

JEFATURA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

Título del proyecto

Uso de sensores de bajo costo para desarrollar herramientas en la gestión de la calidad del aire de la ciudad de Cuenca

Carrera(s): INGENIERÍA AMBIENTAL, INGENIERÍA CIVIL,

Director del Proyecto:

CARLOS MATOVELLE BUSTOS; 0302013578; INGENIERÍA AMBIENTAL; UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN; MATRIZ

Colaboradores del Proyecto

Diana Macancela; 0102700903; Ingeniería Ambiental; Ingeniería Industria y Construcción; Sede Cuenca

Código de Proyecto: PICCIITT19-57

Cuenca, julio de 2021

Versión 2.0

TABLA DE CONTENIDOS

A. DATOS GENERALES DEL PROYECTO	3
1. TÍTULO.....	3
2. CARRERAS	3
3. MATRIZ, SEDE O EXTENSIÓN	3
B. INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO	3
4. PERSONAL DEL PROYECTO – DIRECTOR DE L PROYECYO	3
4.1. <i>Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:</i>	3
4.2. <i>Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.</i>	3
4.3. <i>Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:</i>	4
5. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA.....	4
5.1. <i>Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:</i>	4
5.2. <i>Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.</i>	4
5.3. <i>Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:</i>	4
6. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES EXTERNOS	5
6.1. <i>Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:</i>	5
6.2. <i>Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.</i>	5
6.3. <i>Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:</i>	5
C. ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO.....	5
7. PERSONAL DEL PROYECTO – ESTUDIANTES.....	5
D. CENTRO DE INVESTIGACIÓN INVOLUCRADOS Y BENEFICIARIOS.....	6
8. CENTRO Y GRUPO DE INVESTIGACIÓN	6
9. LÍNEA Y ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL.....	6
10. CAMPO, DISCIPLINA Y SUBDISCIPLINA UNESCO	6
11. PROGRAMA:	6
12. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	6
13. FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO	7
14. REQUIERE AVAL Y/O PERMISO DEL COMITÉ DE BIOÉTICA Y EL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA.....	7
15. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	7
E. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	7
16. RESUMEN DEL PROYECTO	7
17. PALBARAS CLAVES	8
18. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	8
19. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	8
20. OBJETIVOS	9
21. ESPECÍFICOS.....	10
22. MARCO METODOLÓGICO.....	10
F. IMPACTO DEL PROYECTO	11
23. CONSIDERACIONES ÉTICAS DE LA PROPUESTA.....	12
24. RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO	12
25. TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS	12
26. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12
G. ANEXOS.....	15

A. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

1. TÍTULO
Uso de sensores de bajo costo para desarrollar herramientas en la gestión de la calidad del aire de la ciudad de Cuenca
2. CARRERAS
INGENIERÍA AMBIENTAL, INGENIERÍA CIVIL,
3. MATRIZ, SEDE O EXTENSIÓN
MATRIZ CUENCA

B. INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

4. PERSONAL DEL PROYECTO – DIRECTOR DE L PROYECYO	
Función en el proyecto	DIRECTOR DEL PROYECTO
Nombre, Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión	
CARLOS MATOVELLE BUSTOS; 0302013578; INGENIERÍA AMBIENTAL; UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN; MATRIZ	
4.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:	
Título del artículo,; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil	
Support Vector Regression to Downscaling Climate Big Data: An Application for Precipitation and Temperature Future Projection Assessment; Advances in Intelligent Systems and Computing; ; 1099; 2020;https://doi.org/10.1007/978-3-030-35740-5_13;Q3	
Análisis comparativo de las características morfológicas de Sistemas Hidrográficos de la vertiente del Pacífico, Ecuador; Revista Investigación de la Universidad Autónoma de Aguas Calientes; 1665-4412; 2	
DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR WATER RESOURCE MANAGEMENT APPLIED TO ANDEAN SUPPLY MICROBASINS; WIT Transactions on Ecology and the Environment; 1743-3541; 239; 2019; doi:10.2495/WS190061; Q4.	
4.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.	
Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)	

USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL CON MÁQUINAS DE APRENDIZAJE EN LA CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS EXPERTOS PREDICTIVOS APLICADOS AL ÁMBITO EDUCATIVO EN LA INGENIERÍA PUBLICADO; Editorial DYKINSON; 2020; (SI)

