24 Gráfico contaminantes atmosféricos SO2 PM2_5 TULSMA

Para la descripción de la información de las estadísticas generales y básicas se empleó los principios y estructura de la plataforma de la normativa EPA, pero manejando los datos

en unidades de medida de $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto ocurre también en la publicación de las variables meteorológicas, pero en este caso las unidades de medidas son las mismas.

Conclusiones

El proyecto permite a los expertos y a la ciudadanía cuencana contar con una plataforma digital para la publicación del comportamiento de las variables atmosféricas registradas por la estación de monitoreo automática de la EMOV-EP, utilizando las normativas del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA) del Ecuador y la normativa de los Estados Unidos dirigida por *Environmental Protection Agency* (EPA).

El usuario accede en tiempo real a los reportes estadísticos de las variables por medio de tablas, gráficas y la presentación del Índice de Calidad del Aire. Para la presentación de los datos se dio prioridad a que sean comprensibles para la ciudadanía a través de escalas de colores y mensajes intuitivos transforma el valor numérico en un conjunto de recomendaciones.

Esta plataforma es una herramienta para la gestión ambiental y la toma de medidas de precaución y prevención del cuidado de la salud de los ciudadanos además de servir como base para futuros proyectos encaminados en la calidad del aire y el comportamiento de las variables atmosféricas.

Referencias

- Casas, C., & Alarcón, M. (1999). *Meteorología y clima*. Barcelona: universidad politécnica de cataluña.
- Cecofar. (18 de 06 de 2014). *Centro Cooperativo Farmacéutico*. Obtenido de Centro Cooperativo Farmacéutico: <http://blog.cecofar.es/enfermedades-radiacion-solar/>
- Chiu, L. B., Gastelú, M. E., Serna, L. A., & Padilla, J. L. (2014). *Investigaciones en tecnologías de información informática y computación*. Palibrio.
- Diez, E. C. (2006). *Variables meteorológicas y salud*. Madrid: Longares I.R, S.A.
- EMOV EP. (2014). *Red de Monitoreo EMOV EP*.
- EMOV-EP. (2015). *Informe de Calidad Aire*. Cuenca.
- Figueruelo, J., & Dávila, M. (2004). *Química física del ambiente y de los procesos medioambientales*. España: Reverté.
- Gutiérrez, R. (12 de 2007). *Zona hospitalaria*. Obtenido de Zona hospitalaria: <http://www.zonahospitalaria.com/el-frio-y-los-huesos/>
- Huguet, M. C., Soldevila, J. M., & Galindo, E. M. (2008). *Administración de sistemas operativos en red*. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya.
- InfoEscola Navegando e Aprendendo. (2016). *InfoEscola Navegando e Aprendendo*. Obtenido de InfoEscola Navegando e Aprendendo: <http://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>
- Instituto Nacional de ecología y cambio climático. (12 de 05 de 2014). *Instituto Nacional de ecología y cambio climático*. Obtenido de Instituto Nacional de ecología y cambio climático: <http://www.inecc.gob.mx/calibre-informacion-basica/537-calaire-fuentes>
- Maderrey, L., & Jiménez, A. (2005). *Principios de Hidrogeografía Estudio del Ciclo Hidrológico*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martínez, P. R. (2010). *Energía solar térmica*. Barcelona.
- Medina, V. E. (s.f.). *Agentes Geológicos*. Obtenido de Agentes Geológicos: <http://ficus.pntic.mec.es/vfem0006/hotpot/rhibrida.htm>
- Ministerio del Ambiente. (04 de 05 de 2015). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de Ministerio del Ambiente: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA++R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>

