

**PLATAFORMA WEB PARA EL MONITOREO Y PREDICCIÓN DEL  
ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE APLICANDO MINERÍA DE  
DATOS**



FUNDACIÓN  
UNIVERSITARIA  
DE POPAYÁN  
35 ANIVERSARIO

**NOMBRES:**

Leydi Yurani Insuasti  
Maribel Guerrero Plaza

**TESIS PARA PROYECTO DE GRADO**

**Director:** Ing. Edinson Fabián Vásquez

**Co-Directora:** Ing. Laura Orozco

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN**

**Ingeniería de Sistemas**

**Grupo de Investigación IMS**

**Semillero de Investigación: INNOVA**

**Semillero de Investigación: SMARTER**

**Popayán, marzo de 2023**

# TRABAJO DE GRADO

## PLATAFORMA WEB PARA EL MONITOREO Y PREDICCIÓN DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE APLICANDO MINERÍA DE DATOS

### Autores:

Leydi Yurani Insuasti  
Maribel Guerrero Plaza

**Director:** Ing. Edinson Fabián Vásquez

**Co-Directora:** Ing. Laura Orozco

Director: \_\_\_\_\_

Jurado 1: \_\_\_\_\_

Jurado 2: \_\_\_\_\_

Popayán, marzo de 2023

## **Dedicatoria**

### **Maribel Guerrero Plaza**

*Este proyecto está dedicado principalmente a Dios por ser el motor de mi vida y por ayudarme día a día con todos mis proyectos, a toda mi familia, en especial a mis padres por todo el esfuerzo, dedicación y confianza depositada en mí, por inculcarme valores y por enseñarme a jamás rendirme ante las adversidades, ¡mis logros siempre irán a nombre de ustedes! También a mis dos grandes amigas Liz y Leydi que desde inicio de carrera se convirtieron en una parte fundamental de esta grandiosa etapa, a todos los docentes que me transmitieron sus conocimientos en especial al Ing. Fabián, que con su paciencia y entrega lideró nuestra tesis y también a todos mis amigos y compañeros de trabajo, quienes estuvieron pendientes de mi carrera y me brindaron su ayuda.*

### **Leydi Yurani Insuasti**

*Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Quiero agradecer profundamente a mi esposo Daniel Sánchez, y a mi hijo José Luis. Me brindaron su apoyo constante, comprensión, tolerancia e infinita paciencia y cedieron su tiempo para que “Mamá estudie”, para permitir así llevar adelante un proyecto que pasó de ser una meta personal a ser un sueño más de familia. Por creer siempre en mí y decirme a diario que si podía lograrlo. Este logro también es de ustedes, me demostraron su gran amor. ¡Gracias! A ellos, mi eterno amor y gratitud. A mi madre por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida. A toda mi familia por estar siempre presentes. También se la dedico a mi abuela, desde el cielo eres esa luz que me daba fuerzas para continuar. A mis amigas, que gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino. Maribel Guerrero y Lizeth Castillo, sin ustedes no hubiera sido posible y no existiría esta amistad que tenemos, entre risas, bromas y enojos hemos culminado con éxito este gran proyecto, las quiero.*

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	4
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	7
<b>CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE</b> .....	10
2.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	10
2.1.1 Investigaciones nacionales.....	10
2.1.2 Investigaciones Internacionales .....	13
<b>CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO</b> .....	17
3.1 Minería de datos:.....	17
3.2 Internet de las cosas (IoT):.....	17
3.3 Plataforma web:.....	17
3.4 Índice de calidad del aire (ICA): .....	18
3.5 Metodología: design thinking [22] .....	20
3.6 Machine Learning: .....	20
3.7. Red neuronal:.....	20
<b>CAPÍTULO IV: REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE UNA PLATAFORMA WEB QUE PERMITA LA ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS PARA PRONOSTICAR LA CALIDAD DEL AIRE</b> .....	21
Características de los usuarios.....	21
Restricciones .....	21
Requerimientos funcionales: .....	22
Requerimientos No Funcionales.....	24
<b>CAPÍTULO V: PROTOTIPAR UN SISTEMA QUE PERMITA EVALUAR EL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA FACILITAR EL MONITOREO Y PREDICCIÓN.</b> .....	30
<b>CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLATAFORMA</b> .....	44
<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES</b> .....	46
<b>CAPÍTULO VIII: MEJORAS PROPUESTAS</b> .....	46
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	47

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Contaminación del aire en la ciudad de Popayán [6] .....	7
Ilustración 2: Data Mining 1 .....	17
Ilustración 3: Design thinking .....	20
Ilustración 4 ¿Conoce la calidad del aire? .....	26
Ilustración 5: Importancia de conocer el ICA .....	27
Ilustración 6: Acciones al conocer el ICA .....	27
Ilustración 7 Gustos por conocer el ICA en tiempo real .....	28
Ilustración 8: Le gustaría tener una plataforma que informe sobre la calidad del aire? 28	
Ilustración 9: Funciones consideradas para la plataforma .....	29
Ilustración 10 Arquitectura aplicación web .....	30
Ilustración 11: Prototipo M1 .....	31
Ilustración 12: Prototipo M2 .....	31
Ilustración 13: Página principal icapop .....	31
Ilustración 14: Modulo informativo icapop .....	32
Ilustración 15: Información ICA .....	32
Ilustración 16 Categoría favorable ICA .....	32
Ilustración 17 Recomendación para la Categoría Moderada ICA .....	33
Ilustración 18 Recomendación para la Categoría Regular ICA .....	33
Ilustración 19 Recomendación para la Categoría Mala ICA .....	33
Ilustración 20: Recomendación para la categoría Peligrosa ICA .....	34
Ilustración 21: Módulo informes .....	34
Ilustración 22: Archivo con valores PM10, organizado para pronóstico ICA .....	35
Ilustración 23: Set de datos .....	36
Ilustración 24: Visualización de datos .....	36
Ilustración 25: Cantidad de datos por mes .....	37
Ilustración 26 Esquema del proceso del pronóstico .....	37
Ilustración 27: Datos de entrada a la red neuronal .....	38
Ilustración 28: Red neuronal .....	39
Ilustración 29: Entrenamiento RNA .....	39
Ilustración 30: Resultados RNA .....	39
Ilustración 31: Validación .....	39
Ilustración 32: Validación Loss .....	40
Ilustración 33: Comportamiento de los datos reales frente a predicciones .....	40
Ilustración 34: Pronóstico primera semana de Diciembre .....	41
Ilustración 35: Modulo administrador .....	41
Ilustración 36: Diagrama BD .....	42
Ilustración 37: Estructura Backend .....	43
Ilustración 38: Calculadora en línea con resultados .....	44

## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que conozco el concepto de plagiar según la Real Académica de la lengua (“Copiar en lo sustancial obras ajenas, dándolas como propias.”)

Y certifico que el contenido de este documento es de mi autoría, no hay contenido que haya sido copiado directamente y al pie de la letra de ninguna fuente. En el caso de ideas, teorías, conceptos, resultados y otros contenidos tomados de otros autores se menciona explícitamente la fuente original, y sólo en unos pocos casos se han mantenido el mismo texto, colocándolo entre comillas.

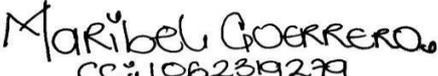
Reconozco las consecuencias académicas, jurídicas y económicas que conlleva el plagio.



LEYDI YURANI INSUASTI

---

Nombre del estudiante  
Leydi Yurani Insuasti  
CC. 1061737935



MARIBEL GUERRERO  
CC: 1062319279

---

Nombre del estudiante  
Maribel Guerrero Plaza  
CC.1062319279

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la contaminación atmosférica se ha catalogado como uno de los principales problemas ambientales y se le atribuye una gran cantidad de muertes en el mundo [1], puesto que la mala calidad del aire ha incrementado gravemente los problemas en la salud.

Según el reporte del Banco Mundial (BM) [2], la contaminación del aire es factor importante de muerte en el mundo puesto que hay varios casos de fallecimientos por causas de este problema afectando principalmente a niños pequeños y a ancianos, perjudicando a gran escala el sector económico. Así mismo, en una publicación de la OMS se da a conocer el riesgo ambiental para la salud y la importancia tan grande de buscar mecanismos para la disminución de los niveles de contaminación para que así los países puedan reducir la carga de morbilidad derivadas de enfermedades respiratorias [3].

La calidad del aire es un problema global que no se limita a una región específica. Los contaminantes no tienen fronteras geográficas y pueden extenderse a las zonas más inesperadas. En Colombia, numerosas ciudades y regiones han enfrentado problemas de contaminación atmosférica en los últimos años [4].

Las alertas emitidas por los sistemas de monitoreo de calidad del aire en las principales ciudades de Colombia demuestran la magnitud del problema. Aunque en la ciudad de Popayán aún no se evidencia la gravedad de la situación, se trata de un tema que, a mediano plazo, puede llegar a causar las mismas afecciones que en las grandes ciudades [5].



*Ilustración 1: Contaminación del aire en la ciudad de Popayán [6]*

En Popayán se está empezando a tomar medidas frente a la contaminación ocasionada por las emisiones de vehículos de combustión que sumado a la carencia de una malla vial adecuada generan trancones y el efecto contaminante es más visible generando problemas de salud en la población [7]. En varios puntos de la ciudad, una entidad gubernamental realiza monitoreos periódicos para medir la calidad del aire. Sin embargo, estos datos no son fácilmente accesibles para los usuarios. Aunque existen varios prototipos para medir y monitorear la calidad del aire, aún no se cuenta con una herramienta de software dirigida al ciudadano que pueda generar una predicción del Índice de Calidad del Aire (ICA) mediante minería de datos. Por esta razón abordamos el tema principal del trabajo y tomamos la necesidad de tener una plataforma para la comunidad en general que entregue datos y permita la información detallada de la calidad del aire; la presente investigación pretende resolver la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles deben ser los componentes de una plataforma web para presentar los resultados del monitoreo y la predicción del índice de la calidad del aire aplicando minería de datos?

A continuación, se presenta el objetivo de esta investigación:

**Objetivo General:** Desarrollar una plataforma web para el monitoreo y la predicción de la calidad del aire aplicando minería de datos.

### **Objetivos específicos**

1. Definir los requerimientos de diseño de una plataforma web que permita la adquisición y procesamiento de datos para pronosticar la calidad del aire.
2. Prototipar un sistema que permita evaluar el índice de la calidad del aire para facilitar el monitoreo y la predicción.
3. Evaluar el funcionamiento de la plataforma web mediante pruebas de rendimiento y predicción del modelo.

Este trabajo surgió de una tarea investigativa asignada dentro del programa de la carrera. En aquel momento, se construyó un prototipo utilizando un sensor mq135, y se presentó el proyecto en varias exposiciones universitarias dentro y fuera de la institución. Seguido a ello y ante la falta de datos sobre la calidad del aire en la ciudad, se decidió fortalecer el trabajo y convertirlo en una opción de grado. Al principio, se planeó trabajar con los datos obtenidos por un grupo de investigación enfocado en el desarrollo de la parte física y en la adquisición de datos, pero desafortunadamente el proyecto se interrumpió. Entonces, el equipo buscó la forma de obtener datos reales del ICA y recibió la colaboración del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), que es la máxima autoridad ambiental en el municipio de Cali, Valle del Cauca. Gracias a estos datos suministrados, se pudo realizar el análisis y vincularlo al software.

La estructura del presente trabajo se compone de los siguientes capítulos: El Capítulo II presenta el estado del arte de la investigación, mientras que el Marco Teórico se expone

en el Capítulo III. En el Capítulo IV se detalla todo lo realizado para cumplir el primer objetivo específico, que incluye los requerimientos de diseño de la plataforma web para la adquisición y procesamiento de datos con el fin de pronosticar la calidad del aire. en el capítulo V, estará todo el desarrollo del sistema el cual pertenece al segundo objetivo específico; seguido a ello se tendrá el tercer objetivo en el capítulo VI en el que se vinculó la evaluación del funcionamiento de la plataforma. Los resultados de la investigación son presentados en el capítulo VII y finalmente se exponen las respectivas conclusiones.

## **CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE**

### **2.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE**

A continuación, hay 5 artículos de carácter nacional y así mismo 5 de carácter internacional, de ellos se describen los diversos trabajos relacionados con esta investigación quienes han realizado aportes valiosos.

#### **2.1.1 Investigaciones nacionales**

Con respecto a lo anterior se da a conocer las investigaciones a nivel nacional que más se relacionan con el proyecto en cuestión.