¿Cómo responden las cuencas andinas ante el cambio climático?; Libros UNAM; 2020; (SI)

4.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

Caracterización hidrológica de las quebradas que forman la microcuenca del río Tabacay. Azogues – Ecuador; Universidad Católica de Cuenca; 40000; marzo 2018; enero 2021

ESTUDIO MORFOMÉTRICO E HIDROQUÍMICO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS QUE FORMAN LA VERTIENTE DEL ECUADOR; Universidad Católica de Cuenca; 37000; marzo 2018; enero 2021

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS EN EL CAMBIO DEL USO DEL SUELO Y DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS AMENAZAS A INUNDACIONES Y SEQUÍAS EN LA CUENCA DEL RÍO TOMBAMBA; CEDIA-UCAUCE; 110000; Septiembre 2018; Noviembre 2019

5. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Función en el proyecto	COLABORADORES UCACUE
------------------------	----------------------

Nombre, Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión

Diana Macancela; 0102700903; Ingeniería Ambiental; Ingeniería Industria y Construcción; Sede Cuenca

5.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:

Título del artículo; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil

5.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.

Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)

5.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

6. PERSONAL DEL PROYECTO - COLABORADORES EXTERNOS

Función en el proyecto	COLABORADORES EXTERNOS
------------------------	------------------------

Nombre, Institución

Danilo Mejía; Universidad de Cuenca

6.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:

Título del artículo,; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil

Danilo Mejía M Spatiotemporal variation of forest cover and its relation to air quality in urban Andean socio-ecological systems; Urban Forestry & Urban Greening; Volume 59, April 2021, 127008; <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127008>; Q1

Danielo Mejía; Drastic improvements in air quality in Ecuador during the COVID-19 outbreak; Aerosol Drivers, Impacts and Mitigation; Volume 20, Issue 8, August 2020; <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.05.0254>; Q1

6.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.

Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)

Danilo Mejía M Spatiotemporal variation of forest cover and its relation to air quality in urban Andean socio-ecological systems; Urban Forestry & Urban Greening; Volume 59, April 2021, 127008; <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127008>; Q1

Danielo Mejía; Drastic improvements in air quality in Ecuador during the COVID-19 outbreak; Aerosol Drivers, Impacts and Mitigation; Volume 20, Issue 8, August 2020; <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.05.0254>; Q1

6.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

Danilo Mejía; Resiliencia ambiental en sistemas socio-ecológicos urbanos de ciudades neo-tropicales, casos Quito y Guayaquil; Universidad de Cuenca 45000 04/01/2021 En ejecución.

C. ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

7. PERSONAL DEL PROYECTO - ESTUDIANTES

Función en el proyecto	ESTUDIANTES COLABORADORES EN EL PROYECTO
------------------------	--

Nombre; Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión

Raúl Solorzano Delgado; 0104621057; Ing. Ambiental; Sede Cuenca

Jorge Andrés Moreno; 0106579568; Ing. Ambiental; Sede Cuenca

Freddy Ochoa Guevara; 0106554009; Ing. Ambiental; Sede Cuenca

D. CENTRO DE INVESTIGACIÓN INVOLUCRADOS Y BENEFICIARIOS

8. CENTRO Y GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Centro de Investigación CIITT

Grupo de Investigación INGENIERÍA AMBIENTAL, INGENIERÍA CIVIL,

9. LÍNEA Y ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL

Para información sobre las líneas de investigación dirigirse al enlace [Líneas y Ámbitos de Investigación Institucionales](#),

Línea de Investigación: Territorios, Naturalezas y Tecnología

Ámbito de Investigación: Política y gestión ambiental

10. CAMPO, DISCIPLINA Y SUBDISCIPLINA UNESCO

Código del campo y de la disciplina según UNESCO en el enlace [SKOS](#)

Campo	33	Disciplina	8	Sub disciplina	1
-------	----	------------	---	----------------	---

11. PROGRAMA:

En caso de que el proyecto sea parte de un programa.

12. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Duración del proyecto en meses

12

13. FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO

Monto total del financiamiento proyecto	\$17,689.55
---	-------------

14. REQUIERE AVAL Y/O PERMISO DEL COMITÉ DE BIOÉTICA Y EL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA

NO

Justificación:

15. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

La población de la ciudad de Cuenca, las Universidades participantes (UCACUE y Cuenca), los investigadores en contaminación atmosférica a nivel nacional. 500.000

Todos los que desarrollen nuevas investigaciones en contaminación atmosférica. 50

E. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

16. RESUMEN DEL PROYECTO

La contaminación del aire es un problema de salud ambiental importante que afecta a todo el planeta. En una escala global, se emiten a la atmósfera grandes cantidades de gases y partículas potencialmente nocivas, que tienen afectación directa al medio ambiente y por ende a la calidad de vida del ser humano, sin embargo, se ha descuidado las variables sociales, considerando que la contaminación ha generado distintos efectos difíciles de medir en la calidad de vida.

Por otro lado, la Empresa de Movilidad Tránsito y Transporte EMOV EP cuenta con una "Red de Monitoreo de la Calidad del Aire" que inició sus actividades en diciembre del 2007, que está conformada por 19 puntos de vigilancia distribuidos estratégicamente en diferentes sitios de la ciudad, que desde el 2012 se encuentra funcionando la estación automática de calidad del aire ubicada en la terraza del edificio de la Alcaldía de Cuenca registrando en tiempo real la concentración de los contaminantes (CO, NO₂, SO₂, PM_{2.5} y O₃).

Por otro lado, en el desarrollo del proyecto se construirá 9 estaciones de bajo costo que sean capaces de transmitir los datos a tiempo real en una plataforma web, donde se visualizará los valores de: Dióxido de Azufre (SO₄), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Ruido, Material Particulado menor a 10 micras (MP₁₀), Material Particulado menor a 2.5 micras (MP_{2.5}), Temperatura y Humedad Relativa. Una vez construidos los equipos se armará una Microred de monitoreo de aire, la cual almacenará datos.

17. PALBARAS CLAVES

Cuenca, Aire, estaciones, contaminación, monitoreo, continuo

18. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La red de monitoreo de aire de la ciudad de Cuenca opera desde el año 2008 y está dedicada a la caracterización de los diferentes gases contaminantes que se encuentran dispersos en la ciudad (EMOV 2018). Está compuesta por 20 estaciones de monitoreo, incluyendo una estación automática que registra concentraciones de Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Ozono (O₃) y Material Particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}) en tiempo real. Además, poseen otra unidad automática con un sensor de PM_{2.5} en el sector del parque industrial y una subred de MP₁₀ ubicada en las estaciones automáticas con una obtención de muestras cada 24 horas con un intervalo de toma de datos cada 6 días. Finalmente, la Empresa Municipal de Movilidad Tránsito y Transporte (EMOV EP) cuenta con 19 estaciones de monitoreo pasivo que mide concentraciones de NO₂ y O₃ en un tiempo de exposición de 10 a 12 días y concentraciones de SO₂ en muestras expuestas durante 30 días.

Existen inconvenientes técnicos con la disposición actual de los equipos de medición. En primer lugar, la posición y altura (a 15 metros) en la que están dispuestos los equipos de PM₁₀ y PM_{2.5} incumplen la norma recomendada por la EPA (2007) donde indica que los equipos de monitoreo del aire no deberían sobrepasar los 15 metros de altura su colocación, sobre todo para la correcta lectura del dato. En segundo lugar, la temporalidad horaria es un parámetro que produce variabilidad en la calidad del aire (Burra et al., 2009; Cakmak et al., 2016). En tercer lugar, las concentraciones de SO₂ y NO₂ proporcionados por la EMOV son mensuales siendo de lento procesamiento. Estos tres elementos conducen a un error directo en la estimación de los efectos sobre todo de las actividades humanas (Jerves y Armijos, 2016).

Se pretende estimar variables como: Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Ruido, MP_{2.5}, MP₁₀, Temperatura y Humedad Relativa, en horas pico y determinar un índice de calidad.

Esta propuesta tiene que ver con el empleo científico de métodos de bajo costo para obtener información espacial de variables de calidad del aire de alta resolución, pues se ha demostrado en otros estudios que el uso de estaciones de bajo costo ayuda a mapear el comportamiento de la distribución de la contaminación del aire en tiempo real (Schneider et al., 2017).

19. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

La contaminación del aire es un problema de salud ambiental importante que afecta a todo el planeta. En una escala global, se emiten a la atmósfera grandes cantidades de gases y partículas potencialmente nocivas, que tienen afectación directa al medio ambiente y por ende a la calidad de vida del ser humano y a las aspiraciones globales de desarrollo sostenible (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2016).

Existe un ligero avance en la elaboración de planes de acción para mejorar la calidad del aire en zonas urbanas, especialmente en países desarrollados, no obstante, el 25 % de la población mundial, aún está expuesta a altas concentraciones de compuestos gaseosos y partículas en el aire que respiran (Caminos, et al., 2011). Además, la tasa de crecimiento de la población continúa en aumento y estudios recientes plantean que se duplicará a mediados del siglo XXI con respecto al año 2000 (Schoijet, 2008).

La generación de altos índices de contaminantes atmosféricos, presentes en las urbes, ha generado hoy en día, un tema de preocupación tanto a nivel nacional como mundial; estudios mencionan que un adulto promedio inhala aproximadamente 13.5 kg de aire diariamente (García, Combarro, Del Coz Díaz y Montañés, 2013), por lo que asocian principalmente la presencia de contaminantes atmosféricos con enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Además, varios estudios epidemiológicos han reportado asociaciones positivas entre alta temperatura y mortalidad en muchos países (Gasparrini, et al., 2015; Lee, et al, 2017; O'neill, et al, 2003).

No obstante, diversos estudios evidencian una alta preocupación por los datos físicos y químicos, sin embargo, se ha descuidado las variables sociales, considerando que la contaminación ha generado distintos efectos difíciles de medir en la calidad de vida del ser humano (Lezama, 2004). La preocupación en torno a la calidad del aire debe incluir variables socioeconómicas, tomando en cuenta que el comportamiento del ser humano es uno de los factores que condiciona la calidad del aire (Lezama, 2004); para abordar el tema de

contaminación, es necesario encontrar factores de correlación entre variables de calidad del aire con variables socioeconómicas (Bai, Jiang, Yang y Liu, 2019).

En tal sentido, el índice de calidad del aire (ICA) se considera un indicador global de la calidad del aire que representa un indicador orientativo para el público en general y en particular a las autoridades empresariales y de gestión ambiental. Los especialistas deben tener en cuenta otros factores de mayor detalle al momento de estudiar los niveles de contaminación (Cuesta, Wallo y Collazo, 2006).

La ciudad de Cuenca ha alcanzado un avance industrial impresionante en los últimos años y el parque automotor se ha incrementado, aumentando las emisiones atmosféricas causadas por las fuentes fijas del parque industrial, que son emitidas de forma continua a través de sus chimeneas y por las fuentes móviles, generando contaminantes que influyen directamente con el calentamiento global, afecciones en la salud, sequías, entre otros (Moreno, 2010).

En el parque industrial de la ciudad de Cuenca, se encuentran numerosas industrias tales como la industria metalúrgica, plásticos, celulosa y papel, alimentos y bebidas, entre otras, evidenciándose en los últimos años, un aumento de la carga contaminante emitida a la atmósfera; resultando necesario la identificación del impacto asociado sobre el recurso aire ya que según el informe realizado por la Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV-EP) en el año 2012; las emisiones contabilizadas por actividades industriales corresponde al 15 % y el porcentaje restante (85 %), es causado por el tránsito vehicular; lo que indica que el parque industrial de Cuenca no es el causante principal de la contaminación atmosférica en la ciudad, pero es importante conocer su influencia en los niveles de inmisión en la ciudad (Espinoza y EMOV EP, 2012).

La concentración de los contaminantes del aire no depende solo de la cantidad de emisiones, sino también del transporte y transformación que los contaminantes sufren en la atmósfera, estos procesos se encuentran ligados a los factores meteorológicos que pueden potenciar o disminuir la concentración de los contaminantes del aire generando que estos varíen a lo largo del año (Onursal y Gautam, 1997). Estudios realizados de modelos de dispersión evidencian que el parque industrial afecta directamente las zonas más densamente pobladas de la ciudad (García y Espinoza, 2015).