- Ministerio del Ambiente. (2015). Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión. En M. d. Ambiente, *Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente*.
- Mintz, D. (2006). *Guideline for Reporting of Daily Air- Air Quality Index (AQI)*. Carolina del Norte : Enviromental Protection Agency.
- Organización Mundial de la Salud. (2016). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/background_information/es/
- Page, K. A. (2006). *Macromedia Dreamweaver 8 Training from the Source*. California: Adobe Press.
- pgAdmin PostgreSQL Tools. (2015). *pgAdmin PostgreSQL Tools*. Obtenido de pgAdmin PostgreSQL Tools: <https://www.pgadmin.org/docs/1.20/index.html>
- PostgreSql-es. (02 de 10 de 2010). *PostgreSql-es*. Obtenido de PostgreSql-es: http://www.postgresql.org.es/sobre_postgresql
- Puigserver, M., & Carrascal, D. (2008). *El medio atmosférico: meteorología y contaminación*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Querol, X. (10 de 2008). *Scielo España*. Obtenido de Scielo España: http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v82n5/editorial_1.pdf
- Rodríguez, R., Capa, Á., & Portela, A. (2004). *Meteorología y Climatología*. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.
- Ruvalcaba, Z. (2005). *Macromedia Dreamweaver 8*. Indianapolis.
- Sellers, C. (2013). *Publicación de los contaminates atmosféricos de la estación de monitoreo en tiempo real de as ciudad de cuenca, utilizando servicios OGC*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Sierra, M. M. (2006). *Establecer la asociación existente entre las variables meteorológicas temperatura, valocidad del viento y precipitación y las concentraciones de Pm10 registradas en la red de calidad del aire de Bogota D.C*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Sistema Integrado de Lesgilación Ecuatoriana. (2004). *ley de prevención y control de la contaminación ambiental, registro oficial suplemento # 418*.
- The International Volcanic Health Hazard Network. (2005). *The International Volcanic Health Hazard Network*. Obtenido de The International Volcanic Health Hazard Network: http://ivhhn.org/index.php?option=com_content&view=article&id=144

United States Environmental Protection Agency . (23 de 02 de 2016). *United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://www3.epa.gov/climatechange/science/causes.html>

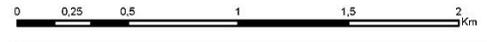
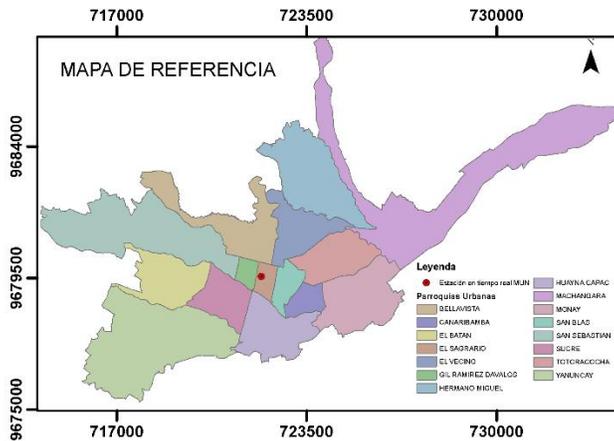
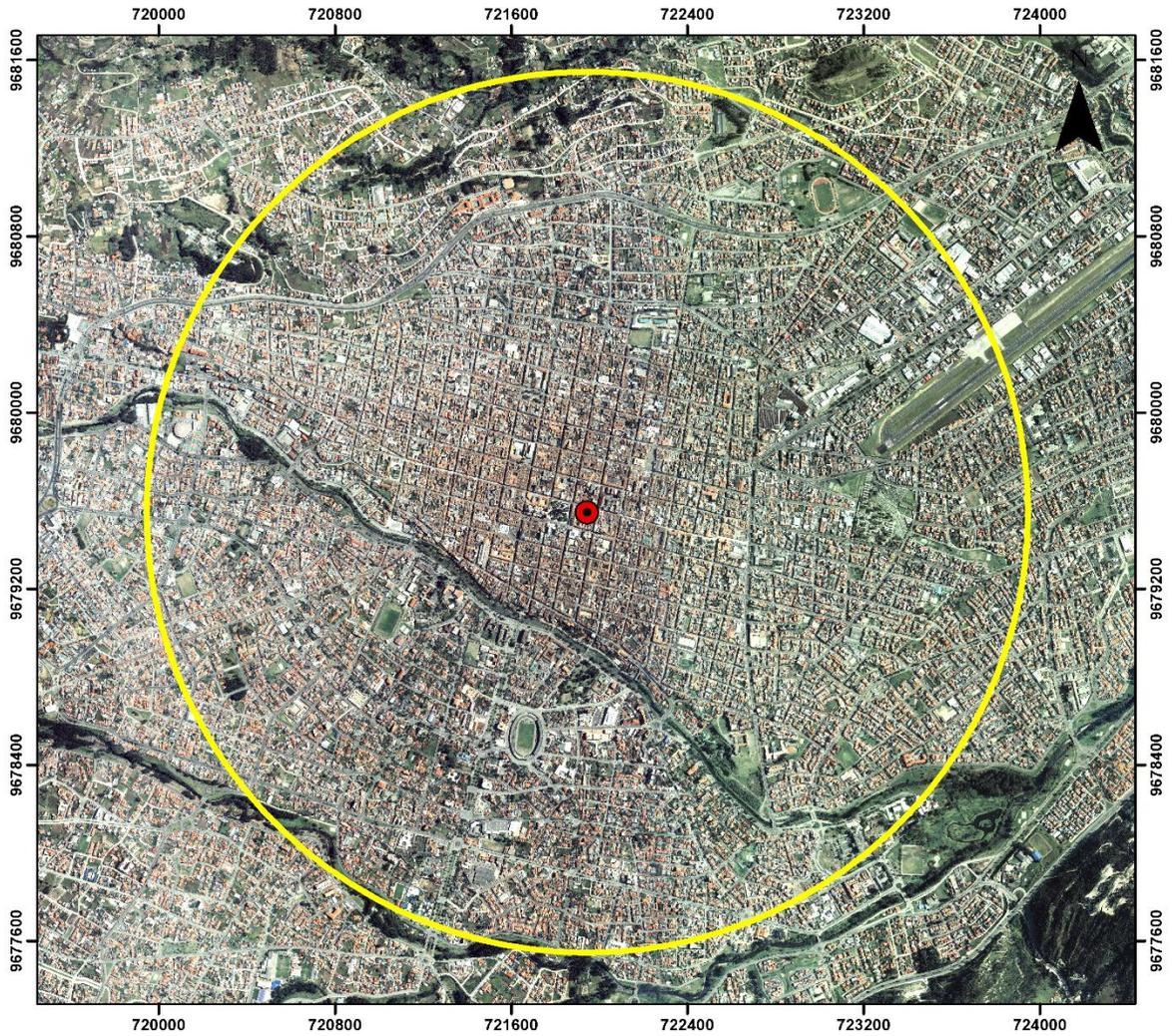
United States Environmental Protection Agency. (2016). *United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://www3.epa.gov/>