En esta primera investigación [8] se adelantó un estudio que involucró mediciones de campo y el uso de modelos de emisión y dispersión de la concentración, esto con el objetivo de determinar los puntos más representativos donde se pueda medir en forma confiable la variación de la concentración de partículas suspendidas totales (PST). Es por esto que en la ciudad de Santa Marta un grupo de Investigación de control de la contaminación ambiental de la Universidad del Magdalena en colaboración con el Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental de la Universidad de Antioquia, desarrolló una investigación dirigida a determinar los niveles de concentración de material particulado en la ciudad de Santa Marta. Para ello, utilizaron 4 estaciones de monitoreo en el área urbana de la ciudad de Santa Marta, esto con el fin de medir la calidad del aire, lo realizan bajo una escala de 0,5 a 4,0 Km. Lo hicieron con mediciones de campo y uso de módulos de emisión y dispersión. Después de realizadas y tomadas las muestras necesarias, concluyeron que: Las determinaciones de campo mostraron que, en ninguno de los sitios de medición, se sobrepasa el límite de la norma diaria establecido por la normatividad aplicable ( $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Los datos arrojados por el modelo confirman la presencia de concentraciones altas en las cercanías a las vías más transitadas en la ciudad y en las cercanías del Terminal Marítimo. La metodología utilizada para realizar la investigación es una manera simple de aplicar y aunque inicialmente requiere algunas inversiones para poder realizar las mediciones de campo, el inventario de emisiones y la calibración y validación del modelo de dispersión, produce resultados confiables.

Según [9], el sistema permite a las partes interesadas establecer políticas de emisión e inmisión de contaminantes en el medio ambiente atmosférico, tanto de fuentes móviles como fijas. Con este fin, la Universidad de San Buenaventura seccional Cali, la Universidad Libre seccional Cali en Colombia y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) del Ministerio de Ciencia e Innovación de España en Madrid, España, han desarrollado un sistema de gestión de la calidad del aire para la ciudad de Cali. El sistema se basa en un enfoque científico que utiliza técnicas cualitativas y cuantitativas para establecer políticas de cuidado del medio ambiente en cuanto a la emisión e inmisión de contaminantes atmosféricos de fuentes móviles y fijas.

Esto lo hicieron empleando un método científico apoyado en técnicas cualitativas y cuantitativas.

Según el artículo en mención [10], usaron una metodología amplia que integra conceptos como la Producción más Limpia (P+L), técnicas de análisis como: la Evaluación del Riesgo Ambiental, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y técnicas de procedimiento y/o evaluación como la Evaluación del Impacto Ambiental. Estos elementos de gestión ambiental facilitan la identificación de la fuente de emisión, la evaluación, estimación y valoración del riesgo e impacto de las emisiones y la toma de decisiones, para minimizar las emisiones y reducir el riesgo e impacto ambiental y sanitario en el territorio. Después de realizar estudios y pruebas con este sistema implementado se pudo concluir que, las partes interesadas ya cuentan con una herramienta ágil y simplificada para realizar el manejo adecuado a la calidad del aire teniendo en cuenta los aspectos jurídicos, tecnológicos y organizacionales del área de estudio. La información recopilada se ha utilizado para planear normas de emisión e inmisión, medidas de control y acciones para reducir las emisiones atmosféricas en la ciudad de Cali. Para ello, se han diseñado indicadores de calidad del aire y factores de carga ambiental para fuentes móviles y fijas, que son esenciales para tomar decisiones políticas informadas.

Por otra parte, se llevarán a cabo medidas de control ya existentes en la ciudad, como la Revisión Técnico Mecánica y de Gases de fuentes móviles. Además, se han propuesto nuevas acciones para reducir el deterioro de la calidad del aire de la ciudad de Cali, como el cambio de combustible, la implementación de programas de producción limpia, tecnologías de control de emisiones, la reubicación de industrias y el cambio de combustibles en las fuentes fijas. Estas acciones se han articulado y propuesto para el sistema diseñado con el fin de mejorar la calidad del aire en la ciudad.

De acuerdo con la recopilación abordada en [11], estas mediciones se realizaron entre los años 2017 y 2018 y documentan la importancia de la aplicación de estaciones de monitoreo de calidad del aire, mostrando resultados en las diversas estaciones ubicadas en diferentes puntos de la ciudad de Bogotá. Las tomas de muestras a estudiar varían dependiendo de su ubicación y de los factores que pueden influir en los efectos contaminantes. Este estudio se realizó con la ayuda de la Corporación Autónoma de Boyacá (CORPOBOYACA), una entidad gubernamental que cuenta con estudios ya realizados, datos estadísticos y demás. Según el autor, este artículo se desarrolla teniendo en cuenta los análisis, los informes y las redes de monitoreo ya existentes en el país para obtener información exacta sobre la problemática ambiental que se puede apreciar en zonas y ciudades del país. Además, con este artículo se pretende contar con una herramienta técnica para las estaciones de monitoreo de calidad del aire, las cuales determinan la concentración de contaminantes.

Según la meteorología de cada estación, se determina de qué dirección provienen los vientos que traen esta contaminación y los factores que pueden aumentar o disminuir estas concentraciones de contaminantes. En total, se instalaron 7 zonas de monitoreo. Para ubicar estos centros de monitoreo ambiental, se tuvieron en cuenta estudios realizados anteriormente por otros entes, y también se consideraron factores visibles que indicaran algún tipo de contaminación en el aire o en el ambiente. En este artículo se concluyó que es de suma importancia una ubicación estratégica de estas estaciones de monitoreo. Para

el estudio, la ubicación de las estaciones debe tener en cuenta un punto de referencia fijo, de modo que el comportamiento de las gráficas sea similar y se pueda determinar un índice de contaminación moderado para hacerle seguimiento y reducirlo con el objetivo de controlar y mitigar las emisiones atmosféricas.

Durante el tercer trimestre del año 2018 (julio-septiembre), se observó que en algunas estaciones de monitoreo, especialmente en la de PM10, los índices de concentración de material particulado fueron los más bajos en comparación con otras estaciones. Sin embargo, es importante destacar que existe una limitación en la obtención de datos precisos y constantes sobre los contaminantes presentes en las zonas monitoreadas debido al mal manejo de los equipos o a una mala interpretación de los datos por parte de las autoridades ambientales. En relación a este tema, en un proyecto presentado se pretende resaltar la diferencia con respecto al artículo mencionado, ya que los datos recopilados e información serán tratados mediante técnicas de minería de datos para mejorar la precisión y calidad de los resultados obtenidos.

En el estudio e investigación realizaron un (1) monitoreo de calidad del aire, en dieciocho puntos, para el proyecto “Estructuración Técnica de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB)”, ubicado en el área urbana de Bogotá, departamento de Cundinamarca, para la empresa INGETEC S.A.” En este artículo se realiza un estudio con el fin de determinar los niveles de contaminación que existen en el medio ambiente en la zona donde se requiere realizar la primera línea del metro de Bogotá. Para ello la empresa encargada de hacer este estudio ha instalado 18 estaciones de monitoreo cerca de la zona de influencia en donde se realizará el proyecto, estas estaciones monitorean durante 18 días continuos la calidad del aire y las diferentes señales emitidas durante los días 01 de agosto hasta el 20 del mismo mes. Después de realizado este monitoreo la empresa encargada concluye que:

1. En todas las estaciones de calidad del aire se realizaron mediciones de contaminantes criterios: PM10, PM2.5, CO, NO2 y SO2.
2. Se presentan niveles de material particulado PM10, por debajo de los límites permisibles exigidos. Por lo antes expuesto *los puntos evaluados* cumplen con los límites permisibles según la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 del MAVDT.
3. Que sólo 4 de las 18 estaciones registradas durante los 18 días continuos registraron niveles elevados de PM10.

Se observó que el 72% (233 de 324 registros) de los valores estimados correspondieron a la banda de color verde que significa “Calidad del Aire Buena” y el 28% (91 de 324 registros) de los valores se halló en la banda de color amarillo que corresponde a “Calidad del Aire Moderada”. Esta representación indica que el riesgo actual en la salud de las poblaciones del área de estudio por efecto de la calidad del aire es bajo a nulo. En relación a las similitudes encontradas en esta investigación, se destaca el análisis de las concentraciones obtenidas en los monitoreos, así como la definición de los valores del ICA para cada uno de los sitios de medición. Por otro lado, en cuanto a las diferencias, cabe resaltar que en este estudio se aplicará la técnica de minería de datos para el análisis de la información recolectada.

Al analizar el trabajo investigativo realizado por [12], se determinó que a través del SIMAC y con el apoyo de CORPOCALDAS, se creó una bodega de datos ambientales a partir de la recopilación de datos de las estaciones de monitoreo. Posteriormente, se integró esta información a una plataforma de libre acceso conocida como CDIAC (Centro de Indicadores Ambientales de Caldas), con el objetivo de proporcionar acceso a la comunidad, la autoridad ambiental y diferentes grupos de investigación a la información ambiental del departamento. En esta plataforma se presentan datos históricos, gráficos temporales, estadísticas e índices de calidad de las variables monitoreadas, incluyendo emisiones atmosféricas, índices de calidad del aire, datos del parque automotor y estadísticas de la red de calidad del aire. CORPOCALDAS es la entidad encargada de la protección del medio ambiente en el departamento de Caldas y se encarga de supervisar y regular los índices contaminantes de la calidad del aire en esta zona del país. El SIMAC trabajó en conjunto con esta entidad para crear una bodega de datos ambientales y esta información fue integrada en CDIAC para su acceso libre. En cuanto a los elementos en común con nuestra investigación, se destaca la recopilación de datos para la toma de decisiones y la creación de una plataforma de acceso libre. Por otro lado, la principal diferencia es que, en nuestra investigación, la información será tratada mediante técnicas de minería de datos.

### **2.1.2 Investigaciones Internacionales**

Después de revisar las investigaciones anteriores, se tomaron en cuenta las realizadas a nivel internacional. En particular, se consideraron cinco estudios de diferentes países que son de gran relevancia para la investigación actual.

Según un artículo reciente (referenciado como [13]), la Red de Monitoreo de Cuenca tiene como objetivo principal determinar la calidad del aire en la ciudad y compararla con las normas y recomendaciones nacionales e internacionales. Para alcanzar este propósito, se estableció una red de monitoreo ambiental con el fin de crear programas que permitan mejorar la calidad del aire en la ciudad. Además, la comparación de los datos adquiridos es una parte importante del proyecto. Con el fin de recopilar datos precisos, se establecieron estaciones de monitoreo en diferentes lugares de la ciudad para que cada una arroje mediciones distintas. Es importante tener en cuenta que los vientos desempeñan un papel importante en la medición ya que influyen en la distribución y dispersión de los contaminantes.

La Red de Monitoreo de Cuenca logró instalar un total de 20 estaciones de monitoreo y con ellas se midieron los niveles de concentración de los contaminantes en el aire de la ciudad de Cuenca. Los contaminantes que se analizaron incluyen Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>), Material Particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>), partículas Sedimentables (PS), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y Monóxido de Carbono (CO) (Red de Monitoreo de Calidad del Aire, 2015). Con esto se logró concluir, que acorde al tamaño y población de la ciudad, la instalación de una sola estación automática en el centro de urbe, cumple la recomendación a escala urbana y con los requerimientos mínimos de monitoreo. Los monitores automáticos de CO no se recomiendan utilizar a escala urbana. La red de monitoreo a escala vecinal actual está

conformada por 20 puntos, 13 están específicamente ubicados para este propósito y 3 concebidos en la red a escala urbana, en donde también se hace medición a escala vecinal. Esta red usa principalmente métodos de difusión pasiva, los cuales proveen información en períodos largos de tiempo, ya sea entre 10 a 12 días para el caso de *NO2* y *O3*, y 30 días para el *SO2* y *PS*. Según los elementos encontrados buscaban determinar la calidad del aire en una ciudad, considerando los estándares nacionales e internacionales. Sin embargo, la diferencia es que se creará una plataforma web propia para analizar los datos recopilados mediante técnicas de minería de datos.

Como señala [14], la contaminación del aire representa un gran riesgo para la salud, incluyendo enfermedades cerebrovasculares y pulmonares. La mejora de la calidad del aire es beneficiosa tanto a corto como a largo plazo para la salud. La tarea de monitorear la calidad del aire es realizada por los Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire (SMCA). En México, existen 241 estaciones de monitoreo y muestreo equipadas con las herramientas necesarias para realizar mediciones y seguimientos de la calidad del aire. A partir de los datos obtenidos, se pueden crear y aplicar estrategias de control y medidas adecuadas para una gestión ambiental efectiva.

Con lo anterior es indispensable y necesario mejorar el desempeño de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire en México, así mismo ampliar su cobertura, pero también la difusión oportunamente de la información que generan estas estaciones y establecer estrategias de mejora de la calidad del aire en este país. De esta manera tratar de que haya una mejor calidad de aire, así como acceso a información confiable, oportuna y continúa sobre ésta, es una prioridad de salud pública y ambiental a la que toda la población tiene derecho. Otro aspecto a concluir es, que la mala calidad del aire, causada por la presencia de ozono y partículas suspendidas, no se limita únicamente a las grandes ciudades metropolitanas como el Valle de México, Guadalajara y Monterrey, como a menudo se piensa. Cada vez es más común que se presente en un mayor número de ciudades, incluyendo ciudades pequeñas y medianas en términos de población. En cuanto a las similitudes, es necesario medir y evaluar los niveles de contaminación en todas las ciudades afectadas, y tomar medidas apropiadas en relación al tipo y nivel de contaminación presente.

