



**Facultad de Ciencias de la Administración**

**Escuela de Ingeniería de Sistemas y  
Telemática**

**LÓGICA BORROSA APLICADA AL  
MONITOREO DE CONTAMINANTES  
ATMOSFÉRICOS Y VARIABLES  
METEOROLÓGICAS: UNA REVISIÓN  
SISTEMÁTICA DE LITERATURA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del  
grado en Ingeniero de Sistemas y Telemática**

**Autor:**

Pedro Javier Orellana Ríos

**Director:**

Paúl Andrés Patiño León

**Cuenca – Ecuador**

**2023**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo lo dedico a mis padres por su cariño y apoyo incondicional, a mis abuelos y tíos que siempre me han cuidado, aconsejado y se han preocupado por mí, y a mis amigos por su motivación durante estos años de estudio.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad del Azuay y a los docentes de la escuela de Ingeniería de Sistemas y Telemática por compartir sus conocimientos y experiencias, de manera especial, al ingeniero Andrés Patiño por la confianza y apoyo brindado como director de este trabajo y a la ingeniera María Inés Acosta por su apoyo en la elaboración del protocolo.

## Índice de Contenidos

|   |      |
|---|------|
| Dedicatoria.....                                  | i    |
| Agradecimiento .....                              | ii   |
| Índice de Contenidos .....                        | iii  |
| Índice de Figuras .....                           | v    |
| Índice de Tablas.....                             | vi   |
| Índice de Anexos .....                            | vii  |
| Resumen y Abstract.....                           | viii |
| 1. Introducción.....                              | 1    |
| 1.1 Objetivo general.....                         | 1    |
| 1.2 Objetivos específicos .....                   | 1    |
| 2. Marco teórico.....                             | 2    |
| 2.1 Contaminantes.....                            | 2    |
| 2.2 Monóxido de carbono (CO).....                 | 2    |
| 2.3 Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) ..... | 2    |
| 2.4 Ozono troposférico (O <sub>3</sub> ) .....    | 2    |
| 2.5 Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) .....    | 2    |
| 2.6 Material particulado (PM).....                | 2    |
| 2.7 Variables meteorológicas.....                 | 2    |
| 2.8 Humedad relativa .....                        | 3    |
| 2.9 Temperatura .....                             | 3    |
| 2.10 Presión atmosférica.....                     | 3    |
| 2.11 Precipitaciones .....                        | 3    |
| 2.12 Radiación .....                              | 3    |
| 2.13 Velocidad del viento .....                   | 3    |
| 2.14 Calidad del aire .....                       | 3    |
| 2.15 Estándares de calidad del aire .....         | 3    |
| 2.16 Lógica borrosa .....                         | 4    |
| 2.17 Técnicas de lógica borrosa.....              | 4    |
| 3. Estado del arte .....                          | 4    |
| 4. Métodos .....                                  | 5    |
| 4.1 Etapa de planificación.....                   | 5    |
| 4.1.1 Pregunta de investigación.....              | 5    |
| 4.1.2 Estrategia de búsqueda.....                 | 5    |
| 4.1.3 Selección de estudios primarios .....       | 6    |
| 4.1.4 Evaluación de la calidad.....               | 6    |
| 4.1.5 Estrategia de extracción de datos .....     | 6    |

|  |    |
|--|----|
| 4.1.6 Métodos de síntesis .....  | 7  |
| 5. Resultados.....   | 8  |
| 5.1 Etapa de ejecución .....   | 8  |
| 5.1.1 Selección de estudios .....  | 8  |
| 5.1.2 Extracción de datos .....  | 8  |
| 5.2 Etapa de reporte de resultados .....   | 10 |
| 5.2.1 Contaminantes utilizados en el pronóstico de la calidad del aire.....  | 10 |
| 5.2.2 Variables meteorológicas usadas en el pronóstico de calidad del aire.....  | 11 |
| 5.2.3 Estándares utilizados en la evaluación de la calidad del aire.....   | 11 |
| 5.2.4 Contaminantes utilizados en la evaluación de la calidad del aire .....   | 12 |
| 5.2.5 Variables meteorológicas usadas en la evaluación de calidad del aire .....   | 12 |
| 5.2.6 Cantidad de estudios por año de publicación.....   | 13 |
| 6. Discusión .....   | 13 |
| 6.1 ¿Cuáles son las aplicaciones de la lógica borrosa en contaminantes y variables atmosféricas?.....                    | 13 |
| 6.2 ¿Cuáles son los estándares que se utilizan para evaluar las concentraciones de los contaminantes atmosféricos? ..... | 13 |
| 6.3 ¿Cuáles son los contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas que se analizan en la literatura? .....        | 13 |
| 6.4 ¿Cómo se aborda la investigación en los estudios relacionados con la lógica borrosa aplicada en contaminantes?.....  | 13 |
| 7. Conclusión.....   | 14 |
| 8. Referencias .....   | 14 |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Estudios obtenidos de cada biblioteca e indexador.....                     | 10 |
| Figura 2 Contaminantes utilizados en el pronóstico de la calidad del aire.....      | 10 |
| Figura 3 Variables meteorológicas usada en el pronóstico de calidad del aire .....  | 11 |
| Figura 4 Estándares utilizados en la evaluación de la calidad del aire.....         | 11 |
| Figura 5 Contaminantes utilizados en la evaluación de la calidad del aire .....     | 12 |
| Figura 6 Variables meteorológicas usadas en la evaluación de calidad del aire ..... | 12 |
| Figura 7 Cantidad de estudios por año .....   | 13 |

## Índice de Tablas

|  |   |
|--|---|
| Tabla 1 Cadena de búsqueda .....                     | 5 |
| Tabla 2 Preguntas para la evaluación de calidad..... | 6 |
| Tabla 3 Criterios de extracción de datos .....       | 7 |
| Tabla 4 Resultados de la extracción de datos .....   | 8 |

## **Índice de Anexos**

|  |    |
|--|----|
| Anexo 1 Matriz de revisión de literatura .....             | 17 |
| Anexo 2 Artículos obtenidos en la búsqueda automática..... | 22 |



### Resumen:

En el presente trabajo se desarrolló una revisión sistemática de literatura acerca de la aplicación de técnicas de lógica difusa en el monitoreo de contaminantes ambientales y variables meteorológicas, empleando el método propuesto por Kitchenham y Charters. Los artículos revisados fueron obtenidos a través de una búsqueda automática en cuatro bibliotecas digitales e indexadores; considerando los estudios desde el año 2017. En la extracción de información se identificaron dos actividades principales de monitoreo: pronóstico y evaluación de contaminantes. En la evaluación, la técnica predominante fue la de función de membresía, mientras que en el pronóstico se observó un uso significativo de ANFIS. Además, se determinó que el 34% de los estudios analizaban contaminantes junto con variables meteorológicas.

**Palabras clave:** calidad del aire, contaminantes atmosféricos, lógica borrosa, revisión sistemática de literatura, variables meteorológicas

### Abstract:

In this research, a systematic literature review was developed about the application of fuzzy logic techniques in the monitoring of environmental pollutants and meteorological variables by using the method proposed by Kitchenham and Charters. The articles reviewed were obtained through an automatic search in four digital libraries and indexers; considering studies since 2017. Two main monitoring activities were identified in the information extraction: pollutant forecasting and assessment. In assessment, the predominant technique was membership function, while in forecasting a significant use of ANFIS was observed. In addition, 34% of the studies were found to analyze pollutants together with meteorological variables.

**Keywords:** air pollutants, air quality, fuzzy logic, meteorological variables, systematic literature revision



Este certificado se encuentra en el repositorio digital de la Universidad del Azuay, para verificar su autenticidad escanee el código QR

Este certificado consta de: 1 página