Zuk, M., Tzintzum, G., & Rojas, L. (2007). *Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire de nueve ciudades mexicanas*. Mexico D.F.

Anexos

Anexo A: Mapa estación automática de monitoreo de la calidad del aire

MAPA DE UBICACIÓN GENERAL



Leyenda

- Cobertura en tiempo real MUN
- Estación en tiempo real MUN

ESCALAS Y PROYECCIÓN

Escala de Impresión: 1:25 000
 Escala Grafica: 1:25.000
 Elipsoide: Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84)
 Cuadrícula: UTM, Zona 17 Sur.
 Proyección: Universal Transversa Mercator
 Datum Vertical: Nivel Medio del Mar
 Datum Horizontal: Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84)

Anexo B: Requerimientos específicos

Requerimientos Funcionales

Identificación del requerimiento:	RF01
Nombre del Requerimiento:	Consulta del Índice de Calidad del Aire Horario
Características:	La plataforma permitirá al usuario visualizar la información del índice de calidad del aire horario aplicando la normativa EPA
Descripción del requerimiento:	La consulta presentará el índice de calidad del aire, rango de peligrosidad, el color correspondiente al rango de peligrosidad y el nombre del contaminante correspondiente al periodo de una hora.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none">• RNF01• RNF02• RNF03
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RF02
Nombre del Requerimiento:	Consulta del Índice de Calidad del Aire Octorario
Características:	La plataforma permitirá al usuario visualizar la información del índice de calidad del aire octorario aplicando la normativa EPA
Descripción del requerimiento:	La consulta presentará el índice de calidad del aire, rango de peligrosidad, el color correspondiente al rango de peligrosidad y el nombre del contaminante correspondiente al periodo de ocho horas.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none">• RNF01• RNF02• RNF03
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RF03
--	------

Nombre del Requerimiento:	Consulta del Índice de Calidad del Aire Diario
Características:	La plataforma permitirá al usuario visualizar la información del índice de calidad del aire diario aplicando la normativa EPA
Descripción del requerimiento:	La consulta presentará el índice de calidad del aire, rango de peligrosidad, el color correspondiente al rango de peligrosidad y el nombre del contaminante correspondiente al periodo de 24 horas.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF03
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RF04
Nombre del Requerimiento:	Consulta de los Estadísticas Generales
Características:	La plataforma permitirá al usuario visualizar la información de estadística general del contaminante dentro del periodo establecido por el usuario.
Descripción del requerimiento:	La consulta visualizará el nombre del contaminante, unidad, mínimo, máximo, promedio registrados
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF03 • RNF04 • RNF05
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RF05
Nombre del Requerimiento:	Consulta de los Estadísticas Básicas