En este artículo investigativo, de acuerdo a [15] destaca que en el país de Argentina esta problemática es evidente: sólo la ciudad Buenos Aires, cuenta con una red de monitoreo de calidad de aire. Si bien la ciudad de Córdoba fue pionera en la medición de calidad del aire con una red de monitoreo móvil de CA en el año 1999 (registraba CO, NOx, SO2 y PM10), lamentablemente, y debido a diversas cuestiones de índole económico, dicho monitoreo fue suspendido y desde el año 2002 la ciudad no cuenta un sistema de medición continuo de calidad de aire. En la Provincia de Córdoba se han establecido estándares para la calidad del aire a través de la Resolución 105/2017, pero actualmente no existe una red provincial de monitoreo del aire. La falta de información sobre la calidad del aire se debe principalmente a los altos costos que se generan en la instalación y mantenimiento de estaciones de monitoreo, así como a algunas limitaciones en el muestreo y en las técnicas analíticas empleadas. Es evidente que se necesita un monitoreo preciso, de bajo

costo y que se mantenga en funcionamiento con el paso del tiempo. En Argentina, no había una red de monitoreo de la calidad del aire y de materiales contaminantes, por lo que se desarrolló un prototipo de bajo costo para solucionar este problema. A pesar de su bajo costo, los datos obtenidos con este sistema son confiables, ya que se utilizaron materiales económicos, pero de alta calidad. Además, preocupados por los altos índices de mortalidad a causa de enfermedades respiratorias causadas por la contaminación, se diseñó esta estación de monitoreo con el fin de cuantificar la concentración de estos contaminantes. La estación de monitoreo cuenta con seis sensores electroquímicos (CO, NO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>) y uno óptico (PM).

El proyecto también incluyó el desarrollo de una página web para visualizar los datos obtenidos por la estación de monitoreo. Es de suma importancia conocer la calidad del aire que respiramos, ya que esto puede afectar significativamente nuestra salud. Por otro lado, crear y desarrollar estaciones de monitoreo de bajo costo es crucial para países en el continente, donde las condiciones económicas suelen ser limitantes en el conocimiento y control de las emisiones de gases contaminantes del aire. Por lo tanto, un proyecto de este tipo tiene un gran potencial, no sólo para la toma de decisiones, sino también para formular soluciones que ayuden a controlar las emisiones de gases tóxicos y demás contaminantes del aire.

De acuerdo al estudio realizado [16] en la ciudad de Madrid – España tiene entre sus prioridades la mejora de la calidad del aire, así como la lucha contra el cambio climático. Ellos cuentan con una red de calidad del aire, con lo que hacen la medición de los niveles de concentración de contaminación. Los datos obtenidos permiten establecer la ruta a seguir y con ello realizar un plan de mejora en el caso de que los niveles hayan superado lo permitido por la OMS y que, debido a ello, esto afecte la calidad de vida del ser humano. Esta Red está constituida por un conjunto de estaciones automáticas fijas distribuidas por todo el territorio de la Comunidad de Madrid, así como un laboratorio móvil, que detectan y registran los siguientes contaminantes:

- Dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, Dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, Partículas en suspensión PM<sub>10</sub>, Partículas en suspensión PM<sub>2,5</sub>, Plomo (Pb), Monóxido de carbono CO, Benceno C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, Ozono O<sub>3</sub>, Arsénico, Cadmio, Níquel y Benzo(a) pireno

Se concluye que una de las medidas para mejorar la calidad del aire en el sector industrial es la "introducción de nuevas tecnologías para el control continuo de las emisiones de las instalaciones industriales con mayor impacto atmosférico". Entre los elementos en común encontrados, se encuentra la necesidad de medir los niveles de concentración de los principales contaminantes atmosféricos y ponerlos a disposición del público y de las distintas autoridades competentes. Este proyecto de investigación se diferencia del trabajo en mención, en que está implementado en todo el país y ha estado en funcionamiento desde el año 2013, mientras que el trabajo de grado en mención se llevará a cabo en una zona específica de la ciudad.

En los estudios previamente realizados y mencionados en [17], se ha determinado que la calidad del aire en Chile tiene un impacto significativo en la salud humana y la mortalidad. Un estudio específico identificó los factores que contribuyen a los altos índices de contaminación en el país. Una de las principales dificultades que enfrenta Chile en términos de calidad del aire es la falta de regulación de todos los contaminantes que más afectan a la población. El estudio identificó tres principales fuentes de contaminación del aire: el transporte, las actividades industriales y la calefacción residencial. Además, la actividad productiva también contribuye a la contaminación del aire en varias zonas del país. Por otra parte, las mediciones que actualmente realizan en calidad de aire presentan deficiencias técnicas que se pueden identificar y que permiten que no haya fiabilidad de la información obtenida. Con respecto a las diferencias, se trata de un proyecto a gran escala que ya cuenta con estadísticas sobre las muertes relacionadas con la contaminación ambiental en la población. Es crucial que se cierre la brecha de investigación, es decir, que se determine qué se hará con respecto a lo que ya se ha hecho.



plataformas permiten realizar todas estas tareas bajo el mismo entorno a través de internet, como se ha mencionado en [20].

### 3.4 Índice de calidad del aire (ICA):

Según el artículo 18 de Resolución 2254 de 2017 el ICA es un valor adimensional para reportar el estado de la calidad del aire según un código de colores al que están asociados unos efectos generales que deben ser tenidos en cuenta para reducir la exposición a altas concentraciones por parte de la población. Este índice también será utilizado para el pronóstico de la calidad del aire [21].

*TABLA 1: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ICA 1*

<b>Rango</b>	<b>Color</b>	<b>Estado de la calidad del aire</b>	<b>Efectos</b>
0-50	Verde	Buena	Supone un riesgo Bajo para la salud
51-100	Amarillo	Aceptable	Posibles síntomas respiratorios de grupos sensibles
101-150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles	Los grupos poblaciones sensibles pueden presentar efectos para la salud. <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Ozono Troposférico:</b> Las personas con enfermedades pulmonares, niños, adultos mayores y personas que realizan actividad física en espacios abiertos deben reducir la exposición a los contaminantes del aire.</li> <li>2. <b>Material Particulado:</b> Personas con enfermedad cardíaca o pulmonar, los adultos mayores y los niños se consideran que están en mayor riesgo.</li> </ol>

151-200	Rojo	Dañina para la salud	Todas las personas pueden empezar a experimentar quebrantos de salud.
201-300	Púrpura	Muy dañina para la salud	Estado de alerta que causan efectos más graves para la salud.
301-500	Marrón	Peligroso	Advertencia sanitaria. Efectos muy peligrosos sobre la salud sobre toda la población.

### Cálculo de la Calidad del Aire

$$ICA = \frac{I_{Alto} - I_{Bajo}}{PC_{Alto} - PC_{Bajo}} X (C_p - PC_{Bajo}) + I_{Bajo}$$

En donde:

ICA= Índice de la Calidad del Aire.

$C_p$ = Concentración para el contaminante p.

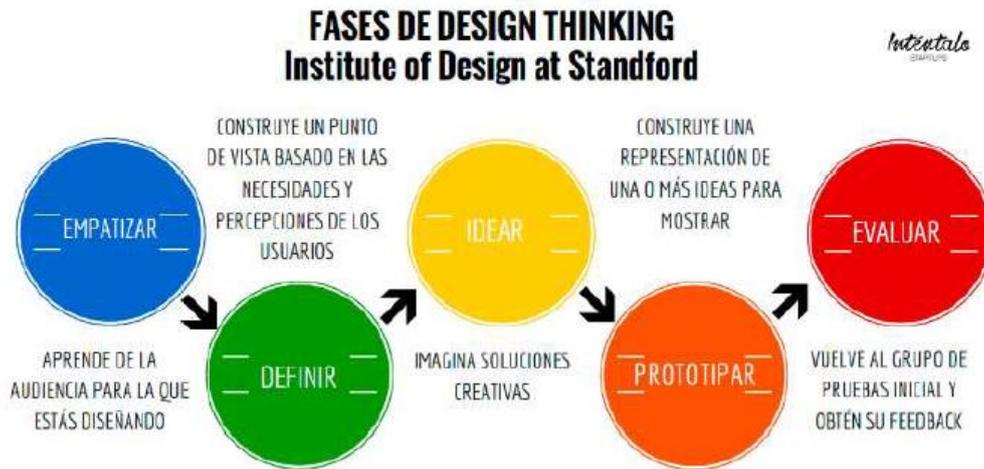
$PC_{Alto}$ = Punto de Corte mayor o igual a  $C_p$ .

$PC_{Bajo}$ =Punto de corte menor o igual a  $C_p$ .

$I_{Alto}$ = Valor del ICA correspondiente al  $PC_{Alto}$ .

$I_{Bajo}$ =Valor del ICA correspondiente al  $PC_{Bajo}$ .

### 3.5 Metodología: design thinking [22]



*Ilustración 3: Design thinking*

Esta metodología fomenta la innovación y hace un acercamiento entre el cliente y la tecnología llevando a una mejora continua y a trabajar en equipo basados en una buena comunicación para la satisfacción del usuario final y es por ello que fue seleccionada para desarrollar el proyecto el cual tiene una índole social enfocado en el medio ambiente.

### 3.6 Machine Learning:

Es la ciencia que hace que los ordenadores aprendan a partir de los datos. En vez de programar, paso a paso, cada solución específica para cada necesidad planteada, tal y como se realiza en el enfoque de la programación convencional, esta área está dedicada al desarrollo de algoritmos genéricos que puedan extraer patrones de diferentes tipos de datos [23].

### 3.7. Red neuronal:

Es un sistema de computación compuesto por un gran número de elementos simples, elementos de procesos muy interconectados, los cuales procesan información por medio de su estado dinámico como respuesta a entradas externas, es una nueva forma de computación, inspirada en modelos biológicos. [24]

## CAPÍTULO IV: REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE UNA PLATAFORMA WEB QUE PERMITA LA ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS PARA PRONOSTICAR LA CALIDAD DEL AIRE

Siguiendo la metodología escogida de design thinking, la primera fase es la de **empatizar**. En esta etapa se reunirá toda la información necesaria para el presente proyecto, recolectando los datos necesarios para poder desarrollar una plataforma con las opiniones y sugerencias de los usuarios finales.

Dentro del estudio realizado se construyeron los siguientes requerimientos.

### Características de los usuarios

<b>Tipo de usuario</b>	Administrador
<b>Formación</b>	Ingeniero de sistemas o afines
<b>Actividades</b>	Control y manejo del sistema en general

<b>Tipo de usuario</b>	Usuario final
<b>Formación</b>	N/A
<b>Actividades</b>	Consultar información

### Restricciones

- La publicación se hará en un servidor web.
- Lenguajes y tecnologías en uso: Python, React js.
- Base de datos PostgreSQL.
- El sistema se diseñará según un modelo vista controlador persistencia
- El sistema deberá tener un diseño e implementación sencilla, interactivo, muy gráfico y fácil de usar.

**Requerimientos funcionales:**

<b>Identificación del requerimiento:</b>	RF01
<b>Nombre del Requerimiento:</b>	Autenticación de Usuario.
<b>Características:</b>	El usuario administrador deberá iniciar sesión para ingresar a la administración del sistema con sus módulos indicados.
<b>Descripción del requerimiento:</b>	El sistema podrá ser consultado por cualquier usuario dependiendo del módulo en el cual se encuentre y su nivel de accesibilidad.
<b>Requerimiento funcional:</b>	NO <ul style="list-style-type: none"><li>• RNF01</li><li>• RNF02</li><li>• RNF03</li></ul>
<b>Prioridad del requerimiento:</b> Alta	

<b>Identificación del requerimiento:</b>	RF02
<b>Nombre del Requerimiento:</b>	Consultar información, modulo inicio
<b>Características:</b>	Los usuarios al iniciar a la plataforma encontrarán el módulo de inicio
<b>Descripción del requerimiento:</b>	El usuario al ingresar a la plataforma encontrará el módulo de inicio, este debe mostrar la localización de donde se están realizando las mediciones, el logo y título de la página y la escala de colores con el valor del ICA tomado en tiempo real.
<b>Requerimiento funcional:</b>	NO <ul style="list-style-type: none"><li>• RNF01</li><li>• RNF02</li><li>• RNF03</li></ul>
<b>Prioridad del requerimiento:</b> Alta	

<b>Identificación del requerimiento:</b>	RF03
<b>Nombre del Requerimiento:</b>	Consultar información, modulo información del proyecto
<b>Características:</b>	Los usuarios en el segundo módulo podrán consultar el módulo de información.
<b>Descripción del requerimiento:</b>	El usuario al ingresar a la plataforma podrán encontrar el módulo de ¿Qué es icapop?, en este espacio encontrarán la descripción del proyecto.
<b>Requerimiento funcional:</b>	NO <ul style="list-style-type: none"><li>• RNF01</li><li>• RNF02</li><li>• RNF03</li></ul>
<b>Prioridad del requerimiento:</b> Alta	

<b>Identificación del requerimiento:</b>	del	RF04
<b>Nombre del Requerimiento:</b>	del	Consultar información, modulo recomendaciones
<b>Características:</b>		Los usuarios en el tercer módulo de izquierda a derecha encontrarán el módulo de recomendaciones.
<b>Descripción del requerimiento:</b>	del	El usuario podrá ingresar al tercer módulo, aquí encontrará información y recomendaciones para cada categoría según los niveles del ICA: favorable, moderada, regular, mala y peligrosa.
<b>Requerimiento funcional:</b>	NO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RNF01</li> <li>• RNF02</li> <li>• RNF03</li> </ul>
<b>Prioridad del requerimiento:</b> Alta		