Por otra parte, a pesar de que en la actualidad se cuenta con una “Red de Monitoreo de la Calidad del Aire” que inició sus actividades en diciembre del 2007, que está conformada por 19 puntos de vigilancia distribuidos estratégicamente en diferentes sitios de la ciudad, (Espinoza y EMOV, 2012) y que desde septiembre del 2012 se encuentra funcionando la estación automática de calidad del aire y de meteorología perteneciente a la Secretaría de Movilidad, Tránsito y Transporte del Municipio de Cuenca ubicada en la terraza del edificio del Municipio, registrando en tiempos reales la concentración de los contaminantes (CO, NO₂, SO₂, PM_{2.5} y O₃), se reporta un ICA para la ciudad sólo con los datos de esta red (<http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/sistemagrafico.php>); frente a esta carencia, con los avances tecnológicos que han permitido que las metodologías tradicionales sean paulatinamente reemplazadas o complementadas en diversa medida con técnicas basadas en sensores remotos y sensores in situ, modelos de análisis espacial y cartografía computarizada; estas técnicas presentan ventajas en lo referente a costos, menor tiempo invertido en la recolección de datos, información más precisa, mayor facilidad en la interpretación y predicción de fenómenos ambientales, además de ser un aporte importante para las instituciones encargadas de la toma de decisiones, ya que permite analizar el entorno de forma local o global (Chuvieco, 2007).

Para dimensionar el esfuerzo que se propone realizar con este proyecto, cabe señalar lo que el organismo especializado de la Comisión Europea señala sobre la utilización de sensores de bajo costo y porqué es importante estudiar su desempeño, en las condiciones locales: “los sensores de contaminación del aire de bajo costo están atrayendo cada vez más atención. Ofrecen monitoreo de la contaminación del aire a un costo menor que los métodos convencionales, en teoría hacen posible el monitoreo de la contaminación del aire en muchos más lugares”; sin embargo, se levanta la siguiente alerta: “un analizador de contaminación del aire dentro de una estación de monitoreo oficial utiliza un principio bien definido, estandarizado y selectivo.

Investigaciones Schneider et al. (2017) y Miskell et al., (2017) demuestran que el uso de sensores de bajo costo pueden ayudar a mejorar la resolución de los datos con el cual ayuda a mostrar la distribución de la contaminación, además han demostrado que se ha identificado altas concentraciones realizando análisis de series temporales.

20. OBJETIVOS

En vista de la importancia del manejo adecuado de la calidad del aire de la ciudad de Cuenca, particularmente en el área del centro histórico, el objetivo principal de este estudio es aplicar métodos para la determinación

de la calidad del aire usando equipos de bajo costo en tiempo real con información que servirá como insumo fundamental para conocer el efecto sobre las actividades socioeconómicas en la ciudad de Cuenca.

21. ESPECÍFICOS

(i) Conformar una microred de monitoreo de calidad del aire a microred empleando sensores de bajo costo para esto se utilizará criterios territoriales para la selección y ubicación de las estaciones, además que estas suministrarán información de contaminación por vía remota. El indicador para este objetivo es la base de datos y geodatabase de las capas de criterio para la selección de sitios.

(ii) Usar información proveniente de sensores de bajo costo para captación de gases contaminantes con la capacidad de transmisión remota, así como levantada en campo con la intención por un lado identificar las fuentes principales de contaminación y, por otro lado, derivar una metodología que sirva para estimar un índice de calidad del aire en el centro histórico). El indicador es la instalación de una Microred de monitoreo de calidad del aire capaz de mostrar la calidad del aire a tiempo real. Para esto se mostrará en un visor web la geolocalización de los sensores con su actualización cada 5 minutos.

(iii) Analizar los datos obtenidos por las estaciones de monitoreo de bajo costo y relacionar con estaciones de monitoreo certificados, de tal manera que se establezca una validación.

22. MARCO METODOLÓGICO

Act.=Actividades.

Act. 1. Selección de área de calidad del aire

Con la información que se levantará en campo (Act.3) más criterios como, número de vehículos que circulan el centro histórico, frecuencia de buses, estudios anteriores relacionados a calidad del aire, se determinará el área de estudio, para esto se cruzaran estas capas geográficas en un Sistema de Información Geográfica el cual nos mostrará las manzanas que tengan una homogeneidad de variables.