Características:	La plataforma permitirá al usuario visualizar la información estadística básica del contaminante dentro del periodo establecido por el usuario.
Descripción del requerimiento:	La consulta presentará el nombre del contaminante, unidad, desviación estándar, varianza y moda registrados.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF03 • RNF04 • RNF05
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RF06
Nombre del Requerimiento:	Consulta de los Datos General
Características:	La plataforma permitirá al usuario visualizar la información de todos los datos registrados del contaminante dentro del periodo establecido por el usuario.
Descripción del requerimiento:	La consulta presentará el número total de registros encontrados y tabla de los todos los datos, la cual que tendrá el número de dato, fecha, hora y el valor promedio registrado.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF03 • RNF04 • RNF05
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RF07
Nombre del Requerimiento:	Consulta Gráfica Estadística General
Características:	La plataforma permitirá al usuario visualizar por medio de una gráfica de barras se representará los datos del RF04.

Descripción del requerimiento:	La consulta presentará el nombre del contaminante, mínimo, máximo, promedio registrados
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF03 • RNF04 • RNF05
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RF08
Nombre del Requerimiento:	Consulta Gráfica Contaminantes
Características:	La plataforma permitirá al usuario visualizar por medio de una gráfica lineal la información del RF06.
Descripción del requerimiento:	La consulta presentará el nombre del contaminante, la unidad de medida, el periodo y todos los valores promedio registrados.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF03 • RNF04 • RNF05
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RF09
Nombre del Requerimiento:	Consulta Estadística Meteorológica
Características:	La plataforma permitirá al usuario visualizar la información estadística de la variable meteorológica durante del periodo establecido por el usuario.
Descripción del requerimiento:	La consulta presentará el nombre de la variable meteorológica, la unidad de medida, mínimo, promedio y máximo registrados.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02

	<ul style="list-style-type: none"> • RNF03 • RNF04 • RNF05
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RF10
Nombre del Requerimiento:	La consulta Calidad Contaminante
Características:	La plataforma permitirá al usuario visualizar la información de la concentración del contaminante en el periodo establecido por la normativa TULSMA
Descripción del requerimiento:	Consulta presenta el nombre del contaminante, valor de concentración, periodo de tiempo, criterio de nivel y color correspondiente al nivel.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF03 • RNF04 • RNF05
Prioridad del requerimiento: Alta	

Requerimientos No Funcionales

Identificación del requerimiento:	RNF01
Nombre del Requerimiento:	Interfaz de la plataforma.
Características:	La plataforma se presentará una interfaz sencilla para que sea de fácil entendimiento.
Descripción del requerimiento:	La plataforma debe tener una interfaz de uso intuitiva y sencilla.
Prioridad del requerimiento: Alta	