<b>Identificación del requerimiento:</b>	del	RF05
<b>Nombre del Requerimiento:</b>	del	Consultar información, modulo informes
<b>Características:</b>		Los usuarios podrán visualizar y descargar informes.
<b>Descripción del requerimiento:</b>	del	El usuario podrá ingresar al módulo de informes, visualizar los últimos registros y también el histórico de los últimos meses.
<b>Requerimiento funcional:</b>	NO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RNF01</li> <li>• RNF02</li> <li>• RNF03</li> </ul>
<b>Prioridad del requerimiento:</b> Alta		

<b>Identificación del requerimiento:</b>	del	RF06
<b>Nombre del Requerimiento:</b>	del	Consultar información, modulo pronóstico
<b>Características:</b>		Los usuarios en el cuarto módulo de izquierda a derecha encontrarán el módulo de pronóstico.
<b>Descripción del requerimiento:</b>	del	El usuario podrá ingresar al tercer módulo donde encontrará los datos de la calidad del aire para los días próximos.
<b>Requerimiento funcional:</b>	NO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RNF01</li> <li>• RNF02</li> <li>• RNF03</li> </ul>
<b>Prioridad del requerimiento:</b> Alta		

<b>Identificación del requerimiento:</b>	del	RF07
<b>Nombre del Requerimiento:</b>	del	Modulo para iniciar sesión
<b>Características:</b>		El administrador podrá iniciar sesión.
<b>Descripción del requerimiento:</b>	del	El usuario administrador con una cuenta previamente registrada, podrá iniciar sesión para administrar la plataforma, de esta manera podrá realizar cambios y ajustes sin necesidad de manejar código, tan solo manejará la parte gráfica.
<b>Requerimiento funcional:</b>	NO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RNF01</li> <li>• RNF02</li> <li>• RNF03</li> </ul>
<b>Prioridad del requerimiento:</b> Alta		

#### Requerimientos No Funcionales.

<b>Identificación del requerimiento:</b>		RNF01
<b>Nombre del Requerimiento:</b>		Interfaz del sistema.
<b>Características:</b>		El sistema presentara una interfaz de usuario sencilla para que sea de fácil manejo a los usuarios del sistema.
<b>Descripción del requerimiento:</b>		El sistema debe tener una interfaz de uso intuitiva y sencilla.
<b>Prioridad del requerimiento:</b> Alta		

<b>Identificación del requerimiento:</b>		RNF02
<b>Nombre del Requerimiento:</b>		Interfaz gráfica del sistema.
<b>Características:</b>		El sistema se llamará: ICAPOP, tendrá los colores de la escala del ICA, y su panel principal será de color verde.
<b>Descripción del requerimiento:</b>		El sistema se llamará: ICAPOP (índice de calidad del aire en la ciudad de Popayán), tendrá los colores de la escala del ICA, y su panel principal será de color verde.
<b>Prioridad del requerimiento:</b> Alta		

<b>Identificación del requerimiento:</b>	RNF03
<b>Nombre del Requerimiento:</b>	Ayuda en el uso del sistema.
<b>Características:</b>	La interfaz del usuario deberá de presentar un sistema de ayuda para que los mismos usuarios del sistema se les faciliten el trabajo en cuanto al manejo del sistema.
<b>Descripción del requerimiento:</b>	La interfaz debe estar complementada con un buen sistema de ayuda (botones guías, entorno de fácil navegación)
<b>Prioridad del requerimiento:</b>	Alta

### **Requisitos comunes de las interfaces:**

#### **Interfaces de usuario**

La interfaz con el usuario consistirá en un conjunto de ventanas con botones, listas y campos de textos. Ésta deberá ser construida específicamente para el sistema propuesto y, será visualizada desde un navegador de internet.

#### **Interfaces de hardware**

Será necesario disponer de cualquier dispositivo con las siguientes características:

Interfaz de red.

#### **Interfaces de software**

Sistema Operativo: Windows 7 o superior, Android o sistemas Linux.

Explorador: Mozilla o Chrome.

Una de las recomendaciones para lograr capturar la información de los clientes es haciendo acercamientos tales como encuestas, formularios, entrevistas etc., en este caso se realizaron entrevistas de maneras personales con usuarios conocedores de temas ambientales, que entregaron excelentes ideas para la construcción de los requerimientos anteriormente descritos, también se realizó un formulario con la herramienta de google, donde se encuestaron a más de 100 personas, las preguntas fueron las siguientes, en donde se tomó un muestreo de la comunidad en la ciudad de Popayán, para revisar la localización y la percepción que tienen frente al tema del ICA:

¿En qué rango de edad se encuentra?

¿En qué sector de la ciudad vive?

¿Has escuchado hablar de la calidad del aire?

¿Conoce la calidad del aire de los lugares que frecuenta?

¿Cree usted que es importante conocer el estado del aire que respiramos?

¿Cuál cree usted que es la mayor fuente de contaminación del aire?

¿Qué harías si supieras que en un sector de la ciudad por donde debes transitar, la calidad del aire puede causar enfermedades?

¿Considera que la implementación de las nuevas tecnologías puede ayudar a mejorar la calidad del aire en la ciudad de Popayán?

¿Le gustaría estar enterado en tiempo real del estado de la calidad del aire en la ciudad de Popayán?

¿Usarías una plataforma que te informe sobre la calidad del aire en tu ciudad?

¿Considera necesario que en espacios donde se concentra la mayor contaminación del aire existan sistemas de monitoreo de la calidad del aire?

¿En qué lugares de la ciudad consideras que deben instalarse los dispositivos de medición?

Se pretende crear una plataforma que realice el monitoreo constante de la calidad del aire y una predicción detallada, ¿Cuáles de las siguientes funciones considera que deberían estar en la plataforma?

- Mostrar graficas
- Información destacada a primera vista
- Menús cortos
- Barras de búsqueda y filtros
- Mapa de ubicación
- Otra

De las preguntas más relevantes se obtuvieron las siguientes respuestas:

¿Conoce la calidad del aire de los lugares que frecuenta?

132 respuestas

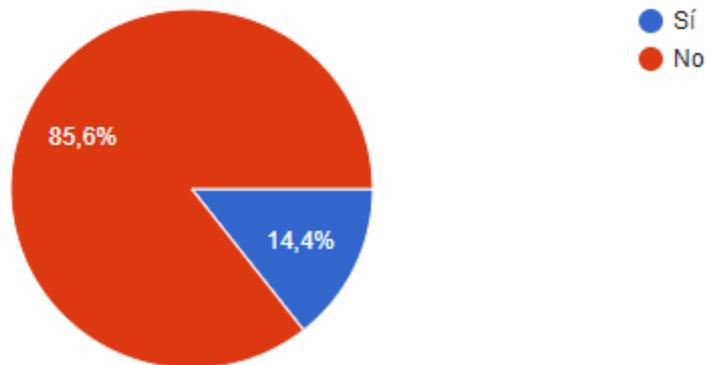


Ilustración 4 ¿Conoce la calidad del aire?

Aquí se puede observar que el 85,6 % de las personas encuestadas no tienen conocimiento del aire que respira.

¿Cree usted que es importante conocer el estado del aire que respiramos?

132 respuestas

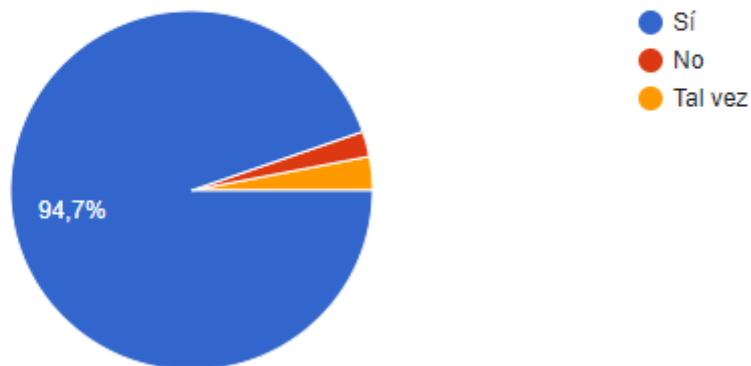


Ilustración 5: Importancia de conocer el ICA

También con un porcentaje alto, se obtuvo la respuesta ante la pregunta de la importancia de conocer el estado del aire que se respira, con ello se puede concluir que la aplicación a desarrollar será de suma importancia para los ciudadanos.

¿Qué harías si supieras que en un sector de la ciudad por donde debes transitar, la calidad del aire puede causarte enfermedades?

[Copiar](#)

132 respuestas

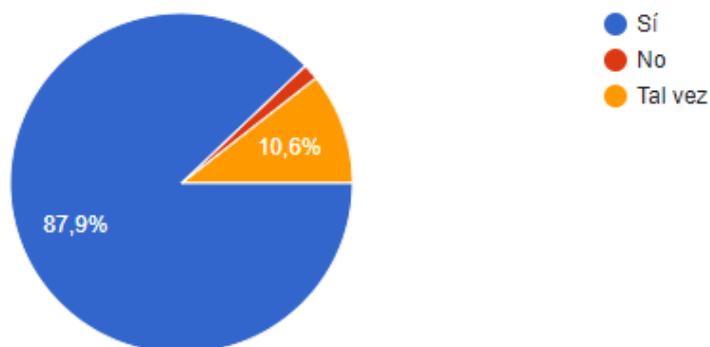


Ilustración 6: Acciones al conocer el ICA

En otra de las preguntas sobre, qué haría al saber si la calidad de aire es perjudicial para la salud se puede observar que casi todos los encuestados están de acuerdo en que, si se tiene conocimiento que la calidad del aire es dañina, buscarían una ruta alterna para no tener que exponerse; con esto se puede ver la gran importancia de tener en tiempo real una plataforma o sistema que entregue los datos y que las personas puedan determinar por donde circular sin que afecte su salud.

¿Le gustaría estar enterado en tiempo real del estado de la calidad del aire en la ciudad de Popayán?

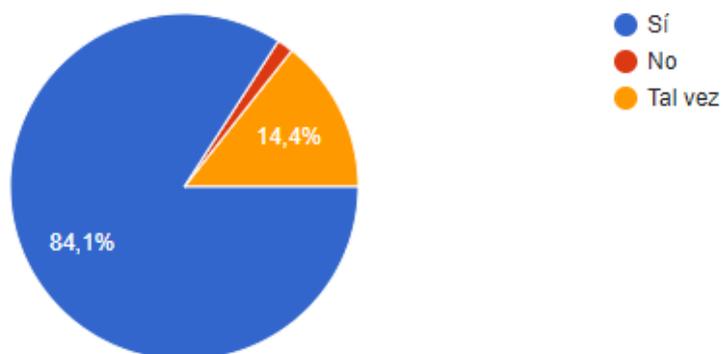
132 respuestas



*Ilustración 7 Gustos por conocer el ICA en tiempo real*

¿Usarías una plataforma que te informe sobre la calidad del aire en tu ciudad?

132 respuestas



*Ilustración 8: Le gustaría tener una plataforma que informe sobre la calidad del aire?*

Según el 87,9% de los encuestados mencionaron que están interesados en conocer en tiempo real el estado de la calidad del aire y el 84,1 % usaría una plataforma que entregue información de la calidad del aire, con esto se puede justificar que el propósito del proyecto es acertado.

Se pretende crear una plataforma que realice el monitoreo constante de la calidad del aire y una predicción detallada, ¿Cuáles de las siguientes funciones considera que deberían estar en la plataforma?

132 respuestas

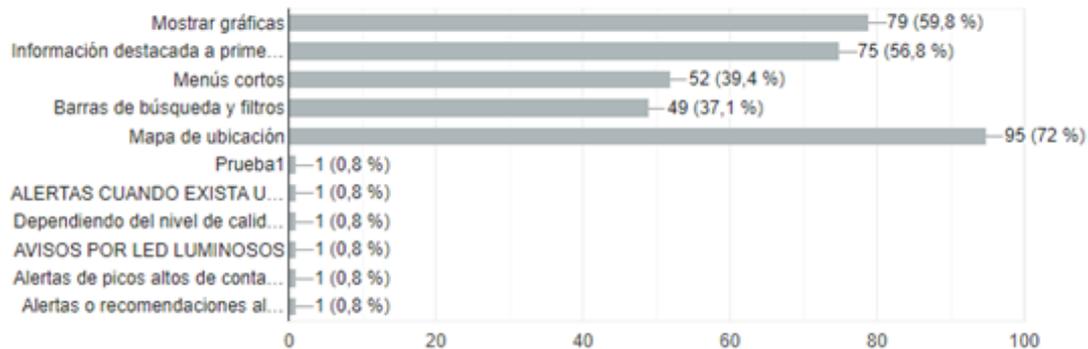


Ilustración 9: Funciones consideradas para la plataforma

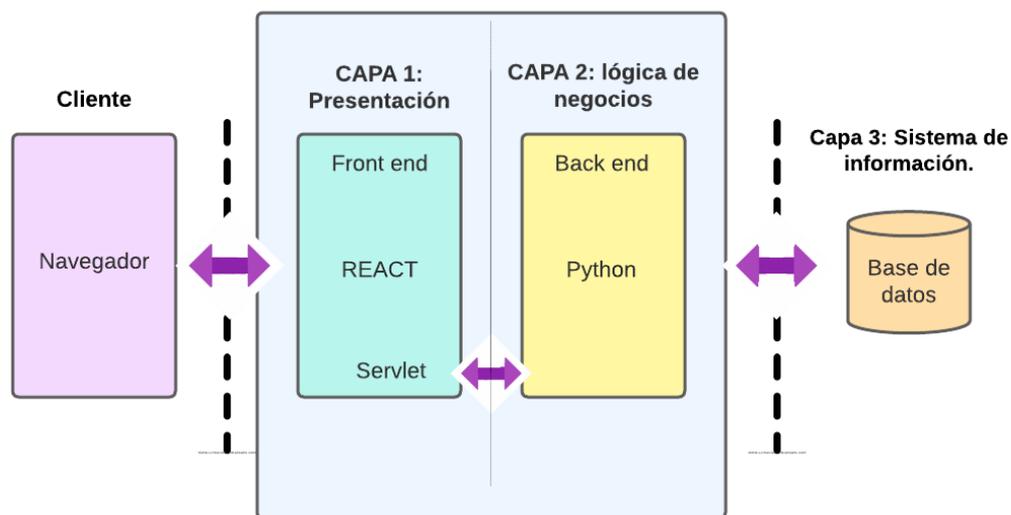
Nota: prueba1 es una respuesta para verificar el funcionamiento del formulario

Con esta última pregunta se recogieron las opiniones de los usuarios, en cuanto a las funcionalidades que deberían de tener la plataforma, la mayoría de estas sugerencias fueron tomadas para realizar el proyecto.