Act.2 Recopilación y revisión de bibliografía existente

Esta actividad es muy relevante para el éxito del proyecto propuesto pues también servirá para determinar el área de estudio, el mismo será ejecutado no solo en el contexto de esta actividad, sino a lo largo de toda la investigación.

Act.3 Construcción de equipos de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire e implementación de una Microred

Usando la Normativa nacional, es decir, gases que repercuten a la salud humana se construirá 18 equipos capaces de captar concentraciones de Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), PM_{2.5}, PM₁₀, Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Temperatura y Humedad relativa, para esto se aplicará los conocimientos adquiridos en el Proyecto "MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA A TRAVÉS DE SENSORES REMOTOS EN EL PARQUE INDUSTRIAL DE CUENCA" suscrito con el GAD de Cuenca, estos equipos serán construidos por los investigadores del proyecto que estará compuesto por dos partes, el primero los sensores que serán los que capten las concentraciones y el segundo por un Datalogger que será capaz de captar el dato enviado por el sensor que mide la concentración, almacenarlo y enviarlo a la plataforma web.

Para la validar la información proveniente de los sensores de bajo costo se usará equipos certificados para cada componente de esta manera se calibrará los equipos disminuyendo el error al momento de la captación del dato.

Act. 3.1 Implementación de la red de monitoreo en el centro histórico.

Con la información levantada en campo más criterios como, número de vehículos que circulan el centro histórico, frecuencia de buses, estudios anteriores, variables descritas en la Act. 3., de esta manera se determinará el área de estudio y a continuación diseñará una red de monitoreo capaz de determinar un índice de calidad del aire en tiempo real con temporalidad horaria.

Act. 3.2 Creación de Sistema informático Web para la visualización de datos de calidad del aire

- Análisis de problemática: Investigación sobre el proyecto, familiarización con los temas a tratar y terminología.
- Levantamiento de requerimientos: Análisis de documentación y bibliografía utilizada para el proyecto, identificación de Stakeholders, entrevistas con involucrados, establecimiento de objetivos y alcance del sistema.
- Definición de solución, tecnologías y herramientas informáticas a utilizar: Análisis de requerimientos, establecimiento de solución apropiada, comparación de posibles tecnologías, elección de tecnologías a utilizar.
- Análisis de requerimientos no funcionales: Transaccionalidad, concurrencia, procesamiento, seguridad.
- Diseño del portal web: Análisis de usabilidad, creación de template.
- Creación de base de datos: Análisis de datos a utilizar, normalización de base de datos, creación de base de datos.
- Implementación de sistema web: Elección de metodología de desarrollo, desarrollo de módulos, integración de módulos.
- Ingreso de Información a Sistema web: Datos obtenidos serán ingresados en el sistema para inicio de pruebas del sistema.
- Pruebas de funcionalidad del sistema: Validación de procesos realizados, peticiones solicitadas y respuestas obtenidas, reparación de posibles errores, validación final.
- Para la Publicación de sistema web en recursos se solicitará un servidor a CEDIA: Subir sistema desarrollado en recursos proporcionados por CEDIA, pruebas de funcionamiento, pruebas de estrés.

Act. 3.3 Obtención de índice de calidad del aire

Esta actividad va muy ligada a las anteriores y no es puntual, sino que se aplicará en varios pasajes de la investigación, para la obtención del índice de calidad del aire en el área de estudio se aplicará el algoritmo utilizado el de los Pollutant Standards Index (PSI). basado en el CFR40 parte 58 de EEUU, que se detalla a continuación:

Donde, I_p = Índice para el contaminante, C_p = Redondeo de la concentración del contaminante, $BPHI$ = Punto de quiebre \geq que C_p , $BPLO$ = Punto de quiebre \leq que C_p , IHI = Valor correspondiente del PSI para $BPHI$, ILO = Valor correspondiente del PSI para $BPLO$.

Act. 4. Tratamiento de la información disponible de los puntos de monitoreo

Se procesará la información disponible para corregir potenciales incongruencias y para que esté disponible con el formato digital adecuado para el estudio.