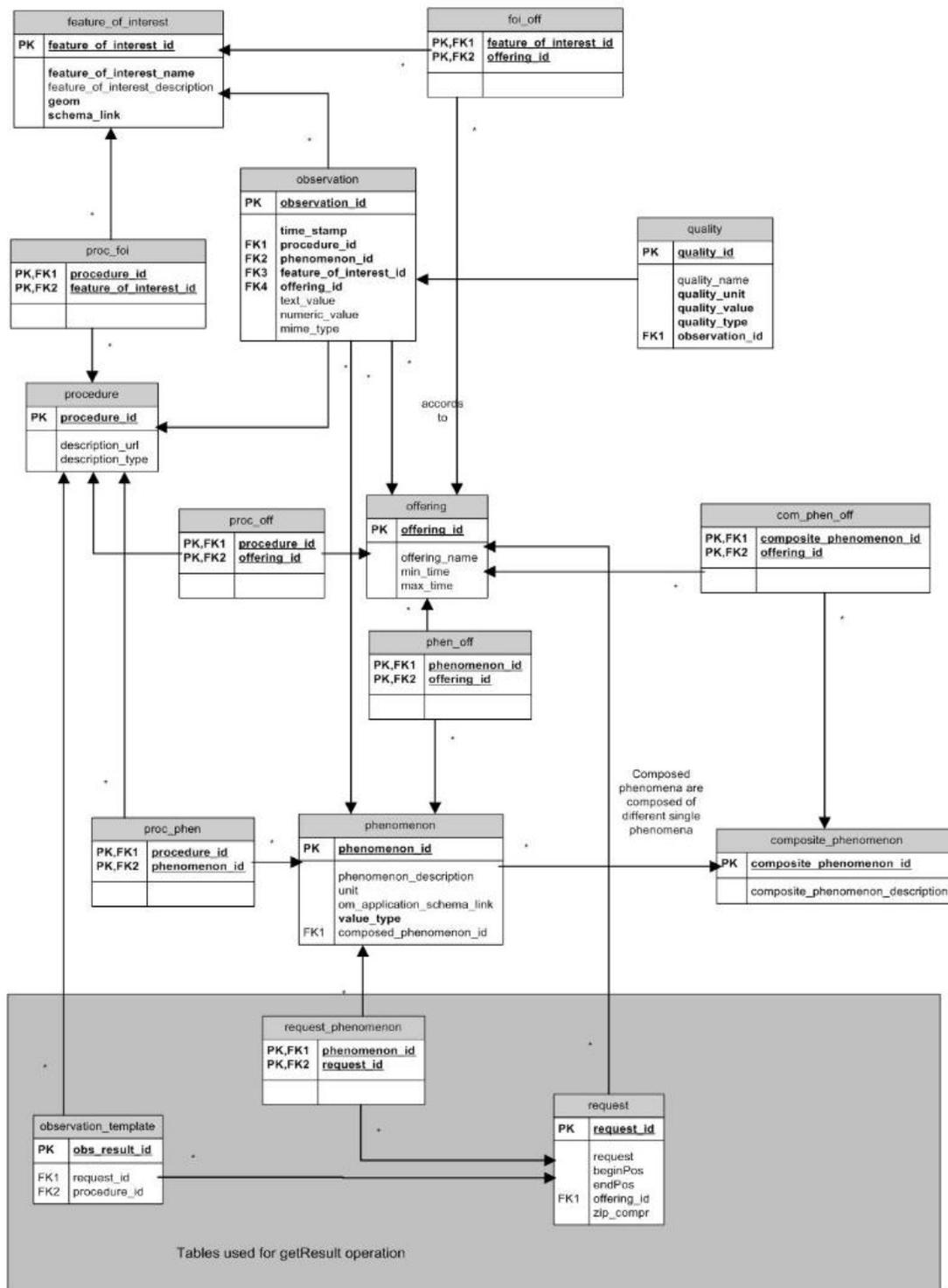
Identificación del requerimiento:	RNF02
Nombre del Requerimiento:	Desempeño
Características:	La plataforma deberá ser muy fiable para que no haya problemas al momento de hacer la representación de las variables atmosféricas.
Descripción del requerimiento:	Al ser una plataforma sencilla, deberá presentarse correctamente con el menor número de errores.
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RNF03
Nombre del Requerimiento:	Disponibilidad
Características:	La plataforma tendrá que estar en funcionamiento las 24 horas los 7 días de la semana.
Descripción del requerimiento:	La disponibilidad del sistema debe ser continua con un nivel de servicio para los usuarios de 7 días por 24 horas.
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RNF04
Nombre del Requerimiento:	Mantenimiento
Características:	Se deberá dar un mantenimiento cuando la plataforma tenga un mal funcionamiento.
Descripción del requerimiento:	El mantenimiento lo realizará en el momento que se detecte el fallo por medio del equipo de desarrollo.
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RNF05
Nombre del Requerimiento:	Seguridad en la información
Características:	La plataforma garantizará a los usuarios una seguridad en cuanto a la información que se procede de la plataforma.
Descripción del requerimiento:	Garantizar la seguridad del sistema con respecto a la información
Prioridad del requerimiento:	Alta

Anexo C: Esquema de base de datos de servicios SOS de la implementación de 52North



Anexo D: Pruebas de funcionalidad

Prueba de interfaz de usuario

Componentes	Facilidad de uso						Observaciones
	Dinámico Excelente/Regular/Malo	Interactivo Excelente/Regular/Malo	Facilidad para encontrar fácilmente las cosas SI/NO	Textos y gráficos comprensibles SI/NO	Estética Excelente/Regular/Malo	Tamaño y resolución Excelente/Regular/Malo	
Índice de Calidad del Aire Horario							
Índice de Calidad del Aire Octorario							
Índice de Calidad del Aire Diario							
Estadísticas Generales							
Estadísticas Básicas							
Datos General							
Gráfica Estadística General							
Gráfica Contaminantes							
Estadística Meteorológica							
Calidad Contaminante							

Prueba de navegación

Componente	Navegadores			Observación
	Mozilla firefox	Google Chrome	Internet Explorer	
Índice de Calidad del Aire Horario				
Índice de Calidad del Aire Octorario				
Índice de Calidad del Aire Diario				
Estadísticas Generales				
Estadísticas Básicas				