**Definir:** En esta segunda etapa fue necesario realizar una investigación y una clasificación exhaustiva de todos los documentos y artículos relacionados con el tema de investigación, con ello se logró obtener un listado completo sobre toda la información que puedan ayudar para justificar el proyecto. En esta fase se revisó la documentación posible en cuanto a normas y estándares que rigen en cuanto a la calidad del aire.

## CAPÍTULO V: PROTOTIPAR UN SISTEMA QUE PERMITA EVALUAR EL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA FACILITAR EL MONITOREO Y PREDICCIÓN.

El proyecto fue trabajado con una arquitectura en capas basado en un modelo MVC (modelo vista controlador), en la primera capa está la presentación donde están todos los componentes que presentan y visualizan la información al cliente. El cliente realiza la interacción a través de un navegador web y esta primera capa se comunica con la siguiente, la cual es la lógica de negocios que a su vez es donde residen los componentes que mantienen las reglas de negocio y validaciones necesarias para que la aplicación funcione. Además, sirve de intermediaria con la capa de datos, que es donde está la información de la plataforma y de donde el cliente va a obtener un resultado para su petición.



*Ilustración 10 Arquitectura aplicación web*

Continuando con la tercera fase, en la metodología se revisó cuáles podrían ser las posibles soluciones para los usuarios finales, se idealizó la manera de cumplir con los requisitos y dar solución creando una plataforma ajustándose al problema planteado. En esta fase se tuvieron reuniones con usuarios finales del común, validando colores, estilos, formas posibles para la plataforma, también se realizaron entrevistas con personas conocedoras del tema ambiental para que nos dieran sus puntos de vista para realizar una idealización de cómo sería construida el aplicativo.

Uno de los bocetos iniciales fue el siguiente:



Ilustración 11: Prototipo M1



Ilustración 12: Prototipo M2

**Prototipar:** Seguido a ello se dio paso a implementar la plataforma web para de evaluación y predicción de la calidad del aire aplicado, como prototipo final se tiene el siguiente entorno como pantalla principal:

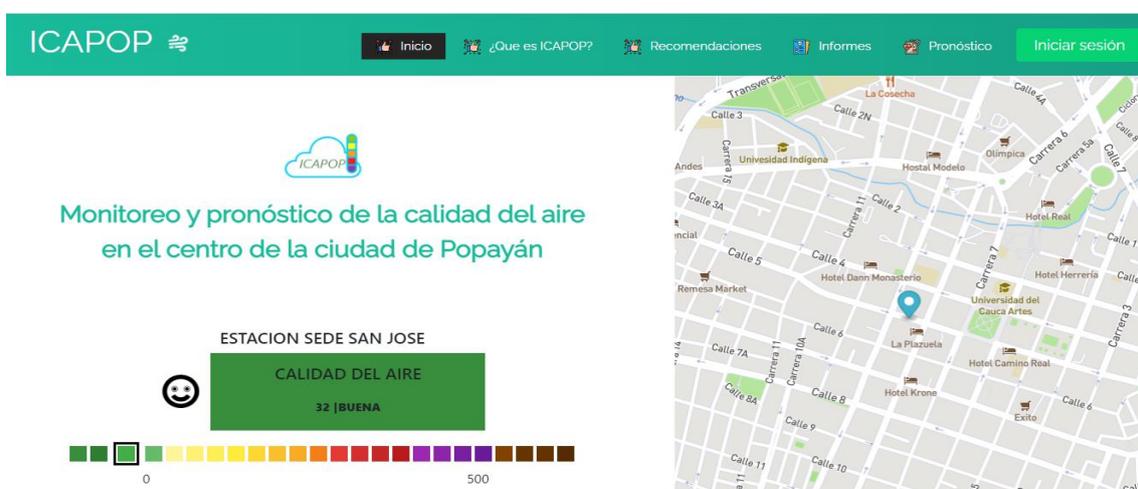
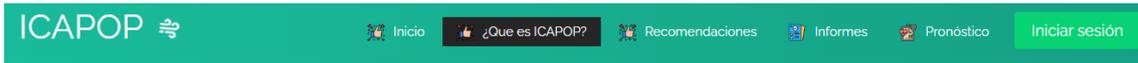


Ilustración 13: Página principal icapop

En el segundo módulo se tiene la información necesaria sobre el proyecto, un breve resumen de lo que hace la plataforma y también datos sobre el ICA.



### ¿QUE ES ICAPOP?

¿Qué significa?

Índice de Calidad del Aire en Popayán — ICAPOP, es una plataforma libre que sirve para comunicar de forma articulada el estado de la calidad del aire y el nivel de riesgo de exposición a la salud humana por contaminación atmosférica, además entrega datos de históricos recolectados y pronósticos de los días siguientes. Con el objetivo de que la comunidad Payanesa pueda obtener datos sobre el aire que se respira y las recomendaciones en cada uno de los niveles de concentraciones de contaminantes monitoreados.



Ilustración 14: Modulo informativo icapop

El Índice de calidad del aire (ICA) es un valor adimensional asociado a un código de colores para reportar el estado de la calidad del aire al que están asociados unos efectos generales que deben ser tenidos en cuenta para reducir la exposición a altas concentraciones por parte de la población. Este índice también es utilizado en el pronóstico de la calidad del aire (Resolución 2254 de 2017). El Índice de Calidad del Aire el ICA, se calcula para los seis contaminantes criterio contemplados en la normativa nacional (Ozono – O<sub>3</sub>, Material Particulado menor a 10µm– PM<sub>10</sub>, Material Particulado menor a 2.5µm – PM<sub>2.5</sub>, Monóxido de Carbono – CO, Dióxido de Azufre – SO<sub>2</sub> y Dióxido de Nitrógeno –NO<sub>2</sub>) en tiempos de exposición que oscilan entre 1 hora y 24 horas de acuerdo con los puntos de corte establecidos en la Resolución 2254 de 2017.

ATRIBUTOS DEL ICA				Intervalos de concentración para cada contaminante y tiempo de exposición (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>3</sup>					
(1) Intervalos de valores adimensionales <sup>(1)</sup>	(2) Color	(3) Estado de calidad del aire	(4) Estado de actuación y respuesta	PM 10 (24h)	PM 2.5 (24h)	CO (8h)	SO <sub>2</sub> (1h)	NO <sub>2</sub> (1h)	O <sub>3</sub> (8h)
0 – 50	Verde	Favorable	Prevención	0-54	0-12	0-5094	0-92	0-100	0-106

Ilustración 15: Información ICA

En la tercera parte de la plataforma se tienen las recomendaciones, según la categoría está lo siguiente:

De color verde se encuentra la primera categoría, que tiene un valor del ICA está entre 0 y 50 y entrega recomendaciones cuando el nivel de la calidad del aire es favorable.



Ilustración 16 Categoría favorable ICA

El color amarillo pertenece a la categoría “moderada” que está entre los valores del ICA de 51 a 100.

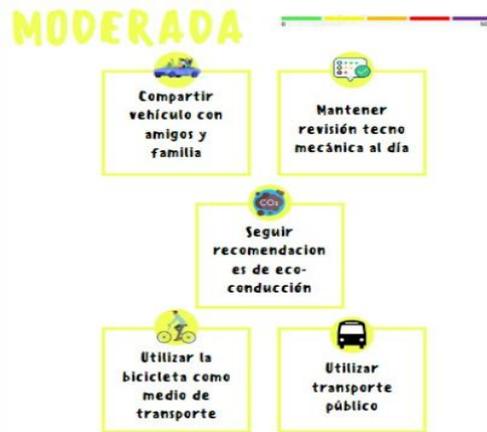


Ilustración 17 Recomendación para la Categoría Moderada ICA

La siguiente categoría pertenece a los valores del ICA comprendidos entre 101 y 150, aquí ya se dan recomendaciones más precisas para evitar daños en la salud debido a que la calidad del aire es regular.



Ilustración 18 Recomendación para la Categoría Regular ICA

El color rojo representa un riesgo más grande, puesto que la calidad del aire es mala, los valores van de 151 a 200 y las recomendaciones ya son más preventivas.



Ilustración 19 Recomendación para la Categoría Mala ICA

De color morado se encuentra el nivel mayor y más peligroso, aquí ya el valor del ICA es muy malo para la salud, dentro de estas recomendaciones está incluso la de no salir de casa.



Ilustración 20: Recomendación para la categoría Peligrosa ICA

El siguiente módulo pertenece a los informes, aquí estará el reporte del ICA de los últimos meses y estará disponible en archivos tipo Excel.



Ilustración 21: Módulo informes

El módulo que sigue es el perteneciente al pronóstico, aquí se entregará al usuario en detalle cuál será la calidad del aire para los próximos días.

En esta sección se describe la forma que se utilizó para realizar la predicción de una variable PM10 de una de las estaciones con el objetivo de determinar un valor del ICA teniendo en cuenta los valores de muestra (en este caso utilizamos un archivo con 1749 registros).

	A	B
1	2021-09-09	4.8
2	2021-09-09	1.4
3	2021-09-09	4.3
4	2021-09-09	3.1
5	2021-09-09	4.9
6	2021-09-09	4.7
7	2021-09-09	3.3
8	2021-09-10	4.3
9	2021-09-10	2.5
10	2021-09-10	1.6
11	2021-09-10	4.5

Ilustración 22: Archivo con valores PM10, organizado para pronóstico ICA

Como los datos obtenidos se encuentran registrados a intervalos de tiempo regulares, entonces se está frente a una serie de datos temporales o Time Series, dentro de las características diferenciales frente a un problema de regresión se encuentra la dependencia del tiempo y que suelen tener algún tipo de estacionalidad, es decir, que presentan tendencias a crecer o decrecer.

La previsibilidad de un acontecimiento o una cantidad depende de varios factores, entre ellos:

- El grado de comprensión de los factores que contribuyen a ello;
- La cantidad de datos disponibles;
- La similitud del futuro con el pasado;
- Si las previsiones pueden afectar a que se intenta predecir.

### 1. Cargar el set de datos utilizando la librería Pandas.

Se inicia importando las librerías necesarias y cargando el set de datos.

```

import pandas as pd
import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline
plt.rcParams['figure.figsize'] = (16, 9)
plt.style.use('fast')

from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, Activation, Flatten
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler

url = 'https://raw.githubusercontent.com/efvasquezg/machine-learning/master/pm_10x.csv'

df = pd.read_csv(url, parse_dates=[0], header=None, index_col=0, squeeze=True, names=['fecha', 'unidades'])
df.head()

fecha
2021-09-09    4.8
2021-09-09    1.4
2021-09-09    4.3
2021-09-09    3.1
2021-09-09    4.9
Name: unidades, dtype: float64

```

La primera columna del set de datos nos presenta la fecha, este dato es importante porque permite realizar diferentes operaciones y/o extracción de información, por ejemplo, se puede ver en qué rango de fechas tenemos datos, en número de datos por mes y el promedio de los datos por mes.

```
[75] print(df.index.min())
      print(df.index.max())

2021-09-09 00:00:00
2021-11-28 00:00:00

▶ print(len(df['2021-09']))
   print(len(df['2021-10']))
   print(len(df['2021-11']))

↳ 507
   585
   657

[77] meses =df.resample('M').mean()
      meses

fecha
2021-09-30    34.239645
2021-10-31    35.364274
2021-11-30    32.515068
Name: unidades, dtype: float64
```

Ilustración 23: Set de datos

## 2. Visualización de los datos

Una parte importante es poder visualizar de manera rápida los datos con los que se va a trabajar, en la figura se presenta un resumen de las características del dataset cargado, como la cantidad de datos con la que se cuenta, en este caso 1749 datos, la media de los datos, la desviación estándar y los rangos de máximo y mínimos del valor de los datos.

```
▶ df.describe()

↳ count    1749.000000
   mean     33.967982
   std      18.131631
   min       0.000000
   25%      20.800000
   50%      31.500000
   75%      43.900000
   max      191.400000
Name: unidades, dtype: float64
```

Ilustración 24: Visualización de datos

En la gráfica se muestra el valor de concentración de PM10 frente a la cantidad de datos de cada mes (septiembre, octubre y noviembre del 2021).

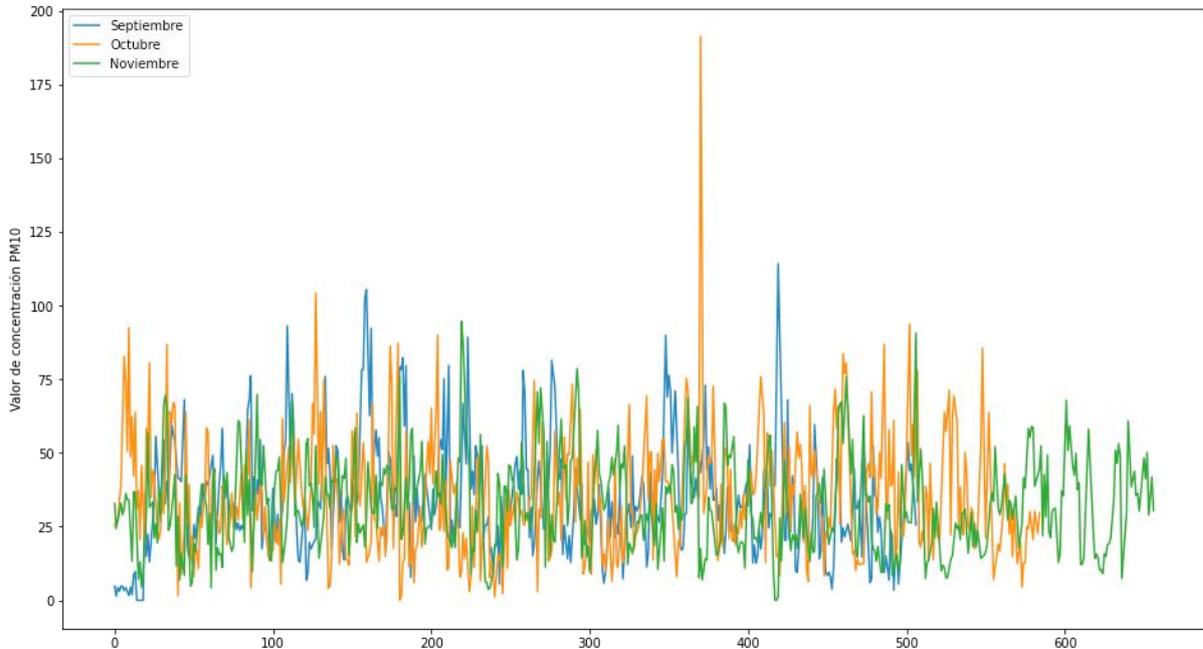


Ilustración 25: Cantidad de datos por mes

### 3. Pronóstico de una serie temporal con redes neuronales

La figura 26 Esquema del proceso del pronóstico [25], muestra un resumen del proceso de la implementación del pronóstico de una serie temporal utilizando redes neuronales. Dados los datos de entrada y las correspondientes salidas deseadas, así como los valores iniciales de los pesos, el modelo se alimenta de datos de entrada y se evalúa una medida del error comparando las salidas resultantes con la salida deseada. Para optimizar el parámetro del modelo, se calculan sus ponderaciones. A continuación, el valor de los pesos se actualiza en la dirección que conduce a una disminución del error. El procedimiento se repite hasta que el error, evaluado sobre datos no vistos, cae por debajo de un nivel aceptable.

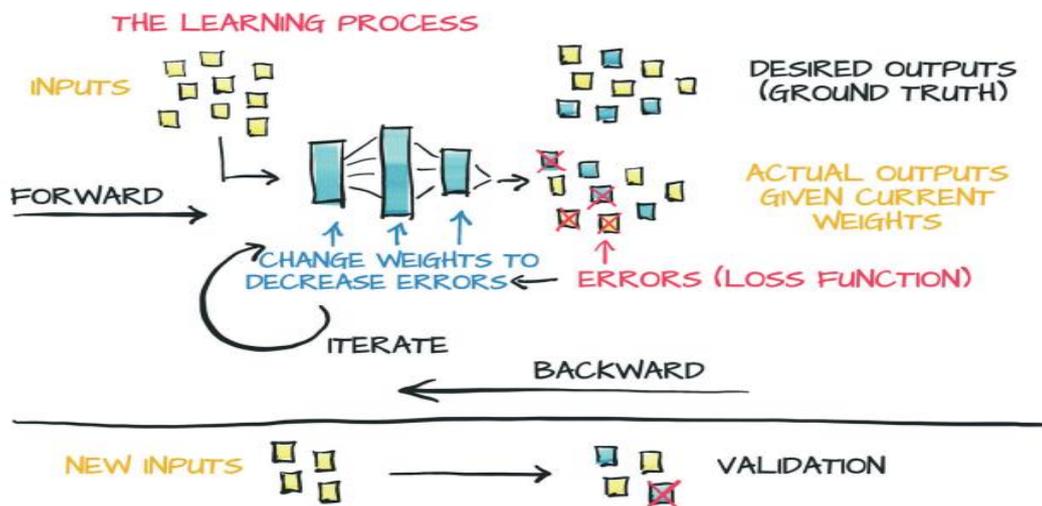


Ilustración 26 Esquema del proceso del pronóstico

A continuación, se presenta una serie temporal con un conjunto de datos ruidosos, que sirven de entrada a una red neuronal con el fin de obtener valores futuros (predicciones) de la serie temporal.

### A. Preparación de los datos

En este caso se va a utilizar Machine Learning, una red neuronal para hacer el pronóstico de PM10, mediante una red neuronal relativamente sencilla para realizar el pronóstico. Se utilizará na red neuronal FeedForward sencilla (MLP por sus siglas en inglés Multi-Layered Perceptron) y como método de activación la función tangente hiperbólica. Inicialmente se convierte la serie temporal en un problema de tipo supervisado para alimentar la red neuronal y entrenarla mediante el algoritmo backpropagation. Con ello se tiene la entrada que será los datos de los 7 días anteriores y una salida que será el pronóstico del octavo día.

Mediante la función MinMaxescaler se transforma el rango de los datos entre -1 y 1. Posteriormente utilizamos *series\_to\_supervised* [26] para hacer la transformación de los datos.

	$var1(t-7)$	$var1(t-6)$	$var1(t-5)$	$var1(t-4)$	$var1(t-3)$	$var1(t-2)$	$var1(t-1)$	$var1(t)$
7	-0.949843	-0.985371	-0.955068	-0.967607	-0.948798	-0.950888	-0.965517	-0.955068
8	-0.985371	-0.955068	-0.967607	-0.948798	-0.950888	-0.965517	-0.955068	-0.973877
9	-0.955068	-0.967607	-0.948798	-0.950888	-0.965517	-0.955068	-0.973877	-0.983281
10	-0.967607	-0.948798	-0.950888	-0.965517	-0.955068	-0.973877	-0.983281	-0.952978
11	-0.948798	-0.950888	-0.965517	-0.955068	-0.973877	-0.983281	-0.952978	-0.980146
12	-0.950888	-0.965517	-0.955068	-0.973877	-0.983281	-0.952978	-0.980146	-0.910136
13	-0.965517	-0.955068	-0.973877	-0.983281	-0.952978	-0.980146	-0.910136	-0.898642
14	-0.955068	-0.973877	-0.983281	-0.952978	-0.980146	-0.910136	-0.898642	-1.000000
15	-0.973877	-0.983281	-0.952978	-0.980146	-0.910136	-0.898642	-1.000000	-1.000000
16	-0.983281	-0.952978	-0.980146	-0.910136	-0.898642	-1.000000	-1.000000	-1.000000

Ilustración 27: Datos de entrada a la red neuronal

En la imagen se aprecia los datos entrada a la red neuronal, las columnas  $var1(t-1)$  hasta  $var1(t-7)$  y la salida, la columna  $var1(t)$ .

### B. Creación de la red neuronal artificial

Para este caso se divide el set en un 70% para entrenamiento y un 30% para validación. Se tiene entonces una red neuronal simple con 7 entradas y una salida, con función de activación tangente hiperbólica, con optimizador Adam y con métrica de pérdida (loss) Mean Absolute Error. Se utiliza Mean Squared Error para calcular el Accuracy ya que el valor de las predicciones son valores continuos.

```
def crear_modeloFF():
    model = Sequential()
    model.add(Dense(PASOS, input_shape=(1,PASOS),activation='tanh'))
    model.add(Flatten())
    model.add(Dense(1, activation='tanh'))
    model.compile(loss='mean_absolute_error',optimizer='Adam',metrics=["mse"])
    model.compile(loss='mean_squared_error',optimizer='Adam',metrics=["mse"])
    model.summary()
    return model
```

Ilustración 28: Red neuronal

### C. Entrenamiento y resultados de la RNA

Al cabo de 40 épocas se ve como se reduce el valor de pérdida en el set de entrenamiento como en la validación.

```
EPOCHS=40
model = crear_modeloFF()
history=model.fit(x_train,y_train,epochs=EPOCHS,validation_data=(x_val,y_val),batch_size=PASOS)
```

Ilustración 29: Entrenamiento RNA

```
Epoch 37/40
174/174 [=====] - 0s 2ms/step - loss: 0.0276 - mse: 0.0276 - val_loss: 0.0160 - val_mse: 0.0160
Epoch 38/40
174/174 [=====] - 0s 3ms/step - loss: 0.0276 - mse: 0.0276 - val_loss: 0.0161 - val_mse: 0.0161
Epoch 39/40
174/174 [=====] - 0s 2ms/step - loss: 0.0273 - mse: 0.0273 - val_loss: 0.0160 - val_mse: 0.0160
Epoch 40/40
174/174 [=====] - 0s 3ms/step - loss: 0.0274 - mse: 0.0274 - val_loss: 0.0162 - val_mse: 0.0162
```

Ilustración 30: Resultados RNA

En la gráfica se observa que los puntos verdes se aproximan a los rojos, cuanto más cerca se encuentren mucho mejor, esto se mejora si se aumenta las épocas en el entrenamiento.

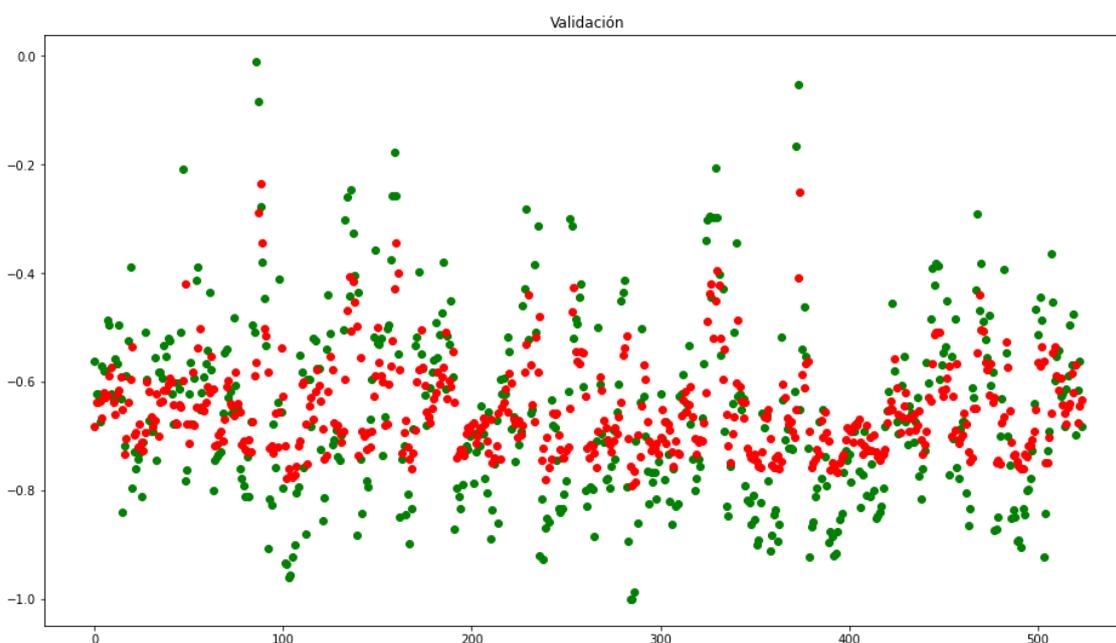
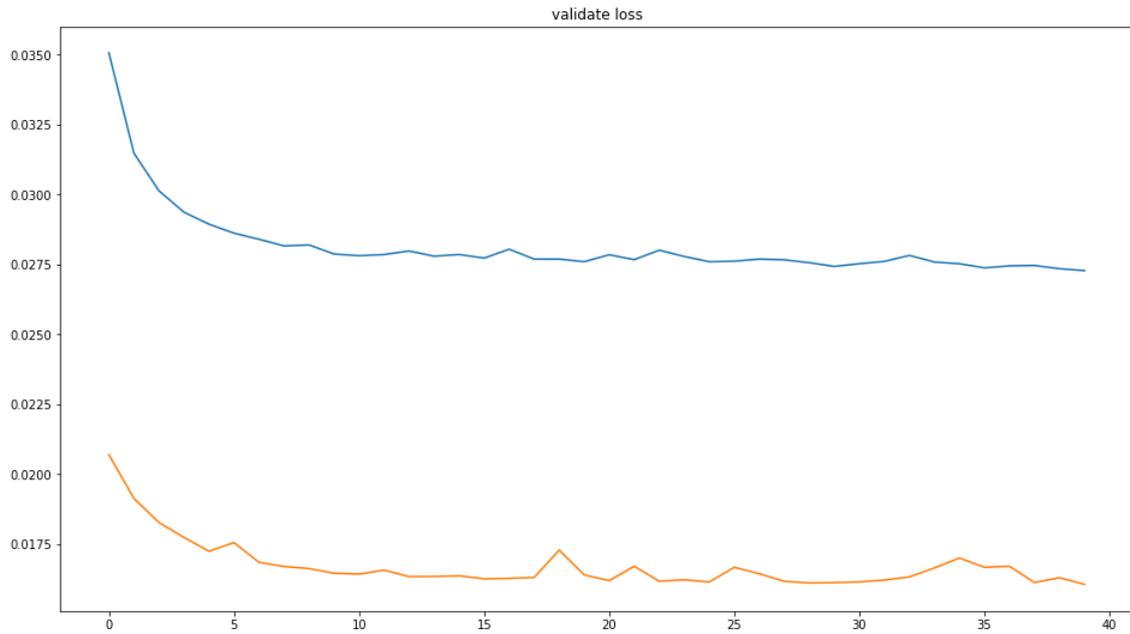