Act. 4.1 Socialización de resultados para la gestión adecuada de la calidad del aire en Cuenca

Finalmente, con los resultados obtenidos se socializarán con las autoridades competentes para que estos datos sirvan para generar mejores políticas públicas con respecto a la calidad del aire.

Act. 4.2. Preparación de los informes del proyecto y de manuscritos científicos

Se elaborarán informes de avance y final, así como, al menos dos manuscritos científicos para enviarse a revistas reconocidas a nivel mundial.

F. IMPACTO DEL PROYECTO

23. CONSIDERACIONES ÉTICAS DE LA PROPUESTA

- Se proveerá al GAD de Cuenca, GAD del Azuay, Ministerio del Ambiente, Ministerio de Salud y EMOV de información científica, la misma que podría aportar de manera inmediata y decidida a sus planes de gestión de la calidad del aire la cual repercutirá en la política pública ambiental.
- El beneficio también es hacia la sociedad pues, esta información estaría abierta al público para que conozca sobre el entorno en el que vive.
- Microred de sensores de bajo costo calidad del aire a nivel de caminabilidad del peatón con una temporalidad horaria, pues esta información servirá para tener un mejor conocimiento sobre el comportamiento de los habitantes que trabajan y viven en el centro histórico de Cuenca bajo la exposición de gases contaminantes en sus actividades económicas; y a futuro conocer el efecto en la salud en Cuenca. Siendo la catapulta para una serie de investigaciones relacionadas con la calidad del aire.

24. RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO

El proyecto pretende contribuir a la aplicación de métodos para la determinación de la calidad del aire usando equipos de bajo costo en tiempo real con información que servirá como insumo fundamental para conocer el efecto sobre las actividades socioeconómicas en la ciudad de Cuenca.

Es un proyecto que se desarrollará entre las Universidades Católica de Cuenca, y Universidad de Cuenca. El estudio de métodos para la determinación de la calidad de aire es un tema con amplio potencial de desarrollo.

Se prevé la formación de recursos humanos a nivel de pre grado dentro de la Universidad Católica de Cuenca, con el desarrollo de una tesis como mínimo, además de prácticas preprofesionales.

25. TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la investigación se divulgarán en entornos científicos y no científicos.

- Entornos científicos: Se presentarán los datos en congresos de relevancia para el área de estudio, se prepararon artículos científicos para revistas indexadas, dada la corta duración del proyecto, la publicación de los artículos se realizará en su mayor parte luego de culminada la investigación.
- Entornos no científicos: Para difundir el proyecto de manera Nacional, se solicitaría al Sistema Nacional de Información SNI, para que se añada al visor del proyecto como parte de la información de importancia para el Ecuador. Adicionalmente, material informativo será realizado para socializar el proyecto entre instituciones públicas, privadas y colectivos ciudadanos.

Publicaciones con ISSN planificadas en la propuesta

1	IEEE	SCOPUS CANADA	Q1	
1	Environment International	SCOPUS GERMANY	Q1	

26. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAI, Ling [et al]. Quantifying the spatial heterogeneity influences of natural and socioeconomic factors and their interactions on air pollution using the geographical detector method: A case study of the Yangtze River Economic Belt, China. *Journal of Cleaner Production*, 232: 692-704, septiembre 2019

BURRA, Tara A., RAHIM Moineddin, MOHAMMAD M. Agha, and RICHARD H. Glazier. "Social Disadvantage, Air Pollution, and Asthma Physician Visits in Toronto, Canada." *Environmental Research* 109 (5): 567-74. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2009.03.004>. marzo 2009

CAMINOS, Jorge Andrés, Claudio Enrique, Romina Ghirardi, Alexiana Graizaro, S. L. Rusillo, and Carlos Gustavo Pacheco. "Calidad de Aire en la Ciudad de Santa Fe." Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Editorial UTN 2011: 1-42.