Datos General				
Gráfica Estadística General				
Gráfica Contaminantes				
Estadística Meteorológica				
Calidad Contaminante				

Doctora Jenny Ríos Coello, Secretaria de la Facultad de Ciencias de la Administración de la Universidad del Azuay

CERTIFICA:

Que, el Consejo de Facultad en sesión del 10 de junio de 2016, conoció la petición de la estudiante **MARIA ALEXANDRA CABRERA LITUMA** con código 61275, quien presentan su trabajo de titulación denominado: **“PLATAFORMA DE VISUALIZACION ESTADISTICA DE VARIABLES ATMOSFERICAS MULTIPLES”**, previa a la obtención del título de Ingeniera de Sistemas y Telemática. El Consejo de Facultad acoge el informe de la Junta Académica y aprueba el diseño. Designa como *Director al ingeniero Chester Sellers Walden* y como miembros del *Tribunal Examinador a los ingenieros Francisco Salgado Arteaga y Marcos Orellana Cordero*. La peticionaria tiene un plazo de **SEIS MESES** para presentar su trabajo de titulación, esto es hasta el 10 de diciembre de 2016.

Cuenca, junio 15 de 2016



Dra. Jenny Ríos Coello
Secretaria de la Facultad de
Ciencias de la Administración

UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
FACULTAD DE
ADMINISTRACION
SECRETARIA



Universidad del Azuay

Ingeniería de Sistemas y Telemática

Metodología de la Investigación

Guía para la presentación de la propuesta de proyecto de titulación

1. Datos generales

1.1 Nombre del estudiante: María Alexandra Cabrera Lituma

1.1.1 Código: ua061275

1.1.2 Contacto:

Teléfono: 2869258

Celular: 0997384700

Correo: aleja_mac_l@hotmail.com

1.2 Director sugerido: Ing. Chester Andrew Sellers Walden M. Sc.

1.2.1 Contacto: csellers@uazuay.edu.ec

1.4 Asesor metodológico: Ing. Francisco Rodrigo Salgado Arteaga

1.5 Tribunal designado:

1.6 Aprobación:

1.7 Línea de Investigación de la carrera: Informática de Computadoras

1.7.1 Código UNESCO: 1203-07 Informática

1.7.2 Tipo de trabajo: Investigación formativa

1.8 Área de estudio: Programación web, Estadística.

1.9 Título propuesto: Plataforma de visualización estadística de variables atmosféricas múltiples.

1.10 Subtítulo: Caso de estudio la ciudad de Cuenca.

1.11 Estado del proyecto: El proyecto es parte de la investigación del Ingeniero Chester Sellers M. Sc. Quien integra el grupo del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE). Este proyecto es parte de un convenio, de la Universidad del Azuay, y la

Empresa Pública Municipal de Movilidad Tránsito Y Transporte de Cuenca (EMOV-EP), el mismo que inició actividades el primero de junio del 2015.

2. Contenido

2.1 Motivación de la investigación:

La investigación nace con el fin de que los habitantes de la ciudad de Cuenca; autoridades y expertos conozcan la calidad del ambiente en el que desenvuelven sus actividades socio-económicas, para lo cual es necesario disponer de plataformas digitales que en tiempo real informen sobre el estado del ambiente de manera adecuada, oportuna y didáctica a la ciudadanía en general. Por lo que, surgió el convenio de Cooperación Interinstitucional celebrado entre la Empresa Pública de Movilidad Tránsito y Transporte Terrestre de Cuenca EMOV-EP y la Universidad del Azuay para la actualización y ampliación de la plataforma de visualización y publicación de Contaminantes Aéreos del Área Urbana del cantón. Para que la ciudadanía sea informada y participe en la toma de decisiones en conjunto con las autoridades de la ciudad.

2.2 Problemática:

La Empresa EMOV-EP, a través de la Red de Monitoreo ha venido trabajando en la medición de las emisiones de gases a la atmósfera, con el fin de determinar los principales focos de contaminación en la ciudad de Cuenca. En la actualidad, el incremento vehicular que ingresa en el centro de la ciudad, las emisiones de gases que generan, han ido en crecimiento, lo que contribuye a la disminución de la calidad de vida de la población con correspondiente impacto de afectaciones a la salud. En este marco es necesario tomar medidas encaminadas a informar a la ciudadanía sobre el medio en el cual viven; Por lo que, los datos de emisiones obtenidos en las estaciones de monitoreo con las que cuenta la ciudad, deben ser conocidos de manera apropiada, ágil, de fácil acceso y comprensión tanto para ciudadanía como para autoridades, a fin de dictar políticas públicas que lleven a precautelar la salud y el bienestar de la población.

En este contexto, la Universidad del Azuay, a través del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador -IERSE- y la Empresa EMOV-EP, deciden trabajar en un proyecto encaminado a dotar a la ciudadanía de información fiable, le permita conocer el estado en el que se encuentra la ciudad con relación a la contaminación atmosférica.

2.3 Resumen:

El proyecto se enfoca en desarrollar una plataforma digital que publique información de las variables atmosféricas registradas por la estación de monitoreo continuo, para correspondencia de expertos, mediante la generación de un Índice General de Calidad Aire (IGCA) y de índices de variables meteorológicas, los mismos que utiliza la normativa nacional, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA) y la normativa

internacional divulgada por *Environmental Protection Agency* (EPA); de la misma forma se publicarán gráficas estadísticas del comportamiento temporal de estas variables atmosféricas. Con esto se proporciona una herramienta de gestión ambiental para la toma de decisiones que favorezcan el buen vivir de los cuencanos.

2.4 Indagación exploratoria y base conceptual:

Un aire contaminado incide negativamente en la salud de las personas y su entorno; los cambios que se originan en la composición química de la atmósfera logran cambiar el clima y destruir el ozono; estos fenómenos de gran importancia, incluyendo las actividades diarias, originan contaminación (Querol, 2008). La afectación que se muestra en la contaminación del aire tiene un valor monetario y psicológico en la sociedad; que se puede percibir en el diario vivir de los ciudadanos de Cuenca (Alcaldía de Cuenca, 2014).

La situación actual genera la necesidad de tomar medidas inmediatas para el control y prevención de la contaminación atmosférica debido a que nos encontramos en un estado de vulnerabilidad (Abrutzky, R., Dawidowski, L., Murgida, A., & Natenzon, C. E., 2014); Por lo cual somos testigos del desarrollo e implementación de redes de sensores que registran estas variables del entorno en que vivimos; los mismo que proporcionan grandes volúmenes de datos en escalas, unidades y formatos distintos. Los sensores toman información de diferente índole y naturaleza en relación con las actividades cotidianas como son: el transporte, emisiones industriales, fenómenos naturales como la humedad relativa, radiación solar entre otros (Botts, M., Percivall, G., Reed, C., & Davidson, J., 2006).

La Empresa Municipal de Movilidad Transito y Trasporte de la ciudad de Cuenca (EMOV-EP) dispone de la estación de monitoreo continuo en tiempo real por medio de sensores destinados a medir variables atmosféricas. Esta estación está en capacidad de capturar y almacenar datos en intervalos de 1 segundo (Alcaldía de Cuenca, 2014).

Las variables atmosféricas se dividen en los aportantes a la contaminación atmosférica: Ozono (O₃), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Material Particulado 2,5µm (PM_{2.5}) y las variables meteorológicas: Radiación Ultra Violeta (UV), Temperatura del aire, Precipitación, Presión atmosférica, Humedad relativa. (Sellers Chester, Ballari Daniela, Pachecho Diego, Delgado Omar, 2013). A pesar de disponer con un sistema de monitoreo, se ha detectado limitaciones que afectan en la dificultad de realizar análisis temporal interpretando el comportamiento de las variables atmosféricas. La primera es que las variables meteorológicas no se analizan para obtener los índices. La segunda es la limitación de incorporar la gestión estadísticas de los datos (Espinoza Molina, 2011).

El proyecto pretende brindar a los técnicos, las herramientas tecnológicas que les permitan conocer la información registrada en la estación de monitoreo de variables atmosféricas,

por medio del tratamiento de los datos y publicación de los mismos a través de la web; además proporcionar datos estadísticos para la difusión de las variables atmosféricas.

2.5 Objetivo general: Implementar una plataforma web que permita publicar y actualizar diariamente el visor de administración de variables atmosféricas del área urbana del cantón Cuenca.

2.6 Objetivos específicos:

- Sistematizar la información recogida por la estación de monitoreo en tiempo real a cargo de la EMQV-EP.
- Transformar los datos adquiridos por la estación de monitoreo en tiempo real, para la generación de índices.
- Recopilar y presentar las variables meteorológicas capturadas por la estación.
- Implementar un visor estadístico de las variables atmosféricas sistematizadas en un servidor local.

2.7 Metodología:

La planificación y ejecución del proyecto consistirá en desarrollar una plataforma digital basada en una metodología sobre los siguientes aspectos:

Análisis Preliminar: Se pretende analizar los requerimientos básicos del IERSE, definiendo el objetivo del sitio y la factibilidad de ello; con el fin de establecer el alcance de acuerdo al plazo establecido, por medio de entrevistas y reuniones.

Diseño: Se detallara a máximo nivel y exactitud conjuntamente con el equipo del IERSE y el diseñador evaluando todos los aspectos con lo que va a contar la plataforma digital como: colores, textos, dibujos, graficas, tipografía, tamaños.

Codificación: Se prepara la base de datos Postgres, así como la codificación del programa, Script, Apis. Por medio de la herramienta de desarrollo Macromedia Dreamweaver 8, realizando pruebas exhaustivas asegurando el correcto funcionamiento con la ciudadanía e n general con el objeto de corregir de manera inmediata.

Puesta en Funcionamiento: Se habilitará el sitio web en la IDE (Infraestructura de Datos Espaciales) de la Universidad del Azuay.

2.8 Alcances y resultados esperados:

Establecer el medio de comunicación para el suministro automático de la información generada por la estación de monitoreo continuo de variables atmosféricas.

Generar los procedimientos y técnicas para la parametrización y transformación las unidades de medida de la información capturadas de la estación, información que en este

punto se encuentra preparadas para su procesamiento. Se elaborará las rutinas y métodos para la generación de índices y su correspondencia a los rangos de peligro establecidos por la EPA y el TULSMA.

Se elaborará y publicará la plataforma en la IDE (Infraestructura de Datos Espaciales) de la Universidad del Azuay, cumpliendo con los estándares internacionales.

2.9 Supuestos y riesgos:

- No cuente con la colaboración del Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE).
- Proceso de adquisición de los datos por la estación de monitoreo de la EMOV-EP no esté dentro de los plazos establecidos.
- Diseño del visor no esté de acuerdo a los requerimientos.
- Herramienta de desarrollo no permita representar la información requerida.

2.10 Esquema tentativo:

1. Introducción
2. Indagación exploratoria de sistemas de variables atmosféricas.
3. Diseño y estructura de la plataforma web.
4. Desarrollo de la plataforma web.
5. Implementación de la plataforma web.
6. Conclusiones
7. Bibliografía

2.12 Referencias:

Alcaldia de Cuenca: (2014): Red de Monitoreo EMOV EP: *Informe de La Calidad del aire, año 2014.*

Querol, X. (10.De.2008). *Scielo.España*. Obtenido.De.Scielo.España:
[Http://Scielo.Isciii.Es/Pdf/Resp/V82n5/Editorial_1.Pdf](http://Scielo.Isciii.Es/Pdf/Resp/V82n5/Editorial_1.Pdf)

Abrutzky, R., Dawidowski, L., Murgida, A., & Natenzon, C. E. (2014). Contaminación del aire en la ciudad autónoma de Buenos Aires: El riesgo de hoy o el cambio climático futuro, una falsa opción. *Ciênc. Saúde Coletiva*, 19(9), 3763-3773.

Botts, M., Percivall, G., Reed, C., & Davidson, J. (2006): OGC® sensor web enablement: Overview and high level architecture. In *GeoSensor networks* (pp. 175-190). Springer Berlin Heidelberg.

Espinoza Molina, A. (2011). Diseño de un sistema de Información Geográfica para La red de Monitoreo Ambiental de la Ciudad de Cuenca.

Sellers, C., Ballari, D., Pacheco, D., & Delgado, O. (2013). Publicación De Contaminantes Atmosféricos De La Estación De Monitoreo De La Ciudad De Cuenca; Utilizando Servicios Estándares Ogc. *Instrucciones Generales Para Los Autores*, 10, 72-86.

SECUNDARIA, T. U. D. L. A. DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR (TULSMA)
Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición de Desechos Sólidos no Peligrosos. Emitido mediante decreto Ejecutivo, (3516).

Epa. (2016). *United States Environmental Protection Agency*. Retrieved from United States Environmental Protection Agency: <https://www3.epa.gov/>

OGC. (2016): *Standards and Supporting Documents*. Retrieved from Standards and Supporting Documents: <http://www.opengeospatial.org/standards/sos>

2.13 Firma de responsabilidad

Alexandra Cabrera

2.14 Firma de responsabilidad



2.15 Fecha de entrega: 30/05/2016