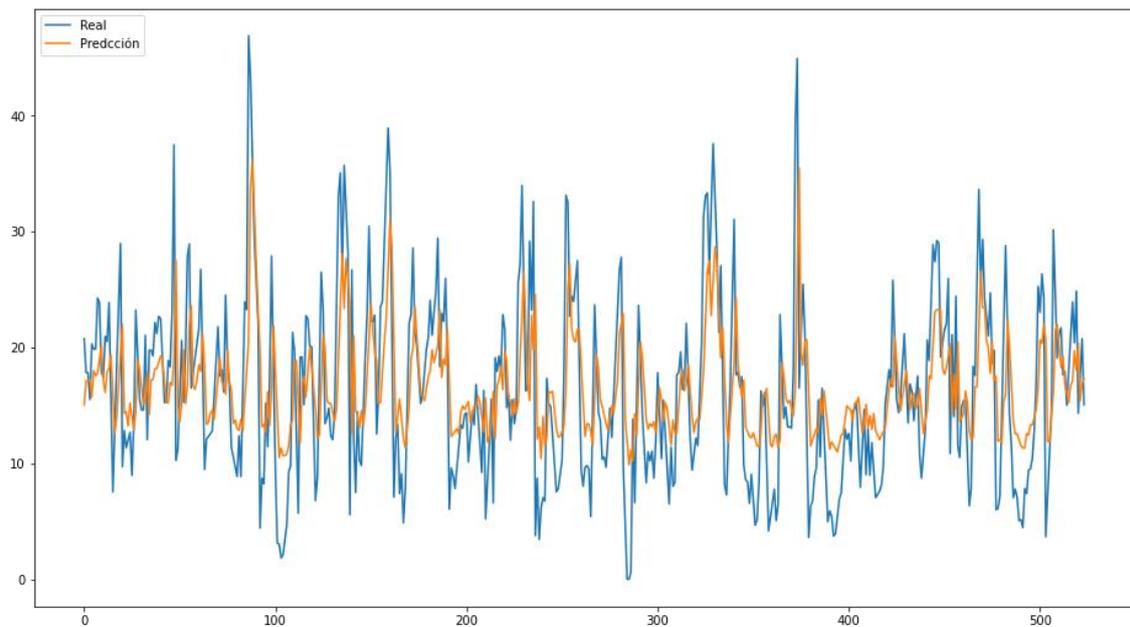
Ilustración 31: Validación

Si se analiza la gráfica del loss del set de validación y el de entrenamiento se observa que disminuyen y son distintas, esto indica que no hay overfitting y que el sistema está aprendiendo.



*Ilustración 32: Validación Loss*

En la siguiente imagen se muestra el comportamiento de los datos reales frente a las predicciones.



*Ilustración 33: Comportamiento de los datos reales frente a predicciones*

## D. Pronóstico del ICA futuro

A partir de la última semana de noviembre se va a predecir la primera semana de diciembre.

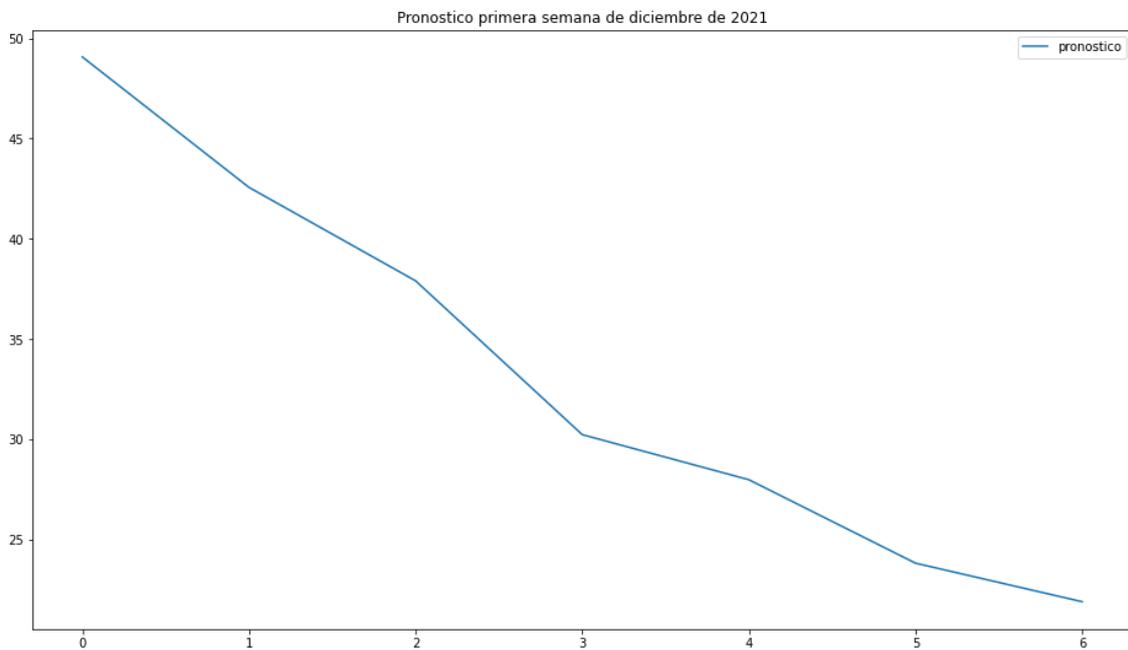


Ilustración 34: Pronóstico primera semana de Diciembre

Además, se crea un módulo de administración el cual tiene un botón para iniciar sesión en la parte izquierda de la pantalla, este espacio está diseñado para que el administrador del sistema pueda cambiar datos, tablas, imágenes, etc. y que no sea necesario que tenga conocimiento en desarrollo de software, sino que desde este ambiente tenga acceso y permisos para modificar la información. Como se observa en el siguiente pantallazo, en la parte derecha se habilitan unos iconos con forma de lápiz, indicando que tiene edición.

¿QUE ES ICAPOP?

¿Qué significa?

Índice de Calidad del Aire en Popayán — ICAPOP, es una plataforma libre que sirve para comunicar de forma articulada el estado de la calidad del aire y el nivel de riesgo de exposición a la salud humana por contaminación atmosférica, además entrega datos de históricos recolectados y pronósticos de los días siguientes. Con el objetivo de que la comunidad Payanesa pueda obtener datos sobre el aire que se respira y las recomendaciones en cada uno de los niveles de concentraciones de contaminantes monitoreados.

Four green circular icons with a pencil symbol, indicating editability, are positioned on the right side of the interface.

Ilustración 35: Modulo administrador

## Herramientas utilizadas:

- Diagrama de bases de datos:

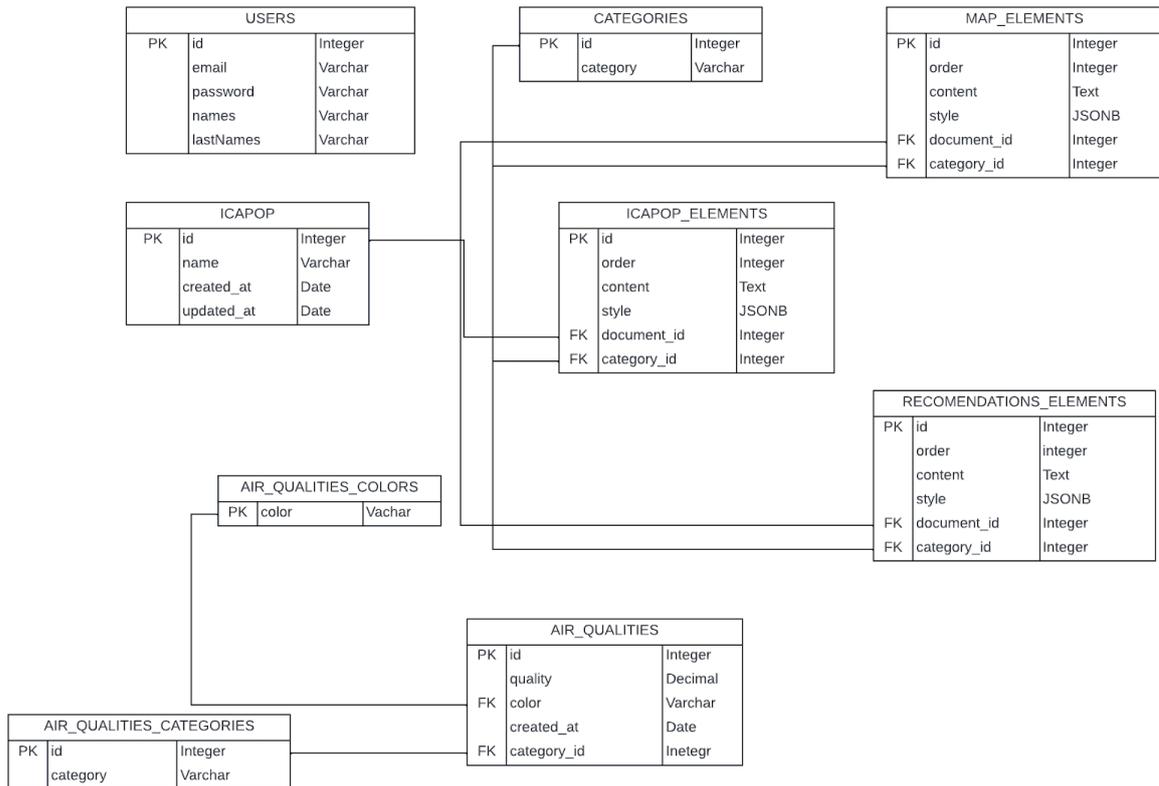


Ilustración 36: Diagrama BD

- **Base de datos:** En el proyecto expuesto, se utilizará PostgreSQL que es un poderoso sistema de base de datos relacional de objetos de código abierto con más de 35 años de desarrollo activo que le ha valido una sólida reputación por su confiabilidad, robustez de funciones y rendimiento. [27]
- **Editor de código:** Visual Studio Code es un editor de código fuente ligero pero potente que se ejecuta en su escritorio y está disponible para Windows, macOS y Linux. Viene con soporte integrado para JavaScript, TypeScript y Node.js y tiene un rico ecosistema de extensiones para otros lenguajes y tiempos de ejecución (como C++, C#, Java, Python, PHP, Go, .NET). [28]
- **Lenguajes de programación:** En el proyecto se utilizaron dos lenguajes de programación, uno para el backend y otro para el frontend.
  - **Python:** Es un lenguaje de programación potente y fácil de aprender. Tiene estructuras de datos de alto nivel eficientes y un enfoque simple pero efectivo para la programación orientada a objetos. La sintaxis elegante y la tipificación dinámica de Python, junto con su naturaleza interpretada, lo convierten en un lenguaje ideal para secuencias de comandos y desarrollo rápido de aplicaciones en muchas áreas en la mayoría de las plataformas. [29]

- **React:** es una librería JavaScript libre, focalizada en el desarrollo de interfaces de usuario. Así se define la propia librería y evidentemente, esa es su principal área de trabajo, por ello es una excelente opción para hacer todo tipo de aplicaciones web o móviles.

## Estructura del Backend

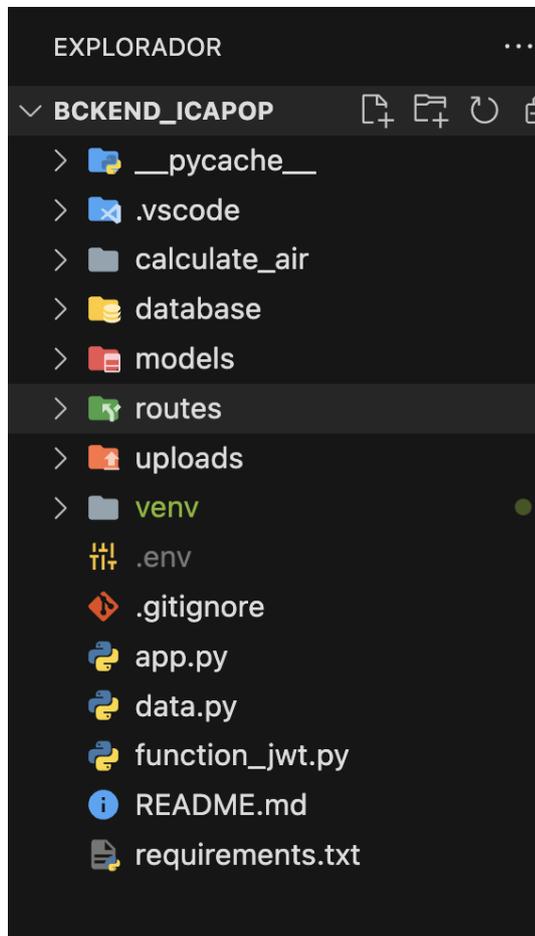


Ilustración 37: Estructura Backend

- **calculate\_air** Carpeta en el cual contiene el método que calcula la calidad del aire, a través de
- **database** Contiene toda la configuración de conexión de la BD el cual permite conectar a la base de datos
- **models** Contiene todos los modelos de la base de datos, permitiéndonos así saber que campos tiene cada tabla.
- **routes** Contiene todo el sistema de rutas del backend el cual es el que permite saber qué hacer cuando le llega una petición desde el frontend
- **uploads** Contiene todos los archivos estáticos del backend, el cual, cuando se actualice dicha imagen o archivo se guarda en esta carpeta
- **venv** Carpeta generada automáticamente, por manejar un contenedor virtual el arranque del backend.
- **Env** Archivo el cual permite contener variables privadas, que son llamadas variables de entorno.
- **gitIgnore** Archivo el cual se crea por defecto cuando agregamos GIT que nos permite versionar la aplicación web.
- **app.py** Archivo de arranque del backend
- **function\_jwt.py** Función que permite generar un token que se le envía al usuario que inicia sesión para permitir realizar alguna actualización etc.
- **requirements.txt** Archivo el cual tiene todas las configuraciones de las librerías que usa el backend.

## CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLATAFORMA

Con base a las fases anteriores, se realiza la evaluación de la plataforma implementada, descartando posibles fallos, revisando que cada una de las partes de la interfaz funcione adecuadamente y verificando sobre todo si los datos obtenidos son 100 % confiables.

Se realizan pruebas de manera manual en donde se toma una url especializada en cálculos de ICA, se colocan valores al azar del segmento analizado y se revisan los resultados, encontrando que la calculadora y el software entregan datos exactos para la concentración de contaminante evaluado. A continuación, se muestra el resultado obtenido con la calculadora vía web [30].

SELECCIONE UN CONTAMINANTE:

PM <sub>2.5</sub>	Partículas <2,5 micras
10 de la tarde	Partículas <10 micras
O <sub>3</sub>	Ozono (promedio de 1 hora)
O <sub>3</sub>	Ozono (promedio de 8 horas)
TAN <sub>2</sub>	Dióxido de azufre (promedio de 1 hora)
TAN <sub>2</sub>	Dióxido de azufre (promedio de 24 horas)
N <sub>2</sub>	Dioxido de nitrogeno
CO	Monóxido de carbono

CONCENTRACIÓN:

4.8

(expresado en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

ICA: 4

Bueno

**Grupos sensibles:** Las personas con enfermedades respiratorias son el grupo de mayor riesgo.



*Ilustración 38: Calculadora en línea con resultados*

También se hizo el cálculo con la fórmula del ICA para probar los resultados obtenidos:

$$ICA_P = \frac{I_{alto} - I_{bajo}}{PC_{alto} - PC_{bajo}} \times (CP - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

$$I_{alto} = 50$$

$$I_{bajo} = 0$$

$$PC_{alto} = 54$$

$$PC_{bajo} = 0$$

$$CP = 4,8$$

$$ICA_P = \frac{(50 - 0)}{(54 - 0)} \times (4,8 - 0) + 0$$

$$4.4 \text{ ug}/m^3$$

A continuación, se muestran los cálculos aleatorios que se hicieron, tomando 3 formas de hallar el valor del ICA, se observa que, con la calculadora web, los valores solo fueron mostrados con la parte entera, pero los resultados de la plataforma como del cálculo manual tienen decimales, sin embargo, los valores coinciden teniendo en cuenta la aproximación que en la página están dando.

Valor evaluado $ug/m^3$	Calculadora web $ug/m^3$	Plataforma desarrollada $ug/m^3$	Calculo manual con fórmula $ug/m^3$
4,8	4	4.4	4.4
1,4	1	1.3	1.3
4,3	4	4	4
3,1	3	3	3
4,9	4	4	4
4,7	4	4	4
3,3	4	4	4
4,3	4	4.3	4.3
25	23	23	23
1,6	1	1.5	1.5
4,7	4	4.3	4.3
65	55	55.9	55.9

Tabla 1: Tablas de cálculo ICA

A demás se hicieron pruebas de funcionalidad, iniciando por pruebas unitarias, validando módulo por módulo y todas sus funciones. También se realizaron pruebas de integración, donde se analizaron los botones de desplazamiento por los diferentes módulos para ver el trabajo en conjunto de todas las partes y submódulos, seguido a ello se hicieron pruebas de regresión, verificando que el desarrollo en capas esté bien codificado, que al añadir, corregir o eliminar funcionalidades cuando hayan errores y toque reversar no se creen problemas extras.

## **CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES**

Teniendo en cuenta el desarrollo de los objetivos del proyecto y las tareas planteadas en el cronograma, se presentan las siguientes conclusiones:

1. Con la metodología escogida se consiguió el desarrollo de la plataforma, ya que gracias a cada una de las fases propuestas se obtuvo un orden y una secuencia al realizar los ítems proyectados.
2. Se definieron cada uno de los requerimientos de diseño donde se utilizaron varias formas de recolectar la información necesaria que permitiera tener toda la parte de idealización de la plataforma a desarrollar, dando cumplimiento al primer objetivo específico del presente proyecto.
3. Con la información recolectada se logró realizar el prototipo gráfico para la evaluación del índice de calidad del aire, el cual inició con bocetos y en el transcurso del desarrollo de las actividades se fue mejorando según indicaciones de los usuarios y también de personas conocedoras del tema ambiental. Los datos utilizados en el desarrollo del presente proyecto los facilitó el DAGMA (Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente) que es el organismo encargado de la gestión ambiental en el Municipio de Santiago de Cali, Valle del Cauca y la máxima autoridad ambiental dentro de su perímetro urbano.
4. Con el modelo propuesto de predicción se logró establecer valores aceptables dentro de la evaluación de error y de aprendizaje del sistema. También, se realizaron evaluaciones y pruebas que permitieron verificar la funcionalidad de la plataforma.
5. Las redes neuronales artificiales (RNA) son un tipo de modelo no lineal que puede utilizarse para el análisis de series temporales, éstas se inspiran en la arquitectura de los sistemas nerviosos biológicos y pueden aprender de los datos. Se han aplicado a una amplia gama de tareas de previsión de series temporales y pueden utilizarse para crear modelos para el análisis de series temporales.

## **CAPÍTULO VIII: MEJORAS PROPUESTAS**

Para trabajos futuros:

- Implementar un modelo de predicción que tenga en cuenta variables atmosféricas como la temperatura, presión barométrica, velocidad del viento, etc.
- Desarrollar una app móvil vinculada al proyecto inicial.
- Mejorar la interfaz web.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] "Calidad del aire - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud". PAHO/WHO | Pan American Health Organization. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire> (accedido el 2 de enero de 2023).
- [2] World Bank; Institute for Health Metrics and Evaluation. 2016. *The Cost of Air Pollution : Strengthening the Economic Case for Action*. World Bank, Washington, DC. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25013> License: CC BY 3.0 IGO. (accedido el 24 enero de 2023)
- [3] "Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks". World Health Organization (WHO). <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565196> (accedido el 3 de diciembre de 2022).
- [4] Alfredo, L., Pardo, P., Julián, O., Molina, G., & María Hernández Hernández, A. (n.d.). *Informe de la Calidad del Aire en Colombia*. IDEAM. (2017).
- [5] Lozano, R., Mario, R., Berrio, E., Hernández, Y. G., Marcela, D., Galvis, V., Alfredo, L., & Pardo, P. (n.d.). *Informe Del Estado De La Calidad Del Aire En Colombia 2018*. IDEAM, MIN. AMBIENTE (2018)
- [6] Contaminación del aire, adaptado de revista el tiempo, foto tomada por: Milton Diaz /CEET, año 2020
- [7] "Control de emisiones de gases a vehículos particulares en Popayán", <https://www.proclamadelcauca.com/control-de-emisiones-de-gases-a-vehiculos-particulares-en-popayan/> (accedido Jul 26, 2022)
- [8] F. F. G. R, R. A. A. G, K. M. J. J, and U. Magdalena, "Metodología para la localización de estaciones de monitoreo de material particulado a escala local (0.5 a 4.0 Km) en la ciudad de Santa Marta," *Gestión y Ambiente*, vol. 9, no. 2, pp. 121–135, 2006, doi: 10.15446/ga.v9n2.52080.
- [9] L. Granada, I. Pérez, M. Valencia, R. Rojas, and I. Herrera, "Sistema para el manejo de la calidad del aire en la ciudad de Cali – Colombia.," *Ing. Ind.*, vol. 35, no. 1, pp. 13–24, 2014.
- [10] D. R. A. Felipe, "Monitoring Stations Stations," pp. 577–587, 2016, doi: 10.5902/2179-460X18168.
- [11] Z. Quirós, "monitoreo de calidad del aire en el área de influencia del proyecto 'estructuración técnica de la primera línea del metro de Bogotá (plmb)', ubicado en el área urbana de Bogotá, departamento de Cundinamarca, para la empresa ingetec s.a.," p. 121, 2017.
- [12] A. L. J. Gabriel and O. R. J. Camilo, "Seguimiento a la calidad del aire dentro del Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental en el Departamento de Caldas (SIMAC)," vol. 0, 2019.

- [13] R. JERVES COBO and F. Armijo Arcos, “Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca - Ecuador,” *La Granja*, vol. 23, no. 1, pp. 25–34, 2019, doi: 10.17163/lgr.n23.2016.03.
- [14] P. F. J. V. Hugo, “Estado de la Calidad del Aire en México,” vol. 0, 2016.
- [15] S. Diez, E. J. Gizzo, T. Fichetti, and J. Britch, “Allin-Wayra: una estación experimental para el monitoreo continuo de la calidad del aire empleando sensores de bajo costo,” *Rev. la Fac. Ciencias Exactas, Físicas y Nat.*, vol. 5, no. 0, p. 45, 2019.
- [16] "Calidad del Aire". Comunidad de Madrid. <https://www.comunidad.madrid/servicios/urbanismo-medio-ambiente/calidad-aire> (accedido el 6 de enero de 2023).
- [17] “En Chile, la contaminación también está matando miles de personas” *Rev. DINERO*, 2019.
- [18] Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). Introduction. *Data Mining*, 1–38.
- [19] Khodadadi, F., Dastjerdi, A. V., & Buyya, R. (2016). Internet of Things: an overview. *Internet of Things: Principles and Paradigms*, 3–27.
- [20] Jablonski, S., Petrov, I., Meiler, C., & Mayer, U. (2004). Framework Architecture. *Guide to Web Application and Platform Architectures*, 7–38.
- [21] Resolución 2254 de 2017, Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Bogotá, 2017.
- [22] "¿Qué es Design Thinking y qué te puede aportar como emprendedor?" <https://cursoparaempresariosuned.intentalo.es/emprendimiento/design-thinking-emprendimiento/> (accedido el 4 de diciembre de 2022).
- [23] J. Bobadilla, *Maching learning y deep learning*. Bogotá: Ediciones de la U, 2020.
- [24] D. García, marzo 2021, *Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones*, Universidad tecnológica nacional.
- [25] L. P. G. Antiga, E. Stevens y T. Viehmann, *Deep Learning with Pytorch*. Manning Publications Co. LLC, 2020.
- [26] J. Brownle. “Cómo convertir una serie temporal en un problema de aprendizaje supervisado en Python”, mayo de 2017.
- [27] "PostgreSQL". PostgreSQL. <https://www.postgresql.org/> (accedido el 15 de diciembre de 2023).
- [28] Microsoft. "Documentation for Visual Studio Code". Visual Studio Code - Code Editing. Redefined. <https://code.visualstudio.com/docs> (accedido el 2 de enero de 2023).

[29] "The Python Tutorial". Python documentation, <https://docs.python.org/3/tutorial/> (accedido el 12 de diciembre de 2022).

[30] "AQI Calculator - US EPA Scale convertor". aqicn.org. <https://aqicn.org/calculator/es/> (accedido el 7 de febrero de 2023).