CAKMAK, Sabit, Christopher Hebborn, Jasmine D. Cakmak, and Jennifer Vanos. "The Modifying Effect of Socioeconomic Status on the Relationship between Traffic, Air Pollution and Respiratory Health in Elementary Schoolchildren." *Journal of Environmental Management* 177: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.03.051>. Marzo 2016

CUESTA SANTOS, Osvaldo; WALLO VAZQUEZ, Antonio; COLLAZO ARANDA, Arnaldo. The use of air quality index (AQI) in environmental management; El uso del índice de calidad del aire (ICA) en la gestión ambiental. 2006

CHUVIECO, Emilio. Teledetección Ambiental, La Observación de la Tierra desde el espacio, 3ra. Edición. Madrid. Ariel Ciencia, 2007, vol. 586.

EMPRESA MUNICIPAL DE MOVILIDAD TRÁNSITO Y TRANSPORTE, EMOV EP. "Informe de Calidad de Aire Cuenca," 1-123. 2018

ESPINOZA, C., y EMOV EP. Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Cuenca. Informe de la Calidad del Aire de Cuenca, 2012.

IERSE Universidad del Azuay. Sistema de Monitoreo del Índice de Calidad del aire en Cuenca. <http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/sistemagrafico.php> [En línea]. 2019.

JERVES COBO, RUBEN, and Freddy Armijo Arcos. "Análisis y Revisión de La Red de Monitoreo de Calidad Del Aire de La Ciudad de Cuenca - Ecuador." *La Granja* 23 (1): 25-34. <https://doi.org/10.17163/lgr.n23.2016.03>. Marzo 2016.

LEE, Whan-Hee [et al]. An investigation on attributes of ambient temperature and diurnal temperature range on mortality in five East-Asian Countries. *Scientific reports*, 7 (1): 1-9, Agosto 2017.

LEZAMA, José Luis. La construcción social y política del medio ambiente. El Colegio de Mexico AC, 2004.

GARCÍA, N., y ESPINOZA, C. Dispersión de los contaminantes gaseosos generados en el sector productivo de Cuenca-Ecuador. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 6(11), 15-28. Septiembre 2015

GARCÍA, P. [et al]. A SVM-based regression model to study the air quality at local scale in Oviedo urban area (northern Spain): a case study. *Appl. Math. Comput.*, 219: 8923-8937, Mayo, 2013.

GASPARRINI, Antonio [et al]. Temporal variation in heat- mortality associations: a multi-country study. *Environmental Health Perspectives*, 123 (11): 1200-1207, Noviembre, 2015.

JRC/EC. Measuring air pollution with low-cost sensors. Thoughts on the quality of data measured by sensors. Joint Research Centre of the European Commission. europa.eu/jrc <https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/Brochure%20lower-cost%20sensors.pdf>. Mayo 2018.

MORENO, Milena Vega. Calidad del aire en América Latina vs combustibles alternativos. Ediciones Universidad de Salamanca. Agosto 2010

ONURSAL, Bekir, and Surhip P. AUTOR Gautam. Contaminación atmosférica por vehículos automotores, experiencias recogidas en siete centros urbanos de América Latina. No. 33534 caja (550). BANCO MUNDIAL. 1997.

Organización Mundial de la Salud (OMS). Calidad del aire y Salud. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). 2016

Plan de movilidad de Cuenca 2015-2025. Ilustre Municipalidad de Cuenca. [en línea]. <http://www.cuenca.gob.ec/?q=system/files/PMEP_CUENCA_2015_tomo_I.pdf> [2019,21 octubre]. 2015

SCHOIJET, Mauricio. Límites del crecimiento y cambio climático. Siglo XXI. 2008

300'NEILL, Marie [et al]. Modifiers of the temperature and mortality association in seven US cities. *American journal of epidemiology*, 157 (12): 1074-1082, Junio 2003.

YASSI, Annalee; KJELLSTRÖM, Tord. Capítulo 53 Riesgos ambientales para la salud. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). 2012.

G. ANEXOS

Planilla de anexos del Proyecto

```
[[  
"title":"ANEXOS","comment":"","size":"95.075","name":"00021_01_ANEXOS_Calidad%20de%20aire1.xlsx","file  
name":"fu_pjbuabjiu6mnuuf","ext":"xlsx" ]]
```

Número de Archivos: 1

Documentación adicional

Número de archivos: 0

DIRECTOR DEL PROYECTO: PICCIITT19-57
CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS



Ing. Javier Cabrera Mejía, PhD.
JEFE DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN