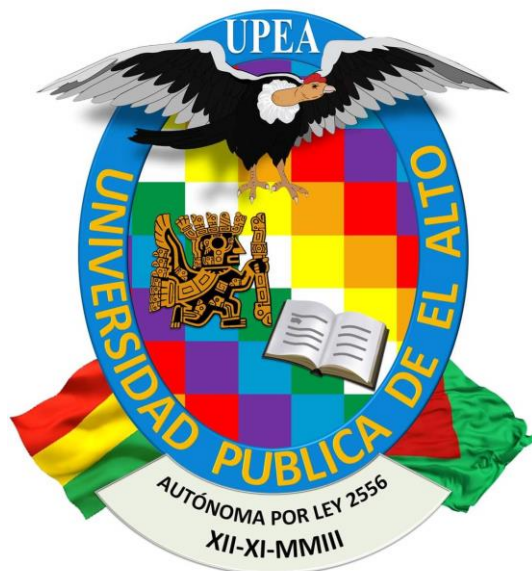


UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

CARRERA INGENIERÍA DE SISTEMAS



TESIS DE GRADO

“MODELO DE SIMULACIÓN PARA PROYECTAR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA CIUDAD DEL ALTO APLICANDO REDES NEURONALES”

Para Optar al Título de Licenciatura en Ingeniería de Sistemas
MENCIÓN: INFORMÁTICA Y COMUNICACIONES

Postulante: Roger Huanca Cori

Tutor Metodológico: Ing. Marisol Arguedas Balladares

Tutor Revisor: Ing. Lidia Máxima Rodríguez Choque

Tutor Especialista: Ing. William Roque Roque

EL ALTO – BOLIVIA

2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, **Roger Huanca Cori** estudiante con C.I. 7092837 LP. mediante la presente **declaro** de manera pública que la propuesta del **TRABAJO DE GRADO** titulada **“MODELO DE SIMULACIÓN PARA PROYECTAR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA CIUDAD DEL ALTO APLICANDO REDES NEURONALES”** es original, siendo resultado de mi trabajo personal y no constituye una copia o replica de trabajos similares elaborados,

Autorizo la publicación del resumen de mi propuesta en internet y me comprometo a responder a todos los cuestionamientos que se desprenden de su lectura.

Asimismo, me hago responsable ante la universidad o terceros, de cualquiera irregularidad o daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado.

De identificarse falsificación, plagio, fraude, o que el **TRABAJO DE GRADO** haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, responsabilizándome por todas las cargas legales que se deriven de ello sometiéndome a las normas establecidas y vigentes de la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Pública de El Alto.

El Alto, junio de 2022.

Roger Huanca Cori
7092837 LP.
rogerhuancacori@gmail.com

DEDICATORIA

“A mi familia por todo su esfuerzo
y apoyo recibido”.

Roger Huanca Cori.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, debo agradecer a mi núcleo familiar, quienes entendieron la dedicación de horas y días enteros dedicados al presente trabajo de tesis.

También quiero agradecer a mis tutores. Al Ing. William Roque Roque, la Ing. Lidia Máxima Rodríguez Choque y la Ing. Marisol Arguedas Ballares, quienes me han brindado su apoyo constante, consejos, tiempo y confianza y experiencia profesional, otorgados para la realización del presente trabajo, y a todos los docentes por los aportes realizados.

A la Universidad Pública de El Alto por la oportunidad que me dio de ser parte y haberme brindado una formación académica.

Asimismo, mi agradecimiento al Gobierno Autónomo Municipal de El Alto que, a través de la Dirección de Gestión y Control Ambiental, Red de Monitoreo de la Calidad del Aire quienes me han brindado los datos de la calidad del aire.

RESUMEN

Los humanos inspiramos y espiramos entre cinco y seis litros de aire por minuto, eso determina que en 24 horas una persona respira entre 7.200 y 8600 litros cada 24 horas, la calidad del aire no suele ser muy buena en las ciudades, por las contaminaciones por el tráfico vehicular, la industria y muchas otras actividades.

Podemos afirmar que existe una relación entre la calidad del aire que respiramos y la salud humana.

El objetivo del presente trabajo es, utilizar las redes neuronales artificiales, para crear un modelo que nos permita realizar un pronóstico de la calidad del aire en la ciudad de El Alto de manera precisa y con una mayor antelación.

Para ello, se dará uso de datos históricos de la calidad del aire en el Alto, Red MoniCA (Red de Monitoreo de la Calidad del Aire – El Alto) y la climatología de la ciudad. Estos datos serán analizados y preparados para ser utilizados con técnicas y algoritmos de Redes Neuronales Artificiales.

A partir de estos modelos generados, se comprobará si es posible realizar un pronóstico de la calidad del aire en El Alto con un suficiente precisión y antelación.

ABSTRACT

Humans breathe in and out between five and six liters of air per minute, this determines that in 24 hours a person breathes between 7,200 and 8,600 liters every 24 hours, the quality of the air is usually not very good, due to contamination by vehicular traffic, industry and many other activities.

We can affirm that there is a relationship between the quality of the air we breathe and human health.

The objective of this work is to use artificial neural networks to create a model that allows us to make a forecast of air quality in the city of El Alto accurately and with greater anticipation.

To do this, use will be made of historical data on air quality in El Alto, Red MoniCA (Air Quality Monitoring Network - El Alto) and the city's climatology. These data will be analyzed and prepared to be used with Artificial Neural Network techniques and algorithms.

From these generated models, it will be checked if it is possible to make a forecast of air quality in El Alto with sufficient precision and in advance.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. MARCO PRELIMINAR.....	2
1.1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.2. ANTECEDENTES.....	3
1.2.1. Antecedentes Afines a la Investigación	3
1.2.1.1. Antecedentes Internacionales	3
1.2.1.2. Antecedentes Nacionales	4
1.2.1.3. Antecedentes Locales	5
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.3.1. Problema General.....	5
1.3.2. Problemas Específicos	5
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.5. OBJETIVOS	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.5.2. Objetivos Específicos	6
1.6. HIPÓTESIS	6
1.6.1. Operacionalización de Variables	7
1.6.1.1. Variables Independientes	7
1.6.1.2. Variable Dependiente	7
1.6.1.3. Variable Interviniente	7
1.6.1.4. Variable Moderante	7
1.6.2. Docimasia de Hipótesis	7
1.7. JUSTIFICACIÓN.....	8
1.7.1. Justificación Científica	8
1.7.2. Justificación Técnica.....	8
1.7.3. Justificación Económica	9
1.7.4. Justificación Social	9
1.8. METODOLOGÍA.....	9

1.8.1.	Método Científico.....	9
1.8.2.	Metodología Ágil Programación Extrema XP.....	10
1.8.3.	Métrica de Calidad ISO/IEC 9126.....	10
1.9.	HERRAMIENTAS DE DESARROLLO.....	11
1.9.1.	Hardware.....	11
1.9.2.	Software.....	11
1.10.	LÍMITES Y ALCANCES.....	13
1.10.1.	Limites.....	13
1.10.2.	Alcances.....	14
1.11.	APORTES.....	14
2.	MARCO TEÓRICO.....	16
2.1.	INTRODUCCIÓN.....	16
2.2.	EL AIRE.....	16
2.3.	LA ATMÓSFERA.....	17
2.3.1.	Composición y Estructura de la Atmósfera.....	17
2.3.2.	Contaminación del Aire.....	18
2.3.3.	Contaminantes Atmosféricos.....	19
2.3.4.	Principales Contaminantes Atmosféricos.....	19
2.3.4.1.	Partículas Menores a 10 micras, PM10.....	19
2.3.4.2.	Dióxido de Nitrógeno, NO ₂	20
2.3.4.3.	Ozono Troposférico, O ₃	21
2.3.5.	Fuentes de Contaminantes Atmosféricos.....	21
2.4.	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PM10, NO ₂ Y O ₃	22
2.5.	INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	22
2.5.1.	Neurona Biológica.....	23
2.5.2.	La Neurona Artificial.....	26
2.5.3.	Aplicaciones de las Redes Neuronales Artificiales.....	27
2.5.4.	Perceptrón.....	30
2.5.5.	Redes de Retropropagación (Backpropagation).....	31
2.6.	REDES NEURONALES RECURRENTE.....	32
2.6.1.	Redes de Memoria Corta y Larga LSTM.....	37

2.7.	MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN	41
2.7.1.	Modelo.....	43
2.8.	MÉTODO CIENTÍFICO.....	43
2.8.1.	Concepto	43
2.8.2.	Objetivo del Método Científico.....	45
2.8.3.	Etapas del Método Científico.....	46
2.9.	METODOLOGÍA ÁGIL PROGRAMACION EXTREMA, XP	47
2.9.1.	Origen.....	47
2.9.2.	Objetivos de XP	47
2.9.3.	Características.....	47
2.9.4.	Ciclo de vida de la Programación Extrema.....	48
2.9.4.1.	La fase de exploración.....	49
2.9.4.2.	La fase de planificación	50
2.9.4.3.	Fase de iteraciones	50
2.9.4.4.	La fase de producción	51
2.9.4.5.	La fase de mantenimiento	52
2.9.4.6.	La fase muerte del proyecto	52
2.9.5.	Herramientas de la Metodología XP	52
2.9.5.1.	Historias de Usuario	52
2.9.5.2.	Tareas de ingeniería.....	53
2.9.5.3.	Pruebas de aceptación.....	54
2.9.5.4.	Tarjetas CRC (clase - responsabilidades - colaboradores)	55
2.10.	MÉTRICA DE CALIDAD ISO 9126.....	56
2.11.	HARDWARE.....	57
2.11.1.	Computadora.....	57
2.12.	SOFTWARE	58
2.12.1.	Python	58
2.12.1.1.	Historia.....	58
2.12.1.2.	Sintaxis	59
2.13.	LIBRERÍAS.....	62

2.13.1. La librería Pandas.....	62
2.13.2. La librería Matplotlib	63
3. MARCO APLICATIVO	67
3.1. INTRODUCCIÓN.....	67
3.2. ESQUEMA DEL SISTEMA	68
3.3. ESQUEMA DEL MODELO	68
3.4. APLICANDO LA METODOLOGÍA PROGRAMACIÓN EXTREMA (XP).....	69
3.4.1. Planificación	69
3.4.1.1. Historias de usuario	69
3.4.2. Asignación de roles	74
3.4.3. Plan Entrega del Proyecto	74
3.4.4. Ciclo de vida del proyecto.....	75
3.4.4.1. Primera iteración.....	75
3.4.5. Tareas de ingeniería.....	75
3.5. ÁREA DE ESTUDIO	87
3.6. RECOLECCIÓN DE DATOS	88
3.6.1. Monitoreo de calidad del aire.....	88
3.6.1.1. Análisis Estadístico de los Datos	89
3.6.2. Datos Meteorológicos en la Ciudad de El Alto.....	101
3.7. EXPLORACIÓN DE LOS DATOS	103
3.7.1. Correlación lineal de datos	103
3.8. CALIDAD DE LOS DATOS.....	107
3.9. DESARROLLO DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES	107
3.9.1. Desarrollo de la RNA.....	107
3.9.1.1. Elección del modelo.....	107
3.9.1.2. Selección de la herramienta	107
3.9.2. Construcción de la RNA	107
3.9.2.1. Preparación de datos.....	107
3.9.2.2. Construcción de los conjuntos de prueba y entrenamiento	110
3.9.2.3. Arquitectura de la red neuronal	110
3.9.2.4. Entrenamiento de la Red	112

3.9.2.5. Prueba o test de red	113
3.9.2.6. Análisis de resultados	115
3.9.3. Transferencia Tecnológica	117
4. PRUEBAS Y RESULTADOS	119
4.1. MÉTRICAS DE CALIDAD.....	119
4.1.1. Funcionalidad	119
4.1.2. Confiabilidad.....	119
4.1.3. Usabilidad.....	120
4.1.4. Eficiencia	121
4.1.5. Mantenibilidad	122
4.1.6. Portabilidad.....	122
4.1.7. Resultados.....	123
4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	123
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
5.1. CONCLUSIONES.....	128
5.2. RECOMENDACIONES.....	128
6. REFERENCIAS.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Neurona Biológica	24
Figura 2.2.	Salto Sináptico	25
Figura 2.3.	Red neuronal artificial simple	27
Figura 2.4.	Estructura del Perceptrón.....	31
Figura 2.5.	Red de dos capas	32
Figura 2.6.	Red neuronal recurrente.....	33
Figura 2.7.	Arquitectura one-to-many	34
Figura 2.8.	Arquitectura many-to-one	35
Figura 2.9.	Arquitectura many-to-many	35
Figura 2.10.	Estructura de una red LSTM	38
Figura 2.11.	Estado de la red LSTM	38
Figura 2.12.	Fase de olvido de la información.....	39
Figura 2.13.	Información a añadir al estado	40
Figura 2.14.	Modificación del estado.....	40
Figura 2.15.	Generación de salida	41
Figura 2.16.	Distinción entre modelamiento y simulación.	42
Figura 2.17.	Rueda de Wallace.....	45
Figura 2.18.	Etapas del método científico	46
Figura 2.19.	Comunicación cliente-desarrollador	48
Figura 2.20.	Fases del ciclo de vida de la Programación Extrema.....	49
Figura 2.21.	Modelo de la calidad ISO/IEC 9126	57
Figura 2.22.	Programa hola mundo en C++	59
Figura 2.23.	Programa Hola Mundo en Python	60
Figura 2.24.	Logo librería de Pandas	62
Figura 2.25.	Gráfico con matplotlib	64
Figura 2.26.	Gráficos con matplotlib.....	65
Figura 3.1.	Esquema del modelo propuesto	68
Figura 3.2.	Pantalla menú principal	84
Figura 3.3.	Pantalla cargar datos.....	85
Figura 3.4.	Pantalla gráficos.....	85

Figura 3.5.	Pantalla menú modelo.....	86
Figura 3.6.	Pantalla guardar datos	86
Figura 3.7.	Pantalla visualizar datos.....	87
Figura 3.8.	Mapa de ubicación de puntos de monitoreo, El Alto	88
Figura 3.9.	NO2 estación Camino Laja.....	90
Figura 3.10.	NO2 estación Villa ingenio	90
Figura 3.11.	NO2 estación Villa Adela.....	91
Figura 3.12.	NO2 estación Plaza del Minero.....	91
Figura 3.13.	NO2 estación Plaza 16 de julio	92
Figura 3.14.	NO2 estación Ex Tranca Rio Seco.....	92
Figura 3.15.	NO2 estación Desvió de la Ceja	93
Figura 3.16.	Total, NO2 en El Alto	93
Figura 3.17.	O3, Estación Camino Laja.....	94
Figura 3.18.	O3, Estación Villa Ingenio	95
Figura 3.19.	O3 Estación Villa Adela.....	95
Figura 3.20.	O3, estación Plaza del Minero	96
Figura 3.21.	O3, estación Ex Tranca Rio Seco	96
Figura 3.22.	O3 estación Desvió de la Ceja.....	97
Figura 3.23.	Total, de O3 en El Alto	97
Figura 3.24.	PM10 estación Alcaldía Quemada	98
Figura 3.25.	PM10 estación Ciudad Satélite	99
Figura 3.26.	PM10 estación Avenida Bolivia	99
Figura 3.27.	PM10 estación Transporte Aéreo Militar	100
Figura 3.28.	Total, de PM10 en El Alto.....	100
Figura 3.29.	Temperatura Media (°C).....	101
Figura 3.30.	Humedad Relativa Media	101
Figura 3.31.	Precipitación Total.....	102
Figura 3.32.	Velocidad del Viento	102
Figura 3.33.	Diagrama de coeficiente de relación de Pearson.....	106
Figura 3.34.	Datos registrados RED MONICA	108
Figura 3.35.	Set de datos estructurados	109

Figura 3.36.	Proceso de perdida durante el entrenamiento	113
Figura 3.37.	Predicción datos de prueba.....	114
Figura 3.38.	Predicción datos de entrenamiento	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1.	Esquema prototipo del sistema.....	68
Tabla 3.1.	Historia de usuario menú principal del sistema	70
Tabla 3.2.	Historia de usuario, carga de datos al sistema	71
Tabla 3.3.	Historia de usuario grafica de datos	71
Tabla 3.4.	Historia de usuario menú modelo de Simulación.....	72
Tabla 3.5.	Historia de usuario exportación de datos.....	72
Tabla 3.6.	Historia de usuario visualización de datos	73
Tabla 3.7.	Historia de usuario generar PDF	73
Tabla 3.8.	Asignación de roles del proyecto	74
Tabla 3.9.	Plan de entrega del proyecto	74
Tabla 3.10.	Historias de usuario.....	75
Tabla 3.11.	Tareas de ingeniería.....	75
Tabla 3.12.	Tarea de ingeniería 1 para historia de usuario 1	76
Tabla 3.13.	Tarea de ingeniería 2 para historia de usuario 2	76
Tabla 3.14.	Tarea de ingeniería 3 para historia de usuario 3	77
Tabla 3.15.	Tarea de ingeniería 4 para historia de usuario 3	77
Tabla 3.16.	Tarea de ingeniería 5 para historia de usuario 4	78
Tabla 3.17.	Tarea de ingeniería 6 para historia de usuario 5	78
Tabla 3.18.	Tarea de ingeniería 7 para historia de usuario 6	79
Tabla 3.19.	Tarea de ingeniería 8 para historia de usuario 7	79
Tabla 3.20.	Pruebas de aceptación.....	80
Tabla 3.21.	Caso de prueba ingreso al menú principal	81
Tabla 3.22.	Caso de prueba carga de datos	81
Tabla 3.23.	Caso de prueba visualizar gráficas	82
Tabla 3.24.	Caso de prueba ingreso menú de simulaciones.....	82
Tabla 3.25.	Caso de prueba guardar datos generados	83
Tabla 3.26.	Caso de prueba Visualizar datos.....	83
Tabla 3.27.	Caso de prueba Generar PDF.....	84
Tabla 3.28.	Datos generales de la Ciudad de El Alto	88
Tabla 3.29.	Ubicación de sitios de monitoreo Municipio de El Alto	89

Tabla 3.30.	Resultado de los mejores modelos NO2	115
Tabla 3.31.	Resultado de los mejores modelos O3.....	115
Tabla 3.32.	Resultado de los mejores modelos PM10	116
Tabla 4.2.	Ponderación de Funcionalidad	119
Tabla 4.3.	Ponderación de métricas internas usabilidad	120
Tabla 4.4.	Totales de métricas internas de usabilidad.....	120
Tabla 4.5.	Evaluación de desempeño	121
Tabla 4.6.	Análisis global de calidad	123
Tabla 4.7.	Comparación de datos generados por el modelo	125
Tabla 3.33.	Resultados del cálculo de error del modelo.....	126



CAPÍTULO I

MARCO PRELIMINAR

1. MARCO PRELIMINAR

1.1. INTRODUCCIÓN

El hombre se ha caracterizado siempre por su búsqueda constante de nuevas vías para mejorar sus condiciones de vida. Estos esfuerzos le han servido para reducir el trabajo en aquellas operaciones en las que la fuerza juega un papel primordial. Los progresos obtenidos han permitido dirigir estos esfuerzos a otros campos como, por ejemplo, a la construcción de máquinas que ayuden a resolver de forma automática y rápida determinadas operaciones que resultan tediosas cuando se realizan a mano. (Matich, 2001), dado por esta razón es importante señalar la importancia de la tecnología de la Inteligencia Artificial teniendo muchas aplicaciones que se puede ser usado para diseñar modelos de cómputo inspirado en las neuronas biológicas pudiendo así resolver problemas prácticos utilizando algoritmos de aprendizaje.

La Contaminación del Aire es una creciente preocupación a nivel mundial debido a las implicaciones que esta tiene en la destrucción del planeta tierra, sin embargo, existen también repercusiones en la salud y calidad de vida en la población, quizá la repercusión más directa a la salud es que el hombre para poder vivir necesita aire, siendo este un recurso vital como indispensable, la importancia de este trabajo radica en Proyectar la Contaminación del Aire en la ciudad El Alto por la creciente contaminación del aire.

Así mismo se propone realizar predicciones mediante el Uso de Redes Neuronales Artificiales, enfocándose en los análisis de resultados obtenidos.

Para desarrollar el presente trabajo de grado se usaron el lenguaje de programación Python que tiene una sintaxis sencilla que cuenta con una basta biblioteca de herramientas y bibliotecas, la librería Pandas que es fundamental para realizar análisis de datos, usando la librería *tensorflow* para la creación de Redes Neuronales Artificiales entre otros, también para su desarrollo se aplica las diferentes metodologías, el método científico que consiste en la observación sistémica, medición y experimentación, metodología de programación extrema XP para el desarrollo del software, y La métrica de calidad de software ISO/IEC 9126, que establece el nivel de calidad del software.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. Antecedentes Afines a la Investigación

1.2.1.1. Antecedentes Internacionales

(Maestre, 2020). “**Predicción de la calidad del aire de la ciudad de Medellín y su área metropolitana mediante es uso de redes neuronales recurrentes**”, proyecto desarrollado en la Universidad Oberta de Catalunya. Su prioridad es predecir los niveles de material particulado PM2.5 provenientes por fuentes móviles y fijas mediante modelos de redes neuronales recurrentes RNN, GRU, LSTM y un modelo hibrido que combina LSTM y MPL.

(Jacinto, 2019). “**Redes neuronales para la predicción de contaminación del aire en Carabayllo Lima**”, tesis desarrollada en la Universidad Nacional Federico Villaroel. Su prioridad es desarrollar un modelo de pronóstico del comportamiento de las variables de contaminación ambiental de material particulado MP2.5 y MP10 usando datos reales de la estación automatizada de la calidad del aire del distrito de Carabayllo en intervalo de 2 años.

(Pelete y Jacques, 2017). “**Modelo urbano de simulación de emisiones de contaminantes del parque vehicular**”, esta tesis fue realiza en la Universidad Católica de Chile. Esta tesis busca generar un modelo para estimar las emisiones de contaminantes provenientes del parque vehicular urbano a lo largo del tiempo. Un objetivo secundario es que el modelo sea realista, flexible y requiera la menor cantidad de información posible, el modelo estima un alza de las mismas dentro de los próximos 20 años. Se evalúan diversos escenarios, destacando que el más atractivo para disminuir las emisiones es incentivar la participación de vehículos eléctricos.

(Gómez, 2017). “**Contaminación del Aire en Medellín por PM10 y PM2.5 y sus efectos en la Salud**”. El presente trabajo trata de la calidad del aire en Medellín que se ha convertido en los últimos 10 años, orientado a lograr cambios estructurales para la solución permanente de la contaminación. Si bien la contaminación de aire está asociada con los porcentajes de emisión anual y 24 horas de contaminantes como óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx), ozono (O3), gas carbónico (CO2),

material particulado respirables (PM10), material particulado de fracción fina (PM2.5) generados a nivel industrial y por el parque automotor.

1.2.1.2. Antecedentes Nacionales

(Ventura, Morales y Gelabert, 2020). “**Contaminación Atmosférica y enfermedades respiratorias en Cochabamba Bolivia**”, investigación realizada en Cochabamba. Su objetivo es asociar los niveles de contaminación atmosférica y la morbilidad respiratoria para esto se usaron los materiales y métodos el Estudio ecológico observacional realizado a la población urbana de la ciudad de Cochabamba, los datos se recolectaron a través de la red de monitoreo de la calidad de aire de Cochabamba.

(Mariaca, 2015). “**Biomonitoreo de contaminación atmosférica por material particulado en Acacia (Acacia melanoxylon) en la Ciudad de El Alto**”, este proyecto fue realizado en la Universidad Mayor de San Andrés. Su prioridad es el biomonitoreo que brinda un sencillo método y económico para lograr evaluar la calidad del aire efectúa como una alternativa para contar con datos sobre la contaminación del aire se produce en zonas industriales y las de alto tráfico vehicular. Algunas industrias, como las fundiciones y las industrias metálicas, emiten gases muy tóxicos debido a que no poseen filtros ni toman medidas para mitigar la contaminación.

(Tarqui, 2015). “**Modelo de simulación de la dinámica de tránsito vehicular bajo en enfoque microscópico**”, proyecto realizado en la Universidad Mayor de San Andrés. Propone un modelo bajo el enfoque microscópico que utiliza autómatas celulares para el flujo de tránsito vehicular de una vía con dos carriles que se desplazan de izquierda a derecha, se usa vehículos del mismo tipo, se consideran su velocidad máxima y mínima, los resultados de las simulaciones nos permiten obtener comportamiento apegados a la realidad del flujo en una vía con dos carriles, los resultados obtenidos son comparados con datos reales, por vía los parámetros del diagrama fundamental.

1.2.1.3. Antecedentes Locales

(Marin, 2020). **“modelo matemático para estimar el impacto ambiental de la emisión de gases contaminantes en la ciudad de el alto”**, tesis de grado realizado en la Universidad Pública de El Alto. Propone realizar un modelo matemático sobre impacto en la salud de la población por la emisión de los gases contaminantes mediante el pronóstico de patrones de comportamiento que permitan el control del mismo.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Problema General

La creciente contaminación del Aire en la Ciudad de El Alto es uno de los problemas que tiene nuestra ciudad provocando daños a la salud, debido a este incremento de la contaminación del Aire, se hace necesario hacer un estudio, de manera que podamos anticiparnos a futuros problemas.

1.3.2. Problemas Específicos

- La concentración de los contaminantes atmosféricos en la ciudad de El Alto y la ausencia de la descripción de los tipos de contaminantes atmosféricos, lo que provoca enfermedades respiratorias a la ciudadanía alteña.
- Ausencia de técnicas de caracterización en los niveles de la contaminación del aire en los diferentes puntos de monitoreo lo que provoca la desinformación de las autoridades y la ciudadanía sobre los puntos rojos de contaminación del aire de los distintos puntos de monitoreo.
- Ausencia de estudios sobre la contaminación del aire y su posible correlación con la climatología de la ciudad del El Alto, lo que provoca la desinformación de las posibles causas de elevada contaminación.
- Ausencia de aplicación de técnicas de Inteligencia artificial para el estudio de la contaminación atmosférica en la ciudad del El Alto, lo que no amplía los estudios desde distintas perspectivas tecnológicas.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible obtener datos para que se puedan caracterizar los niveles de contaminación en la Ciudad de El Alto y que a partir de ello se puede crear un Modelo de Simulación y un prototipo de software de la contaminación del Aire, que permitirá anticiparse a los escenarios de elevada contaminación?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Calcular los niveles de contaminación en la Ciudad de El Alto, mediante la aplicación de Redes Neuronales Artificiales, partiendo de los datos reales y técnicas de limpieza de la información, para obtener una evaluación de los datos generados por los modelos resultantes.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Conocer los estudios realizados y los antecedentes sobre la calidad del aire en la ciudad de El Alto.
- Aplicar técnicas de limpieza de datos vacíos, nulos para el procesamiento de información, así identificar la magnitud de la contaminación del aire en los puntos de monitoreo.
- Identificar la naturaleza, magnitud y causas de la contaminación del aire con la climatología de la ciudad de El Alto.
- Determinar el mejor modelo basado en Redes Neuronales Artificiales, para la simulación de los contaminantes atmosféricos y evaluar resultados bajo los estándares de calidad ambiental.

1.6. HIPÓTESIS

Es posible obtener datos para que se puedan caracterizar los niveles de contaminación en la Ciudad de El Alto y que a partir de estos datos se puede crear un Modelo de Simulación de la contaminación del Aire, con un nivel de confianza de 85% a 97%, que permitirá anticiparse a los escenarios de elevada contaminación.

1.6.1. Operacionalización de Variables

1.6.1.1. Variables Independientes

En base a parámetros técnicos investigados de cuantificación, se distinguen los siguientes contaminantes:

- Temperatura.
- Humedad Relativa.
- Velocidad del viento.
- Precipitación
- Contaminación con NO₂, NO₃ Y PM₁₀ por puntos de monitoreo.

1.6.1.2. Variable Dependiente

El cambio de los niveles de contaminación y el análisis de datos climatológicos y el estudio de su incidencia de los niveles de contaminación:

- Contaminación Estimada.

1.6.1.3. Variable Interviniente

- Modelo Resultante

1.6.1.4. Variable Moderante

- Red de monitoreo de la calidad del aire (Red MoniCa) de el Alto.
- Ministerio de Salud.
- Instituto Nacional de Estadística (INE).
- Senamhi.

1.6.2. Docimasia de Hipótesis

Ho

Es posible obtener datos para que se puedan caracterizar los niveles de contaminación en la Ciudad de El Alto y que a partir de estos datos se puede crear un Modelo de Simulación de la contaminación del Aire, con un nivel de confianza de 95%, que permitirá anticiparse a los escenarios de elevada contaminación.

Ha

NO, es posible obtener datos para que se puedan caracterizar los niveles de contaminación en la Ciudad de El Alto y que a partir de estos datos se puede crear un Modelo de Simulación de la contaminación del Aire, con un nivel de confianza de 95%, que permitirá anticiparse a los escenarios de elevada contaminación.

1.7. JUSTIFICACIÓN

1.7.1. Justificación Científica

Durante estas últimas décadas se ha profundizado la investigación sobre la Contaminación del Aire, con distintas disciplinas científicas, se plantea debido a esto la construcción de Modelos para simular la Contaminación del Aire y con la ayuda de los modelos de Redes Neuronales Artificiales (RNA) se proyectará la calidad del Aire y así poder contribuir con este modelo a profesionales y áreas específicas del mismo y a la sociedad en común.

El presente trabajo aborda concretamente en la aplicación de uno modelo de predicción aplicando Redes Neuronales Artificiales, en el cual describe la incidencia de la Calidad del Aire a través del tiempo, por lo cual es importante aportar con nuevos enfoques que amplié en el conocimiento del tema, y se espera que con el desarrollo de este proyecto contribuya a la investigación científica.

1.7.2. Justificación Técnica

El trabajo de investigación se justifica técnicamente ya que se desarrollará un modelo que servirá como otra herramienta, es decir el modelo presentado que puede ser combinado con los modelos para adaptarlos en los procesos de los mismos.

Se debe destacar el desarrollo de tecnologías llevadas a cabo a nivel mundial, sin los cuales los avances logrados hasta ahora en el campo de la simulación y la Inteligencia Artificial no estarían en la posición de importancia en la que se encuentra en la actualidad, también se justifica técnicamente por el desarrollo de un modelo basado en modelos matemáticos, para ello no es necesario equipos ni herramientas sofisticadas, bastara con un equipo computacional puesto que en ella estará instalada un amplio de programas de apoyo especializado y que contienen varias funciones especializadas, que en la actualidad cubren muchas áreas del mundo de la ingeniería,

como el proceso de imágenes, estadísticas, matemática, Redes Neuronales Artificiales, lógica difusa, sistemas neuro-difusos, entre otros.

1.7.3. Justificación Económica

La justificación económica del presente trabajo se fundamenta en los bajos costos ya que se implementará el prototipo en una computadora con características básicas. También al disponer de todos los componentes necesarios así como una gran variedad de alternativas en el mercado con precios módicos y convenientes, además que el producto resultante del presente trabajo coadyuvará a una mejor toma de decisiones para evitar futuros problemas, y beneficiará a la población ya que al ver el incremento la Contaminación en la Ciudad de El Alto, Ayudara a los tomadores de decisiones para tomar medidas acertadas, al mismo tiempo beneficiara a las instituciones responsables como el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, ya que minimizaran recursos económicos puesto que los resultados mostrados les servirá para prevenir sucesos posteriores, así tomando como otra alternativa de solución.

1.7.4. Justificación Social

El aumento de la Contaminación en la Ciudad de El Alto trae consigo efectos nocivos en la salud además de cambios en el clima que afectan a la población causando múltiples problemas, desde distintos puntos de vista; tanto para la salud de la población, en el entorno social y otros, a través de un mecanismo de Predicción se pretende contribuir al análisis de datos de estos problemas, el cual ayudara a tomar mejores decisiones a los organismos responsables para la disminución de los riesgos y mejorar la calidad ambiental.

1.8. METODOLOGÍA

1.8.1. Método Científico

La metodología a emplearse será la científica porque permite resolver de manera sistemática y ordena un trabajo de índole teórico donde nos proporciona un conjunto de procedimientos mediante los cuales es posible plantear problemas y poner a prueba la hipótesis científica, donde la investigación cumple un papel importante teniendo los siguientes pasos:

- La observación y el análisis.

- Planteamiento de la hipótesis
- Construcción del modelo teórico.
- Comprobación de la hipótesis.
- Conclusiones y recomendaciones.

1.8.2. Metodología Ágil Programación Extrema XP

Es una metodología ligera de desarrollo de aplicaciones que se basa en la simplicidad, comunicación y la realimentación del código desarrollado. (Melendez, Gaitan, & Pérez, 2016)

Se establece un ciclo de vida dividido en seis fases:

- Fase de exploración
- Fase de planificación
- Fase de iteraciones
- Fase de producción
- Fase de mantenimiento
- Fase muerte del proyecto

1.8.3. Métrica de Calidad ISO/IEC 9126

Esta norma Internacional fue publicada en 1992, la cual es usada para la evaluación de la calidad de software, llamado "*Information technology – Software product evaluation - Quality characteristics and guidelines for their use*"; o también conocido como ISO 9126 (o ISO/IEC 9126). (Largo & Marin, 2005, pág. 9)

Este estándar describe 6 características generales:

- Funcionalidad
- Confiabilidad
- Usabilidad
- Eficiencia

- Mantenibilidad
- Portabilidad

1.9. HERRAMIENTAS DE DESARROLLO

Las herramientas que serán utilizadas para el desarrollo tanto como en la parte de software y hardware son las siguientes:

1.9.1. Hardware

Computadora: Es una máquina capaz de efectuar una secuencia de operaciones mediante un programa, de tal manera, que se realice un procesamiento sobre un conjunto de datos de entrada, obteniéndose otro conjunto de datos de salida, por lo cual se mencionan lo más básico que tiene un computador.

- **Microprocesador:** Core 2 Dúo o superior
- **Velocidad del procesador:** 5MHz (Mega Hertz)
- **Capacidad de la RAM:** 4 GB de RAM
- **Almacenamiento Interno:** 1 TB de espacio

1.9.2. Software

El software nos permite comunicar al computador los problemas y hace posible que nos devuelva las soluciones. Los programas que están en el computador se les llama *software* que es una estructura de instrucciones que la máquina es capaz de leer, por ese motivo se da a conocer los softwares que servirán de herramienta para el desarrollo del presente trabajo.

- **Sistema Operativo:** Windows 7 /8/ 8.1 /10, que es un sistema operativo multitarea diseñado para ejecutar en diversos computadores personales, estaciones de trabajo y servidores. Es uno de los pocos sistemas operativos comerciales diseñado esencialmente desde cero. Debido a esto esta es una buena posición para incorporar de una manera nítida los más recientes desarrollos en la tecnología de sistemas operativos.
- **Python:** Python es un lenguaje de programación de alto nivel multiparadigma que permite:

- ✓ Programación imperativa
- ✓ Programación funcional
- ✓ Programación orientada a objetos

Fue creado por Guido van un lenguaje de programación versátil multiplataforma que se destaca por su código legible y limpio y amplia variedad de librerías.

- **PANDAS:** Pandas es un paquete de Python que proporciona estructuras de datos rápidas, flexibles y expresivas diseñadas para hacer que el trabajo con datos "relacionales" o "etiquetados" sea fácil e intuitivo. Pretende ser el elemento fundamental de alto nivel para realizar análisis de datos prácticos y del mundo real en Python.
- **Matplotlib:** Librería para generación de gráficos con Python
 - ✓ Interfaz funcional estilo Matlab.
 - ✓ Interfaz orientada a objetos para un control más preciso del resultado
 - ✓ Salida de fichero de imagen o INLINE.
- **Numpy:** Es una librería de Python *open Source* que introduce los vectores y las matrices en Python. Posee numerosas funciones para trabajar con dichos vectores y matrices:
 - ✓ Está escrito en C.
 - ✓ Incluye funciones para operaciones de muchos tipos, matemática, de lógica difusa, de ordenación, estadísticas, etc.
 - ✓ Es muy usada en el mundo de *Data Science*, cualquier persona que trabaje en este mundo, probablemente usará a diario la librería Numpy.

- **Keras:** Es una biblioteca de código abierto (con licencia MIT) escrita en Python, el objetivo es acelerar la creación de las redes neuronales, presenta las siguientes ventajas.
 - ✓ Amplia compatibilidad entre plataformas para los modelos desarrollados.
 - ✓ Compatibilidad con múltiples motores de *backend*.
 - ✓ Excelente soporte para múltiples GPU.
 - ✓ Desarrollo por parte de grandes empresas.
- **Tensoflow:** Es una librería de código abierto para la creación de red neuronal. Creada por Google, esta librería ofrece una gran flexibilidad en la creación de redes neuronales y un gran potencial al poder utilizar tarjetas gráficas para ciertas tareas de cálculo intensivo.

1.10. LÍMITES Y ALCANCES

1.10.1. Límites

- Los motores empleados por los vehículos del parque emiten muchos otros contaminantes, como por ejemplo Hidrocarburos (HC), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y pequeñas cantidades de Azufre, entre otros, lo cual también implica que no todos contaminan del mismo modo, en el modelo no se consideran todos los tipos de contaminación.
- El desarrollo de prototipo propuesto se lo desarrollara en una plataforma del sistema operativo de Windows 10 y no en otras plataformas.
- El modelo de simulación tendrá un enfoque que se realizará en la Ciudad de El Alto, tomando datos estadísticos de la misma.
- No se pretende desarrollar un modelo que tome en cuenta casos fortuitos.

1.10.2. Alcances

- Módulo de Simulación de la Contaminación del Aire en la Ciudad de El Alto de los principales contaminantes atmosféricos.
- Módulo de Simulación de la Contaminación del Aire producido por Dióxido de Nitrógeno, ozono troposférico y material particulado, por estaciones de monitoreo.
- Módulo de acceso de datos proporcionado por la Alcaldía de El Alto.
- Visualización de gráficas sobre los datos generados por el modelo.
- Módulo, guardar los datos generados por el modelo y reportes en PDF.

1.11. APORTES

El aporte de la investigación será un prototipo gráfico visual de software de utilidad computacional basado en un modelo de RNAs, para la Simulación de la Contaminación del Aire en base a Redes Neuronales Artificiales, que será un modelo escrito bajo un lenguaje de programación. El mismo puede utilizar los datos encontrados en la investigación como las Municipalidades del El Alto para realizar planificaciones y la toma de decisiones a mediano y largo plazo.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se plantea la teoría y conceptos relacionados sobre la Contaminación del Aire, Redes Neuronales Artificiales (RNA) sobre la estructura de la neurona, las redes neuronales de tipo LSTM, la arquitectura de la red y aprendizaje, realizando una descripción de las técnicas para la predicción usando RNAs exponiendo sus aspectos esenciales, describiendo con brevedad alguno de los modelos conocidos y sus aplicaciones a la resolución de problemas prácticos.

2.2. EL AIRE

Conjunto de gases que forman la atmosfera, y es indispensable para el desarrollo de la vida en nuestro planeta, ya que es el recurso natural que mayor intercambio tiene con la biosfera (podemos resistir pocos minutos sin respirar), No es un recurso ilimitado, sino un bien limitado que podemos utilizar evitando cambios o alteraciones en su calidad que pongan en peligro el equilibrio biológico del sistema Tierra. (Cachi, Pari Mita, & Zalles Velazco, 2016, pág. 2)

Tabla 2.1 *Composición natural del aire*

Gas	%
Nitrógeno	78.08
Oxígeno	20.95
Argón	0.93
Anhídrido carbónico	0.03
Neón	0.018
Helio	0.005
Criptón	0.001
Hidrogeno	0.00006
Ozono	0.00004
Xenón	0.000008

Fuente: (Cachi, Pari Mita, & Zalles Velazco, 2016, pág. 2)

2.3. LA ATMÓSFERA

El hecho de que el planeta Tierra sea un lugar adecuado para la vida tal como la conocemos es principalmente una consecuencia de su clima moderado. Un requerimiento fundamental para la vida es el agua líquida, y la Tierra es el único planeta del Sistema Solar que la posee, la atmósfera de un planeta permite que penetre la luz solar, pero retarda la velocidad con que se pierde el calor. Sin el efecto invernadero, la temperatura promedio de la superficie de la Tierra sería de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, es decir, $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ más fría que el valor registrado– y sería un planeta congelado y estéril. (Camilloni & Vega, 2011, pág. 2)

Para entender cómo funciona la atmósfera, describiremos su composición, y también su naturaleza.

2.3.1. Composición y Estructura de la Atmósfera

La atmósfera de la Tierra es una cobertura gaseosa compuesta principalmente por nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2) molecular, con pequeñas cantidades de otros gases, como vapor de agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2). Aunque nuestra atmósfera tiene un espesor de varias centenas de kilómetros, cerca del 99 % de su masa gaseosa se encuentra dentro de los primeros 30 km cercanos a la superficie terrestre, el oxígeno también es consumido en la respiración de los seres vivos, por la que se libera dióxido de carbono. La incorporación de oxígeno a la atmósfera ocurre, en cambio, en los procesos de fotosíntesis. El dióxido de carbono, un componente natural de la atmósfera, ocupa alrededor del 0,036 % del volumen del aire, lo que es un pequeño pero importante porcentaje, el dióxido de carbono es removido de la atmósfera por los procesos de fotosíntesis. Los océanos actúan como reservorios enormes de dióxido de carbono, debido a que el fitoplancton lo fija en sus células. Este gas, que se disuelve directamente en el agua superficial, se mezcla “hacia abajo” y circula hasta las grandes profundidades. Se estima que los océanos almacenan más de 50 veces el dióxido de carbono presente en la atmósfera. Además del nitrógeno, el oxígeno, el vapor de agua y el dióxido de carbono, que son los gases principales, la atmósfera contiene otros en menor proporción que afectan el clima. Los más importantes son el ozono (O_3), el metano (CH_4), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los clorofluorocarbonos. (Camilloni & Vega, 2011, pág. 4)

Tabla 2.1 Gases de la Atmósfera

Gas	Formula química	Porcentaje (por volumen)
Gases permanentes		
Nitrógeno	N ₂	78,08
Oxígeno	O ₂	20,95
Argón	Ar	0,93
Neón	Ne	0,0018
Helio	He	0,0005
Hidrógeno	H ₂	0,00006
Xenón	Xe	0,000009
Gases variables		
Vapor de agua	H ₂ O	0 a 4
Dióxido de carbono	CO ₂	0,036
Metano	CH ₄	0,00017
Óxido nitroso	N ₂ O	0,00003
Ozono	O ₃	0,000004
Partículas (polvo, etc.)		0,000001
Clorofluorocarbonos (CFC)		0,00000002

Fuente: (Camilloni & Vega, 2011, pág. 3)

2.3.2. Contaminación del Aire

El aire de la atmósfera urbana está compuesto, además de la mezcla de gases mencionada anteriormente, por otros gases (principalmente dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono), por productos fotoquímicos (como el ozono) y por partículas y aerosoles (polvo, humos, cenizas, sales, etc.). La composición de la atmósfera urbana es consecuencia de las combustiones doméstica e industrial, del transporte, de la producción de energía, de la incineración de residuos, etc. Muchos de estos componentes de la atmósfera urbana se comportan como catalizadores que propician ciertas reacciones químicas y fotoquímicas (es decir, con la intervención de la radiación solar). Entre ellas cabe destacar la que conduce a la formación de ozono troposférico en áreas industriales y urbanas a causa de las emisiones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno por parte del parque automotor. Este ozono urbano nocivo entra en juego con otras reacciones para formar el smog fotoquímico. Gran parte de estos compuestos químicos que se encuentran presentes en la atmósfera urbana pueden

dar lugar a episodios de contaminación severa bajo ciertas condiciones meteorológicas. (Camilloni & Vega, 2011, pág. 8)

2.3.3. Contaminantes Atmosféricos

Se entiende por contaminación atmosférica “la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza”, la principal fuente de contaminación son los procesos que implican combustión, al producirse la oxidación de los distintos elementos que componen los combustibles, las materias primas y el aire, así pues, los contaminantes pueden clasificarse desde su propia génesis. El carbono presente en los combustibles y el nitrógeno del aire, al oxidarse en los procesos de combustión, generan dióxido de carbono (gas no tóxico, pero con importantes efectos indirectos sobre el medio ambiente y la salud, por su contribución al calentamiento global) y óxidos de nitrógeno respectivamente. Otros elementos constituyentes de los combustibles y materias primas determinan la emisión de partículas, óxidos de azufre, compuestos orgánicos volátiles (COV), dioxinas, furanos, etc. Por su parte, procesos de combustión incompletos generan la emisión de monóxido de carbono, partículas y bifenilos policlorados, entre otros. (Aránguez, y otros, 1999, pág. 124)

2.3.4. Principales Contaminantes Atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos, según Aránguez, y otros (1999) “El dióxido de azufre y las partículas derivadas de la oxidación de combustibles fósiles son los principales contaminantes atmosféricos urbanos del mundo” (pág.125), por lo tanto, contemplaremos dióxido de azufre (SO₂) y las partículas, otros contaminantes de interés: el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono (O₃).

A continuación, se presentan brevemente algunas características de los principales contaminantes atmosféricos.

2.3.4.1. Partículas Menores a 10 micras, PM10

Las PM10 son partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, de tamaño menor a 10 micras (µm) como diámetro aerodinámico. Su composición química incluye carbón elemental, compuestos orgánicos semivolátiles (hidrocarburos livianos), hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales pesados, óxidos metálicos, ácidos

(nitrógeno, sulfúrico), sulfatos, nitratos y agua. En otras palabras, estamos hablando de partículas formadas por polvo, cenizas, hollín, cemento, polen etc. (Cachi, Pari Mita, & Zalles Velazco, 2016, pág. 6)

Otro autor define el material particulado como, el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera, que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas (Suárez & Augusto, 2012, pág. 195)

El material particulado (MP) atmosférico es una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas presentes en el aire y su composición química representa una complejidad aún mayor. Para un mejor estudio, es común la medición de las fracciones del material particulado: partículas menores de 10 micrómetros (μm), MP10 y partículas menores de 2,5 μm , MP2,5, las cuales varían ampliamente con respecto a su concentración y composición química según el tiempo y lugar. Según su origen se clasifican en partículas primarias, provenientes de fuentes directas como: la quema de biomasa, combustión incompleta de combustibles fósiles, erupciones volcánicas, desgaste de carreteras, suelo, mar y materiales biológicos (fragmentos de plantas, microorganismos, polen, etc.); y partículas secundarias, provenientes principalmente de la conversión de gases a partículas en la atmósfera. (Suárez Salas, Álvares Tolentino, Bendejú, & Pomalaya, 2017, pág. 188)

2.3.4.2. Dióxido de Nitrógeno, NO₂

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) son contaminantes que se producen a través de dos procesos consecutivos. En primer lugar, las altas temperaturas alcanzadas en el proceso de combustión, provoca la combinación directa del oxígeno y el nitrógeno del aire formando óxido nítrico (NO), y luego éste se oxida parcialmente a NO₂. Por tanto, las instalaciones fijas de combustión, los vehículos de gasolina, y los motores Diesel emiten óxidos de nitrógeno (NO_x) con proporciones variables de NO₂ y NO. Posteriormente, el NO introducido en la atmósfera urbana por las fuentes emisoras se oxida a NO₂, principalmente por reacciones fotoquímicas. (Cachi, Pari Mita, & Zalles Velazco, 2016, pág. 9)

2.3.4.3. Ozono Troposférico, O₃

A diferencia de otros contaminantes, el ozono no es emitido de directamente al ambiente, es decir, se forma en la atmósfera mediante reacciones fotoquímicas en presencia de luz solar y contaminantes precursores, como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y diversos compuestos orgánicos volátiles (COV). Se destruye en reacciones con el NO₂ y se deposita en el suelo. Las concentraciones hemisféricas de fondo de ozono troposférico presentan variaciones en el tiempo y en el espacio, pero pueden alcanzar niveles medios de alrededor de 80 µg/m³ en ocho horas. Proceden de emisiones tanto antropogénicas como biogénicas (por ejemplo, COV de la vegetación) de precursores del ozono y de la intrusión descendente del ozono estratosférico hacia la troposfera. En efecto, el valor guía propuesto (OMS) se puede superar en ocasiones debido a causas naturales. El ozono puede irritar los ojos y los conductos pulmonares causando dificultades respiratorias e incrementando la susceptibilidad de las personas a las infecciones pulmonares, más aún si el paciente presenta alguna patología cardiaca o pulmonar de fondo. (Cachi, Pari Mita, & Zalles Velazco, 2016, pág. 10)

2.3.5. Fuentes de Contaminantes Atmosféricos

Las fuentes de contaminación atmosférica pueden ser naturales o artificiales (también antropogénicas) según intervenga o no la actividad humana. Las artificiales además pueden ser fijas o móviles (Encinas Malagón , 2011).

En la siguiente tabla muestra las principales fuentes de contaminación atmosférica.

Tabla 2.2 *Principales fuentes de contaminación atmosférica*

FUENTES NATURALES	FUENTES ARTIFICIALES	
	FIJAS	MÓVILES
Volcanes Incendios forestales por rayos Plantas en descomposición (agua y suelo) Océanos Suelo Tormentas eléctricas	Centrales térmicas Centrales nucleares Procesos industriales Incineración de residuos Calefacciones domésticas Quema de la biomasa	Vehículos diesel Vehículos gasolina Sin plomo

Fuente: (Encinas Malagón , 2011, pág. 16)

2.4. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PM10, NO2 Y O3

La normativa ambiental aplicable es la siguiente:

- Decreto Supremo N° 24176 del 8 de diciembre de 1995, reglamento de la Ley de Medio Ambiente N° 1333. Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA).
- La Norma Boliviana 62011:2008 que cuenta con límites máximos permisibles concordantes con las recomendaciones internacionales de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Tabla 2.3 Límites máximos permisibles PM10, NO2 y O3

CONTAMINANTE	PERIODO DE EXPOSICION	CONCENTRACIÓN LÍMITE RMCA LEY 1333	CONCENTRACION LIMITE NB-62011:2008 y VALOR GUÍA OMS (2006)
MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 µm (PM ₁₀)	24 Hrs. 1 año	150 µg/m ³ (media en 24 horas) 50 µg/m ³ (media anual)	50 µg/m ³ (media en 24 horas) 20 µg/m ³ (media anual)
DIÓXIDO DE NITRÓGENO NO ₂	1 hora 24 Hrs. 1 año	400 µg/m ³ (media en 1 hora) 150 µg/m ³ (media en 24 horas) -----	200 µg/m ³ (media en 1 hora) 150 µg/m ³ (media en 24 horas) 40 µg/m ³ (media anual)
OZONO TROPOSFÉRICO O ₃	1 hora 8 Hrs. 1 año	236 µg/m ³ (media en 1 hora) ----- -----	----- 100 µg/m ³ (media en 8 hora) 60 µg/m ³ (media anual)

Fuente: Ley 1333 de Medio Ambiente – RMCA (Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica), Norma Boliviana 62011:2008 y OMS

2.5. INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial es un tema complejo. Por esa razón, podemos encontrar distintas definiciones acerca de ella. Podríamos decir que la IA es la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, aprender de los datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones tal y como lo haría un ser humano. Sin embargo, a diferencia de las personas, los dispositivos basados en IA no necesitan descansar y pueden analizar

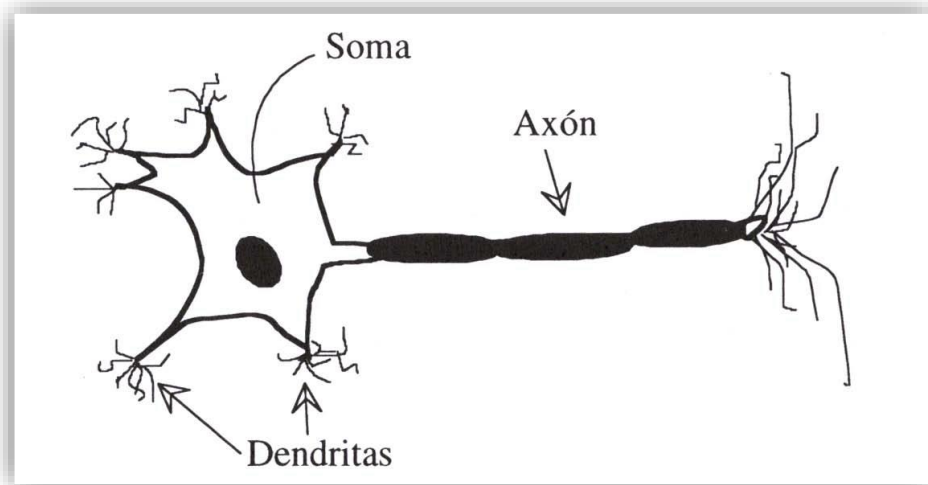
grandes volúmenes de información a la vez. Asimismo, la proporción de errores es significativamente menor en las máquinas que realizan las mismas tareas que sus contrapartes humanas. (Petteri Rouhiainen, 2018)

Se podría comenzar por destacar algunas propiedades generales que presenta la inteligencia humana, como por ejemplo la habilidad de enfrentar nuevas situaciones, la habilidad de resolver problemas, de responder preguntas, elaborar planes, etc. Desde sus inicios, el hombre se representó el mundo real mediante símbolos, los cuales constituyen la base del lenguaje humano. En este sentido, se podría considerar a la IA como un dialecto simbólico constituido por cadenas de caracteres que representan conceptos del mundo real. De hecho, los procesos simbólicos son una característica esencial de la IA. A partir de lo expuesto es posible formular una definición más aproximada de nuestro objeto de estudio: la IA es una rama de las ciencias computacionales que se ocupa de los símbolos y métodos no algorítmicos para la resolución de problemas. (Ponce Cruz, 2010)

2.5.1. Neurona Biológica

Las neuronas biológicas se caracterizan por su capacidad de comunicarse. Las dendritas y el cuerpo celular de la neurona reciben señales de entrada excitatorias e inhibitorias de las neuronas vecinas; el cuerpo celular las combina e integra y emite señales de salida. El axón transporta esas señales a los terminales axónicos, que se encargan de distribuir información a un nuevo conjunto de neuronas. Por lo general, una neurona recibe información de miles de otras neuronas y, a su vez, envía información a miles de neuronas más. (Palmer Pol & Montaña Moreno, 1999)

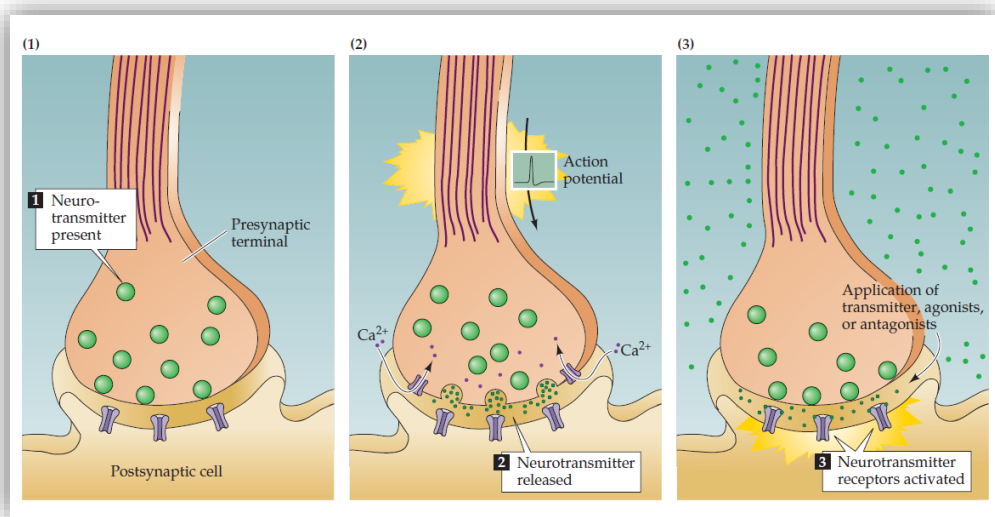
Figura 2.1. *Neurona Biológica*



Fuente: (Brío & Serrano Cinca, 1995, pág. 109)

Típicamente, las neuronas son 6 o 5 órdenes de magnitud **más lentas** que una compuerta lógica de silicio, los eventos en un chip de silicio toman alrededor de nanosegundos (10^{-9} s). mientras que en una neurona este tiempo es del orden de los milisegundos (10^{-3} s). Sin embargo, el cerebro compensa en forma excepcional la lentitud relativa en el funcionamiento neuronal con un número inmenso de neuronas con interconexiones masivas entre ellas. Se estima que el número de neuronas en el cerebro es del orden de 10^{10} , y que el número de conexiones sinápticas es 6×10^{13} . La red resultante que es el cerebro es una estructura enormemente eficiente. Específicamente, la eficiencia energética del cerebro es aproximadamente de 10^{-16} J= (operaciones E s). la cual es del orden de 10^{10} veces mayor que la de los mejores computadores en la actualidad. La mayoría de las neuronas codifican sus salidas como una serie de breves pulsos periódicos, llamados *potenciales de acción*, que se originan cercanos al soma de la célula y se propagan a través del axón. Luego, este pulso llega a las sinapsis y de ahí a las dendritas de la neurona siguiente. (Izaurieta & Saavedra, 2000, págs. 1-2)

Figura 2.2. Salto Sináptico



Fuente: (Purves, y otros, 2004, pág. 99)

El tipo más común de sinapsis es la *sinapsis química*, que funciona como sigue. Una señal neural eléctrica presináptica, llega al botón sináptico, allí esta hace que las vesículas sinápticas (en azul en nuestra figura) se rompan, liberándose así una sustancia llamada *neurotransmisor*. Esta sustancia química se difunde a través del espacio entre las neuronas. Luego, es captada por la dendrita, en donde estimula la emisión de un nuevo impulso eléctrico, postsináptico que se propaga hacia la derecha. Así vemos que las dendritas son las zonas receptoras de una neurona, siendo el axón una de las líneas de transmisión y los botones terminales comunican los impulsos a otras neuronas. En la neurona, hay dos comportamientos que son importantísimos para nosotros: El impulso que llega a una sinapsis y el que sale de ella no son iguales en general. El tipo de pulso que saldrá depende muy sensiblemente de la cantidad de neurotransmisor. Esta cantidad de neurotransmisor cambia durante el proceso de aprendizaje, es aquí donde se almacena la información. Una sinapsis modifica el pulso, ya sea reforzando o debilitándolo. En el soma se suman las entradas de todas las dendritas. Si están entradas sobrepasan un cierto umbral, entonces se transmitirá un pulso a lo largo del axón, en caso contrario no transmitirá. Después de transmitir un impulso, la neurona no puede transmitir durante un tiempo de entre 0.5 ms a 2 ms. A este tiempo se le llama periodo refractario. (Izaurieta & Saavedra, 2000, pág. 99)

2.5.2. La Neurona Artificial

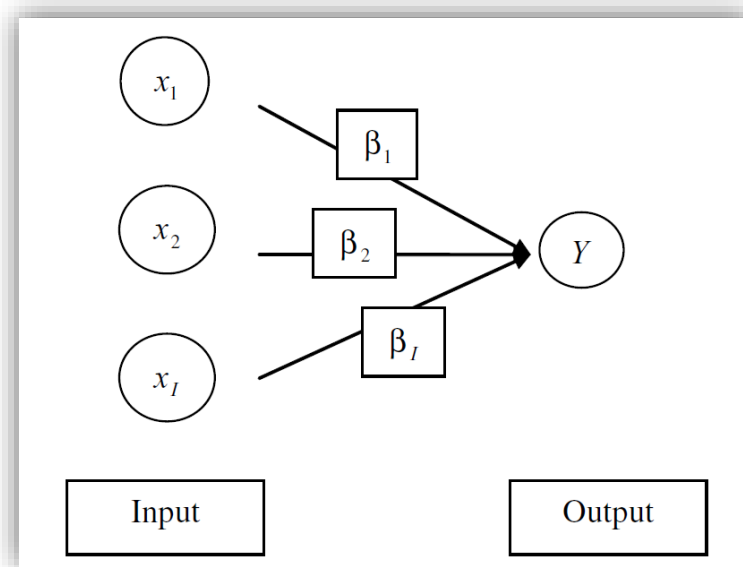
Aristizábal (2006) afirma lo siguiente: Las redes neuronales artificiales se inspiran en la estructura y funciones de las neuronas biológicas. Una red neuronal artificial es esencialmente una colección de neuronas interconectadas, agrupadas en capas haciendo un paralelo, la neurona artificial recibe distintos valores de entrada (inputs) que son multiplicados por una ponderación. En el escenario más simple, estos productos son sumados para obtener un valor de salida (output). Este tipo de red simplificada posee dos capas, una de inputs y otra de output. (pág. 85)

Por otro lado, Palmer Pol & Montaña Moreno (1999) menciona que: Consisten en un gran número de elementos simples de procesamiento llamados nodos o neuronas que están organizados en capas. Cada neurona está conectada con otras neuronas mediante enlaces de comunicación, cada uno de los cuales tiene asociado un peso. Los pesos representan la información que será usada por la red neuronal para resolver un problema determinado. Así, las RNA son sistemas adaptativos que aprenden de la experiencia, esto es, aprenden a llevar a cabo ciertas tareas mediante un entrenamiento con ejemplos ilustrativos. Mediante este entrenamiento o aprendizaje, las RNA crean su propia representación interna del problema, por tal motivo se dice que son autoorganizadas. Posteriormente, pueden responder adecuadamente cuando se les presentan situaciones a las que no habían sido expuestas anteriormente, es decir, las RNA son capaces de generalizar de casos anteriores a casos nuevos. Esta característica es fundamental ya que permite a la red responder correctamente no sólo ante informaciones novedosas, sino también ante informaciones distorsionadas o incompletas. En las RNA el tipo de procesamiento de la información es en paralelo, en el sentido de que muchas neuronas pueden estar funcionando al mismo tiempo. El tipo de representación de la información que manejan las RNA tanto en los pesos de las conexiones como en las entradas y salidas de información es numérica. (Palmer Pol & Montaña Moreno, 1999)

Las neuronas se organizan en capas, varias de ellas constituyen una red neuronal, que puede estar compuesta por millones de neuronas, conformando un subsistema con funcionalidad propia. El conjunto de subsistemas forma el sistema global (sistema nervioso), desde el punto de vista de la confección de SNA orientados

a la resolución de problemas prácticos, se establece una estructura jerárquica similar. El ladrillo básico es la neurona artificial, que se organiza en capas; varias capas constituyen una red neuronal, y una o más redes neuronales, junto con los interfaces de entrada/ salida y otros módulos adicionales constituyen el sistema global, un sistema neuronal (o un sistema conexionista, en general) se compone de los siguientes elementos: conjunto de neuronas, patrón de conexiones (arquitectura), dinámicas de recuerdo y de aprendizaje, y entorno. (Brío & Serrano Cinca, 1995, págs. 108 - 109)

Figura 2.3. *Red neuronal artificial simple*



Fuente: (Aristizábal, 2006, pág. 85)

2.5.3. Aplicaciones de las Redes Neuronales Artificiales

Las redes neuronales pueden utilizarse en un gran número y variedad de aplicaciones, tanto comerciales como militares, se pueden desarrollar redes neuronales en un periodo de tiempo razonable, con la capacidad de realizar tareas concretas mejor que otras tecnologías.

Hay muchos tipos diferentes de redes neuronales; cada uno de los cuales tiene una aplicación particular más apropiada. Algunas aplicaciones comerciales son:

Biología:

- ❖ Aprender más acerca del cerebro y otros sistemas.
- ❖ Obtención de modelos de la retina.

Empresa (Análisis de datos):

- ❖ Evaluación de probabilidad de formaciones geológicas y petrolíferas.
- ❖ Identificación de candidatos para posiciones específicas.
- ❖ Explotación de bases de datos.
- ❖ Optimización de plazas y horarios en líneas de vuelo.
- ❖ Optimización del flujo del tránsito controlando convenientemente la temporización de los semáforos.
- ❖ Reconocimiento de caracteres escritos.
- ❖ Modelado de sistemas para automatización y control.

Medio ambiente:

- ❖ Analizar tendencias y patrones.
- ❖ Previsión del tiempo.

Finanzas:

- ❖ Previsión de la evolución de los precios.
- ❖ Valoración del riesgo de los créditos.
- ❖ Identificación de falsificaciones.
- ❖ Interpretación de firmas

Manufacturación:

- ❖ Robots automatizados y sistemas de control (visión artificial y sensores de presión, temperatura, gas, etc.).
- ❖ Control de producción en líneas de procesos.
- ❖ Inspección de la calidad.

Medicina:

- ❖ Analizadores del habla para ayudar en la audición de sordos profundos.
- ❖ Diagnóstico y tratamiento a partir de síntomas y/o de datos analíticos (electrocardiograma, encefalogramas, análisis sanguíneo, etc.).
- ❖ Monitorización en cirugías.
- ❖ Predicción de reacciones adversas en los medicamentos.
- ❖ Entendimiento de la causa de los ataques cardíacos.

Militares:

- ❖ Clasificación de las señales de radar.
- ❖ Creación de armas inteligentes.
- ❖ Optimización del uso de recursos escasos.
- ❖ Reconocimiento y seguimiento en el tiro al blanco

La mayoría de estas aplicaciones consisten en realizar un reconocimiento de patrones, como ser: buscar un patrón en una serie de ejemplos, clasificar patrones, completar una señal a partir de valores parciales o reconstruir el patrón correcto partiendo de uno distorsionado. El dominio de aplicación de las redes neuronales también se lo puede clasificar de la siguiente forma: asociación y clasificación, regeneración de patrones, regresión y generalización, y optimización. (Matich, 2001, págs. 34-35)

Basogain Olabe (2008) da a conocer los diferentes tipos de aplicaciones de la inteligencia artificial mencionando algunas de ellas: conversión texto a voz, procesado natural del lenguaje, compresión de imágenes, reconocimiento de caracteres, reconocimiento de patrones en imágenes, problemas de combinatoria, procesado de la señal predicción, modelado de sistemas, filtro de ruido, modelos económicos y financieros, servo control, etc. (págs. 9-11)

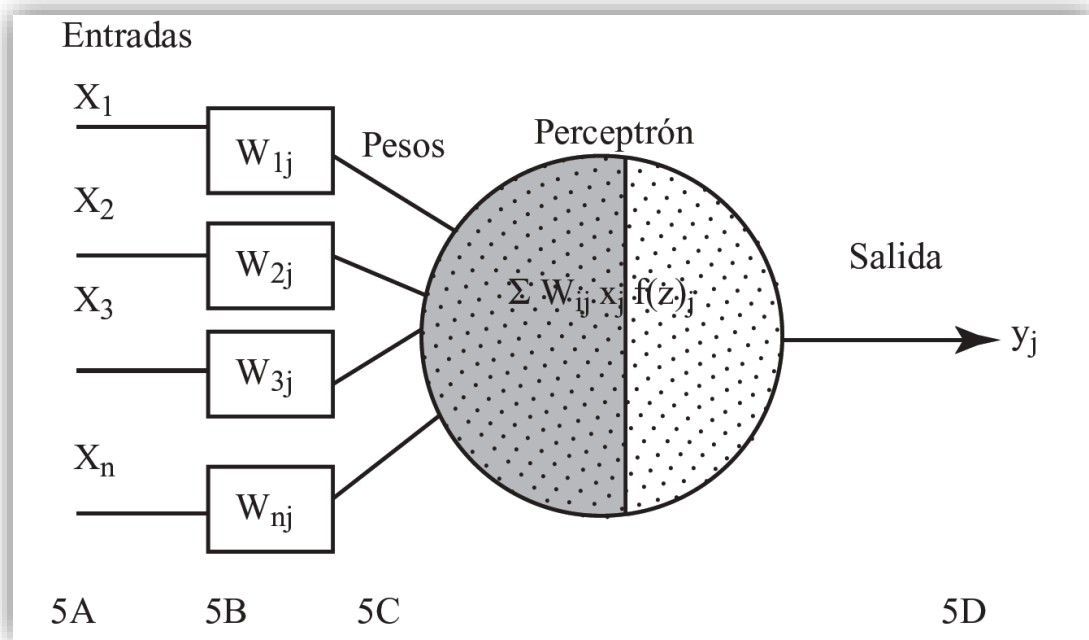
2.5.4. Perceptrón

Basogain, (2008) afirma lo siguiente: La arquitectura del Perceptrón, llamada mapeo de patrones (*pattern-mapping*), aprende a clasificar modelos mediante un aprendizaje supervisado. Los modelos que clasifica suelen ser generalmente vectores con valores binarios (0,1) y las categorías de la clasificación se expresan mediante vectores binarios. El Perceptrón presenta dos capas de unidades procesadoras (PE) y sólo una de ellas presenta la capacidad de adaptar o modificar los pesos de las conexiones. La arquitectura del Perceptrón admite capas adicionales, pero éstas no disponen la capacidad de modificar sus propias conexiones. (pag. 22)

También Ponce Cruz (2010) refiere que el Perceptrón: consiste en una suma de las señales de entrada, multiplicadas por unos valores de pesos escogidos inicialmente en forma aleatoria. En una fase en la que éste aprende, la entrada se compara con un patrón preestablecido para determinar la salida de la red. Si en la comparación la suma de las entradas multiplicadas por los pesos es mayor o igual que el patrón preestablecido, la salida de la red es uno (1); en caso contrario la salida es cero (0). El perceptrón es un dispositivo que, en su configuración inicial, no está en capacidad de distinguir patrones de entrada muy complejos, sin embargo, mediante un proceso de aprendizaje es apto para adquirir esta capacidad. En esencia, el entrenamiento implica un proceso de refuerzo a través del cual los pesos que codifican las sinapsis se incrementan o se disminuyen. La red tipo perceptrón fue inventada por el psicólogo Frank Rosenblatt en el año de 1957. Su intención era ilustrar algunas propiedades fundamentales de los sistemas inteligentes en general, sin entrar en mayores detalles con respecto a condiciones específicas y desconocidas para organismos biológicos concretos. (pág. 8)

Este modelo es la base de la mayoría de las arquitecturas de las RNA que se interconectan entre sí. Las neuronas emplean funciones de activación diferentes según la aplicación. Algunas veces son funciones lineales, otras son funciones sigmoideas (por ejemplo, la $\tanh x$) y otras son funciones de umbral de disparo. La eficiencia sináptica se representa por factores de peso de interconexión w_{ij} , desde la neurona i hasta la neurona j . (Ponce Cruz, 2010)

Figura 2.4. Estructura del Perceptrón



Fuente: (Ponce Cruz, 2010, pág. 9)

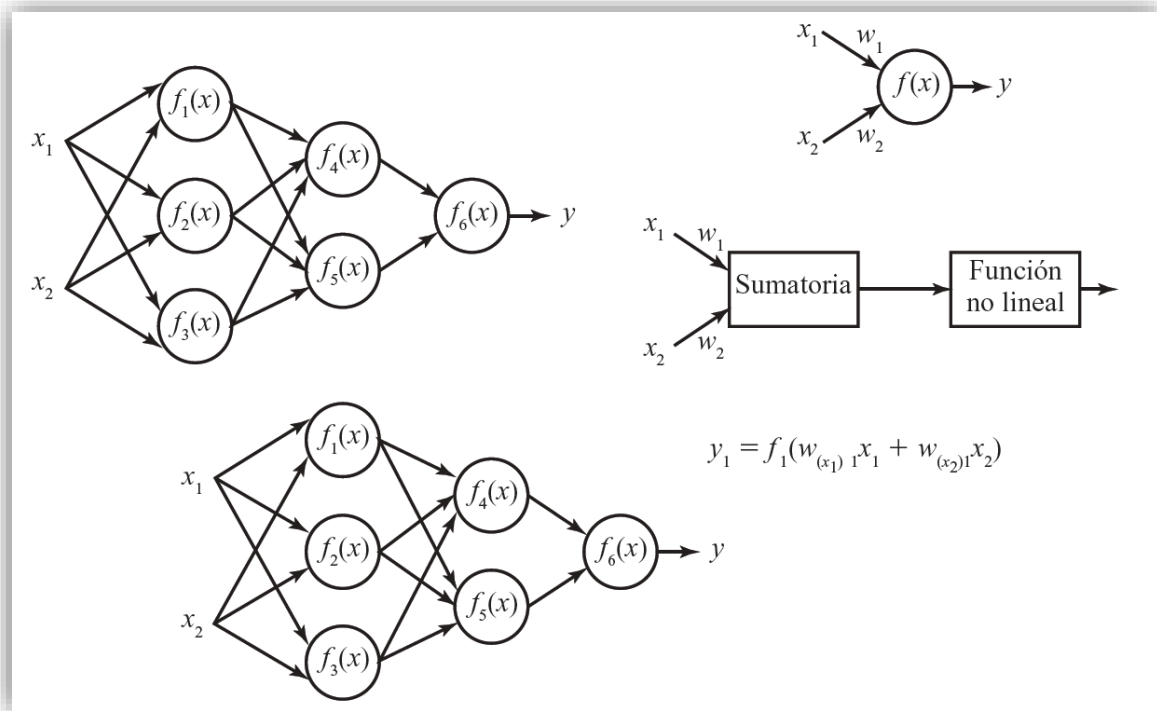
Nota. Estructura del perceptrón, la más simple en las RNA. Es un discriminador binario lineal y puede ser entrenado para mejorar su desempeño. Las entradas de la neurona (5A), los pesos aleatorios (5B), la sumatoria de la multiplicación de los pesos por sus respectivas entradas (5C) y la salida que es el cálculo de todos los pesos y sus entradas (5D).

2.5.5. Redes de Retropropagación (Backpropagation)

El algoritmo *Backpropagation* para redes multicapa es una generalización del algoritmo de mínimos cuadrados. Ambos algoritmos realizan su labor de actualización de pesos y ganancias con base en el error medio cuadrático. La red *Backpropagation* trabaja bajo aprendizaje supervisado y por tanto necesita un conjunto de instrucciones de entrenamiento que le describa cada salida y su valor de salida esperado.

Si se considera la red de tres capas con dos entradas y una salida de la figura 2.6, es posible apreciar que cada neurona está compuesta de dos unidades, donde la primera suma los productos de las entradas por sus respectivos pesos, y la segunda unidad contiene la función de activación. La señal e corresponde a la salida de la suma y $y = f(e)$ es la señal de salida del elemento no lineal de la función de activación, así como la salida de la neurona. (Ponce Cruz, 2010, pág. 10)

Figura 2.5. Red de dos capas



Fuente: (Ponce Cruz, 2010)

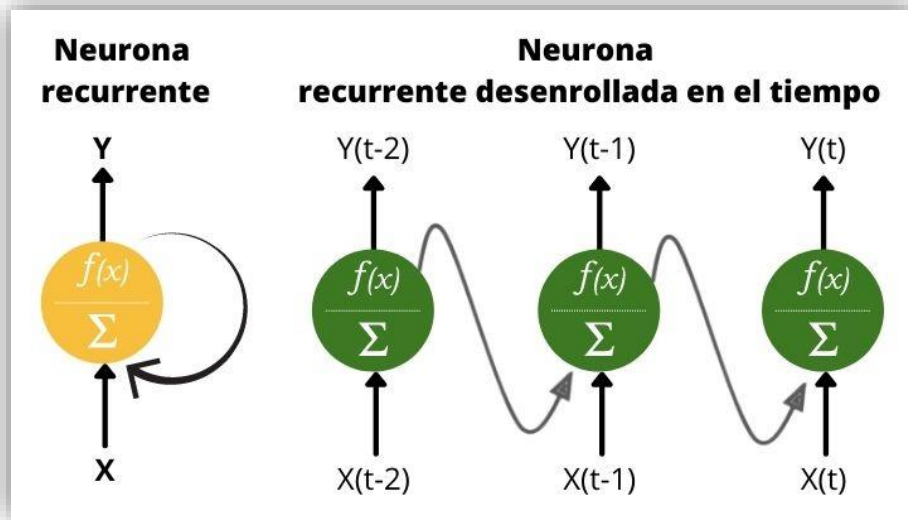
2.6. REDES NEURONALES RECURRENENTES

Las redes neuronales recurrentes (RNN) son una clase de aprendizaje profundo basada en los trabajos de David Rumelhart en 1986. Las RNN son conocidas por su capacidad para procesar y obtener información de datos secuenciales. (Arana, 2012, pág. 5)

Las redes neuronales recurrentes son una clase de redes para analizar datos de series temporales permitiendo tratar la dimensión de tiempo.

Una neurona recurrente incluye conexiones que apuntan hacia atrás una especie de retroalimentaciones entre las neuronas dentro de las capas, imaginemos la RNN más simple posible, compuesta por una sola neurona que percibe una entrada, produciendo una salida y enviando esa salida a sí misma como se observa en la siguiente figura:

Figura 2.6. Red neuronal recurrente



Fuente: [<https://abdatum.com/media/images/neuronas-recurrentes.jpeg>]

En cada instante de tiempo la neurona recurrente recibe la entrada de la capa anterior, así como su propia salida del instante de tiempo anterior para generar su salida, siguiendo esta idea una capa de red neuronal recurrente se puede implementar de tal manera que, en cada instante de tiempo, cada neurona recibe dos entradas correspondientes de la capa anterior y a su vez la salida del instante anterior de la misma capa.

Se podría decir que una neurona recurrente tiene en cierta forma memoria, la parte de una red que preserva un estado a través del tiempo a esta se le suele llamar *memory cell*, esta memoria interna es lo que hace de este tipo de redes sea muy adecuados para problemas de aprendizaje que involucran datos secuenciales permitiendo recordar información relevante sobre la entrada que recibieron lo que les permite ser más precisas en la predicción.

Conceptualmente, la RNN tiene como entradas el presente y el pasado reciente. Esto es importante porque la secuencia de datos contiene información crucial para saber lo que viene a continuación.

Las redes neuronales recurrentes son muy adecuadas para problemas de aprendizaje automático que involucran datos secuenciales, dado que la salida de una

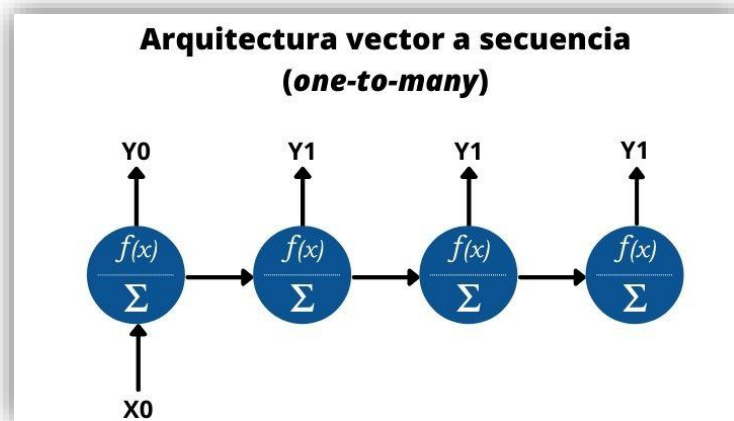
neurona recurrente en un instante de tiempo determinado es una función de entradas de los instantes de tiempo anteriores, se podría decir que una neurona recurrente tiene en cierta forma memoria.

TIPOS DE REDES NEURONALES RECURRENTE

Vector a secuencia o *one-to-many*

Este tipo de arquitectura permite la entrada de un dato y la salida de muchos datos en forma de secuencia. De ahí viene el nombre inglés de *one-to-many*.

Figura 2.7. *Arquitectura one-to-many*

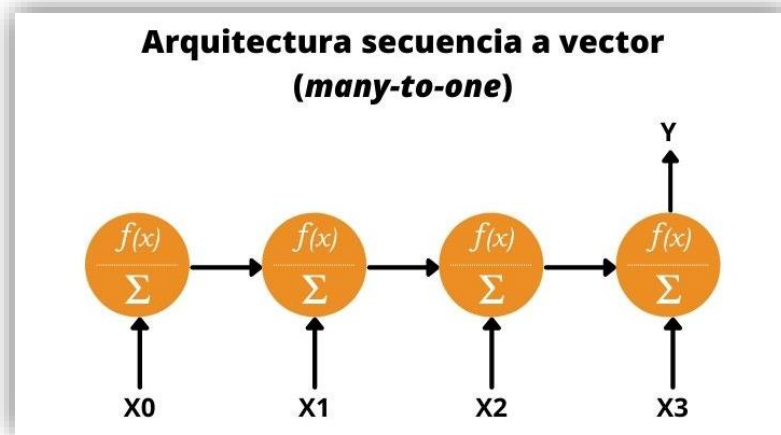


Fuente: [<https://abdatum.com/media/images/arquitectura-one-to-many.jpeg>]

Secuencia a vector o *many-to-one*

Este tipo de arquitectura permite la entrada de muchos datos y una salida.

Figura 2.8. *Arquitectura many-to-one*

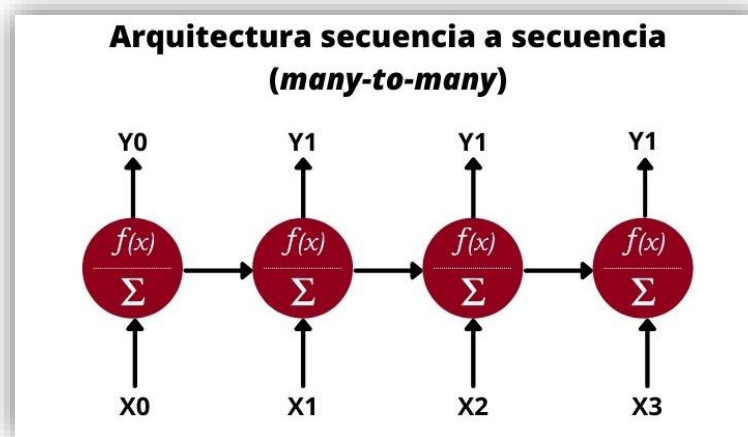


Fuente: [<https://abdatum.com/media/images/arquitectura-many-to-one.jpeg>]

Secuencia a secuencia o *many-to-many*

Finalmente tenemos las redes recurrentes *many-to-many*. Esta arquitectura recibe datos secuenciales de entrada y crea datos secuenciales de salida. Un ejemplo muy claro son los traductores inteligentes.

Figura 2.9. *Arquitectura many-to-many*



Fuente: [<https://abdatum.com/media/images/arquitectura-many-to-many.jpeg>]

Ventajas

- Las RNN son capaces de realizar una amplia variedad de tareas computacionales incluyendo el tratamiento de secuencias, la continuación de Una trayectoria la predicción no lineal y la modelación de sistemas dinámicos.
- Reconocimiento de secuencias: Se produce un patrón de salida particular cuando se especifica una secuencia de entrada.
- Reproducción de secuencias: La red debe ser capaz de generar el resto de Una secuencia cuando ve parte de ella.
- Asociación temporal: En este caso una secuencia de salida particular se debe producir en respuesta a una secuencia de entrada específica.

Desventajas

- Las redes neuronales recurrentes convencionales presentan problemas en su entrenamiento debido a que los gradientes retropropagados tienden a crecer enormemente o a desvanecerse con el tiempo debido a que el gradiente depende no solo del error presente sino también los errores pasados.
- La memoria de este tipo de redes es limitada, por lo que, es difícil la transmisión efectiva de información entre secuencias muy alejadas entre sí.
- Durante el entrenamiento de la red neuronal recurrente, los pesos se hacen cada vez más pequeños, provocando que el gradiente también disminuya y que apenas se actualicen los pesos de la red, perdiendo la capacidad de aprendizaje del modelo.

2.6.1. Redes de Memoria Corta y Larga LSTM

(Jiménez Percera, 2017), afirma que: Las redes LSTM son un tipo de red recurrente. Las redes recurrentes tienen una analogía con el comportamiento humano: los recuerdos, los pensamientos tienen persistencia. Las redes *feed-forward* no están preparadas para relacionar entradas en el tiempo de una forma sencilla. Para atajar este problema, las redes recurrentes tienen bucles, por lo que entre las entradas están sus salidas del momento anterior. pág. 18

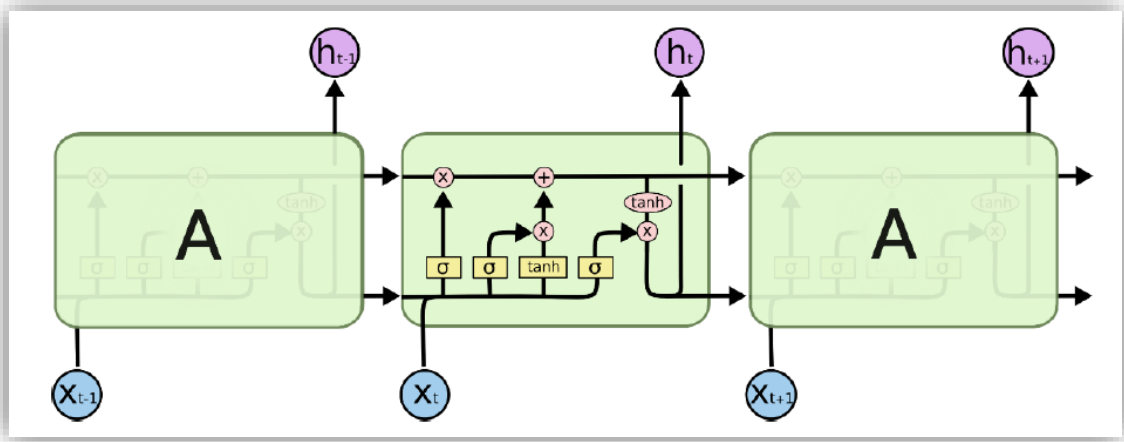
Las redes neuronales de memoria de corto y largo plazo (LSTM) son un tipo particular de RNN que solucionan el problema de las RNN asociado a la memoria de corto plazo: el desvanecimiento o decaimiento del gradiente, y su explosión. (Arana, 2012, pág. 11)

Las *Long-Short Term Memory* (LSTM) se puede decir que son una extensión de las redes neuronales recurrentes, amplían su memoria para aprender de las experiencias importantes que han pasado hace mucho tiempo, permiten a las RNN recordar sus entradas durante un largo periodo de tiempo permitiendo leer, escribir y borrar información de su memoria.

Esta memoria se puede ver como una “celda” bloqueada, donde “bloqueada” significa que la célula decide si almacenar o eliminar información dentro (abriendo la puerta o no para almacenar), en función de la importancia que asigna a la información que está recibiendo. La asignación de importancia se decide a través de los pesos, que también se aprenden mediante el algoritmo. Esto lo podemos ver como que aprende con el tiempo qué información es importante y cuál no.

Para ello, tienen cuatro redes neuronales de una sola capa interactuando de una forma específica, las líneas negras funcionan a modo de buses de información véase en la siguiente Ilustración.

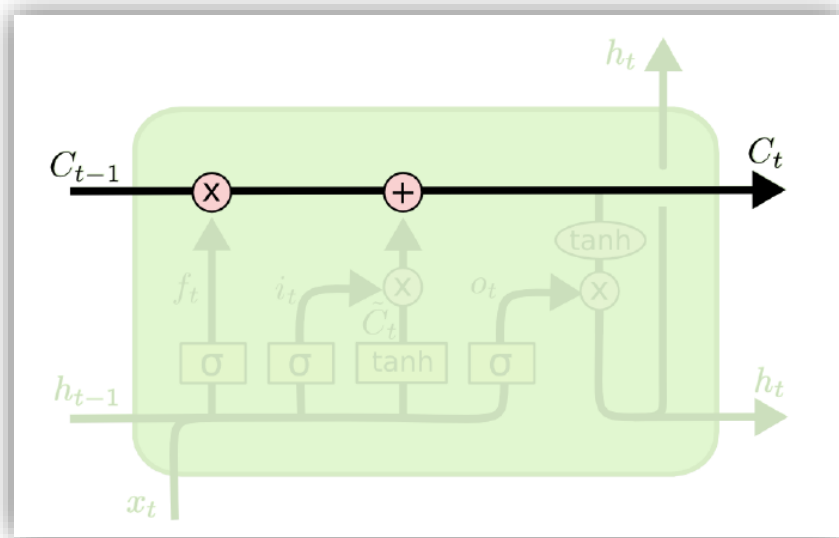
Figura 2.10. Estructura de una red LSTM



Fuente: (Jiménez Percera, 2017, pág. 19)

Las redes LSTM no son tan simples como una red recurrente en las que se basan, pero la idea detrás de ellas no es tan compleja como parece. La parte más novedosa en una LSTM es el estado.

Figura 2.11. Estado de la red LSTM

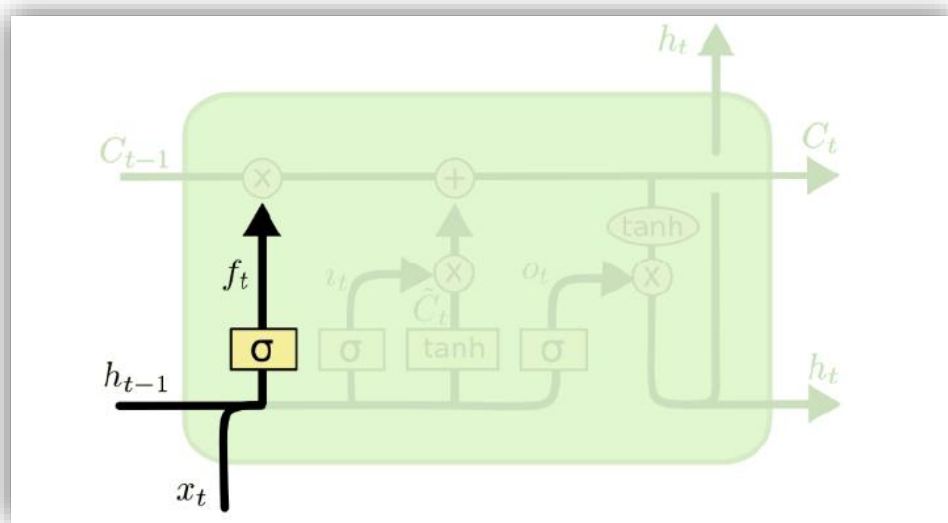


Fuente: (Jiménez Percera, 2017, pág. 20)

El estado de una red LSTM es como una cinta transportadora. Va a través de toda la cadena, con solo algunas interacciones. Es muy fácil que la información solo fluya a través del estado sin modificaciones. Las LSTM tienen la habilidad de eliminar o añadir información al estado, pero estas modificaciones están reguladas cuidadosamente por unas estructuras que actúan como puertas.

El primer paso en una LSTM sería decidir qué información del estado se elimina. Esto se hace a través de una red de salida sigmoideal (con salidas entre 0 y 1) que, basándose en la entrada, decide qué información se eliminará, como se muestra la siguiente ilustración.

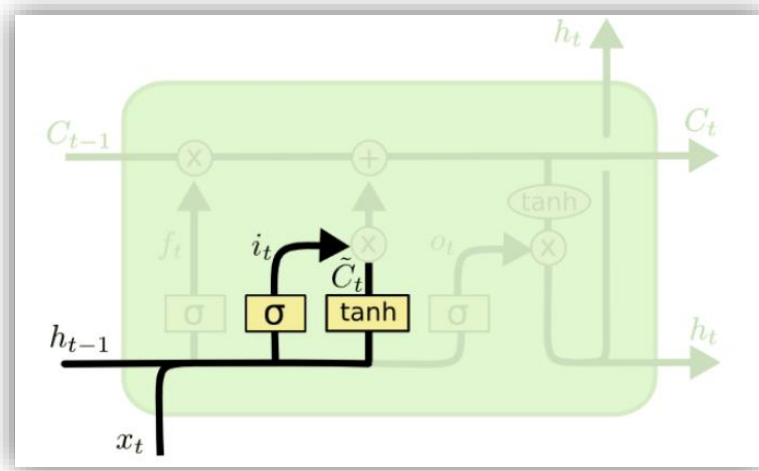
Figura 2.12. Fase de olvido de la información



Fuente: (Jiménez Percera, 2017, pág. 20)

El siguiente paso sería añadir información al estado. Para ello se parte de la información de entrada y se crea un vector candidato de información nueva, a partir de una red de salida tangencial (con salidas entre -1 y 1). Por supuesto, no toda la información candidata se memoriza, por lo que se necesita de otra red de salida sigmoideal que decidirá qué información se guardará, como se muestra en la siguiente figura.

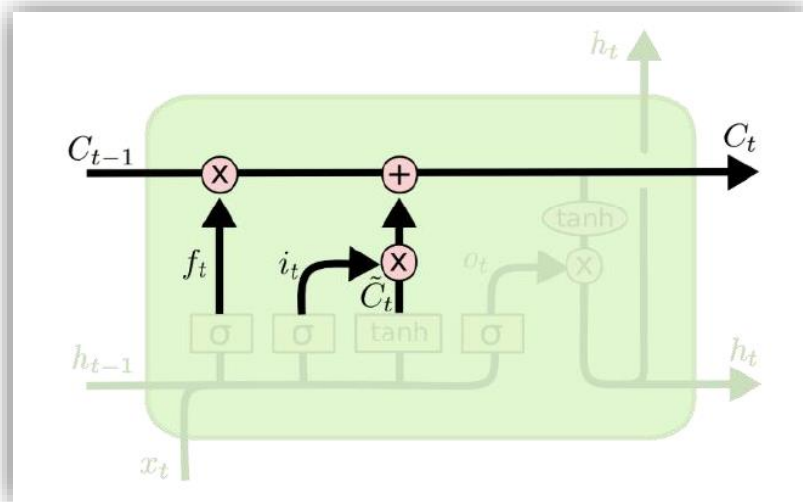
Figura 2.13. Información a añadir al estado



Fuente: (Jiménez Percera, 2017, pág. 21)

Con los datos obtenidos anteriormente, que decidirán qué información olvidar y cuál recordar, se actualiza el estado. Para ello, se multiplica el estado por el vector obtenido en el primer caso (vector compuesto por valores entre 0 y 1), por lo que se regula qué cantidad de información pasa. Además, se añade la información obtenida en el segundo paso, compuesta por un vector candidato multiplicado por el otro vector obtenido que decidirá en qué grado se guardará.

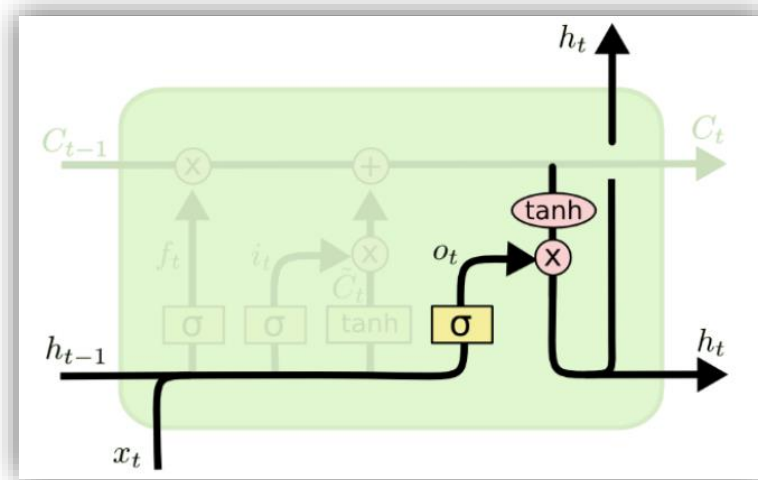
Figura 2.14. Modificación del estado



Fuente: (Jiménez Percera, 2017, pág. 21)

Finalmente, se genera la salida, que estará basada en el estado, pero de una manera filtrada. La información del estado se pasa por una red de salida tangencial y se multiplica por la salida de una red de salida sigmooidal que depende de la entrada. Este comportamiento se puede ver en la siguiente ilustración:

Figura 2.15. *Generación de salida*



Fuente: (Jiménez Percera, 2017, pág. 22)

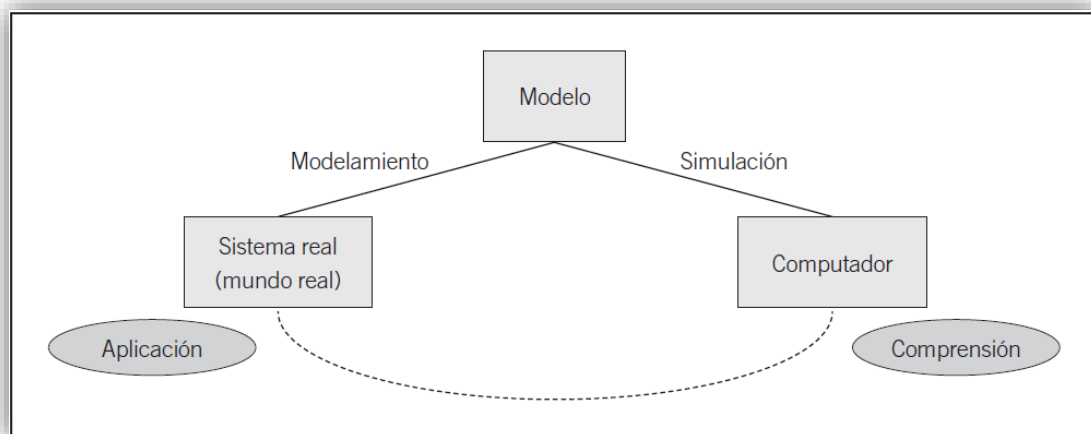
Con la adición del estado y las modificaciones que se le van haciendo, se pueden recordar datos durante un periodo de tiempo largo, solucionando el problema de las dependencias a largo plazo.

2.7. MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN

El modelamiento y la simulación consisten en el trabajo con el computador y, más específicamente, en el trabajo con o el desarrollo de software para, justamente, modelar y simular. Los productos de software, a su vez, modelan o simulan objetos y series o procesos, en efecto, el computador es una herramienta conceptual que permite el trabajo con problemas algorítmicos y con problemas computacionales. El trabajo con ambos tipos de problemas implica, exige, en ocasiones, el trabajo con programación, el modelamiento y la simulación suponen, exigen o implican un trabajo (previo) de formalización matemática. Pero esta no es una regla, en ocasiones, la matematización puede venir posteriormente como una verificación o una demostración

de lo que se ha modelado o simulado. Lo que sí es imperativo es reconocer que la simulación y el modelamiento demandan un trabajo conceptual y/o teórico previo que conduce precisamente a la necesidad de considerar problemas algorítmicos o computacionales, computacionalmente tratados, justamente, los modelos deben ser juzgados por cuán fructíferos son, no por su precisión o exactitud. Pero, cuando la finalidad es anticipar productos o procesos con una *finalidad eminentemente práctica*, lo importante entonces es la *precisión* o el *rigor* del modelamiento o la simulación. (Maldonado & Gómez, 2010, págs. 7 - 9)

Figura 2.16. *Distinción entre modelamiento y simulación.*



Fuente: (Maldonado & Gómez, 2010, pág. 9)

En general modelamos o simulamos con tres finalidades:

- a) Cuando buscamos comprender (y explicar) procesos fundamentales;
- b) Cuando queremos que un fenómeno o sistema se comporte como deseamos/desearíamos;
- c) Cuando queremos lograr ver emergencias, dinámicas, procesos, elementos y demás que no logramos ver (= comprender) habitualmente; es decir, justamente, por fuera de la simulación y el modelamiento. (Maldonado & Gómez, 2010)

2.7.1. Modelo

Maldonado & Gómez (2010) sostienen que un modelo es: La primera caracterización de un modelo suele ser descriptiva, por ejemplo, existen modelos físicos, matemáticos, computacionales, económicos, epidemiológicos, políticos y administrativos. Cada investigador en estas áreas puede identificar racional o intuitivamente el tema. Sin embargo, en términos conceptuales, es bastante más afortunado recordar que un modelo –teórico o conceptual– es sencillamente una interpretación del mundo o de una región del mundo. Este modelo puede implicar o basarse en elementos matemáticos, conceptuales u otros, pero consiste en una interpretación sólida, con frecuencia sometida a pruebas, verificaciones, falsaciones o refutaciones, o bien, igualmente, en una hipótesis consistente. (pág. 17)

En cualquier caso, el modelamiento y la simulación trabajan, esencialmente, en tres dominios:

- Modelamiento y simulación de comportamientos, fenómenos y sistemas.
- Modelamiento y simulación de modelos.
- Modelamiento y simulación de problemas.

2.8. MÉTODO CIENTÍFICO

2.8.1. Concepto

Denominamos **método** al “modo ordenado de proceder para llegar a un resultado o fin determinado, especialmente para descubrir la verdad y sistematizar los conocimientos” (Diccionario Actual de la Lengua Española). El método científico es un método de investigación usado principalmente en la producción de conocimiento en las ciencias, existen varias definiciones referentes al método científico, según el Oxford English Dictionary, el método científico es: "un método o procedimiento que ha caracterizado a la ciencia natural desde el siglo XVII, que consiste en la observación sistemática, medición y experimentación, y la formulación, análisis y modificación de las hipótesis."

El método científico sería el procedimiento mediante el cual podemos alcanzar un conocimiento objetivo de la realidad, tratando de dar respuesta a las interrogantes

acerca del orden de la naturaleza, por tanto, es un método ligado a la ciencia y al conocimiento científico, para que haya ciencia debe haber dos componentes, “un conjunto de conocimientos” y “un método apropiado para su estudio: la observación”, y la observación ha de ser sistemática y controlada. El conocimiento científico es el producto que se obtiene mediante la aplicación del método científico en la ciencia. (Castán, 2014, pág. 1)

En el siguiente cuadro podemos ver las diferencias entre el conocimiento científico y conocimiento común no científico.

Tabla 2.4 *Diferencias entre el conocimiento científico y conocimiento común*

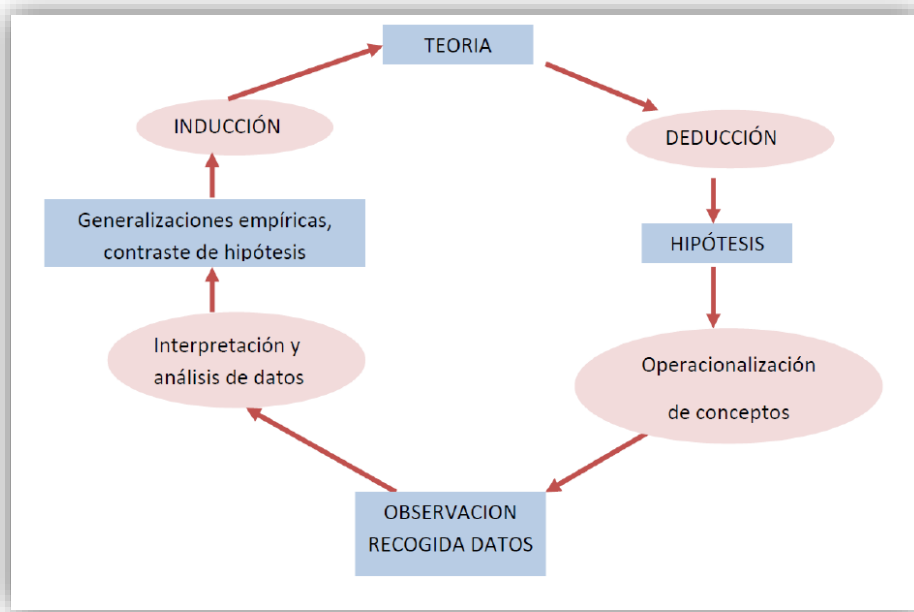
CONOCIMIENTO CIENTIFICO	CONOCIMIENTO COMUN
<ul style="list-style-type: none"> • Predominantemente Objetivo • Responde al Cómo y Por qué • Práctico y teórico • Preciso • Lenguaje técnico • Universal • Basado en la comprobación • Según método científico • Predictivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Subjetivo • Da respuestas a Cómo • Práctico • Inexacto • Lenguaje común • No es válido de forma universal • Se basa en la creencia o experiencia • Se adquiere al azar

Fuente: (Castán, 2014, pág. 1)

Para ser científico, un método de investigación debe basarse en la empírica y en la medición, sujeto a los principios específicos de las pruebas de razonamiento.

La llamada Rueda de Wallace es la representación circular del modelo y conocimiento científico:

Figura 2.17. Rueda de Wallace



Fuente: (Castán, 2014, pág. 2)

El método científico está basado en dos pilares, la reproducibilidad, es decir, la capacidad de repetir un determinado experimento, en cualquier lugar y por cualquier persona y la refutabilidad, toda proposición científica tiene que ser susceptible de ser falsada o refutada (falsacionismo). Esto implica que, si se diseñan experimentos, y dan resultados distintos a los predichos, negarían la hipótesis puesta a prueba.

2.8.2. Objetivo del Método Científico

En el 2014, Castán describe los objetivos del método científico:

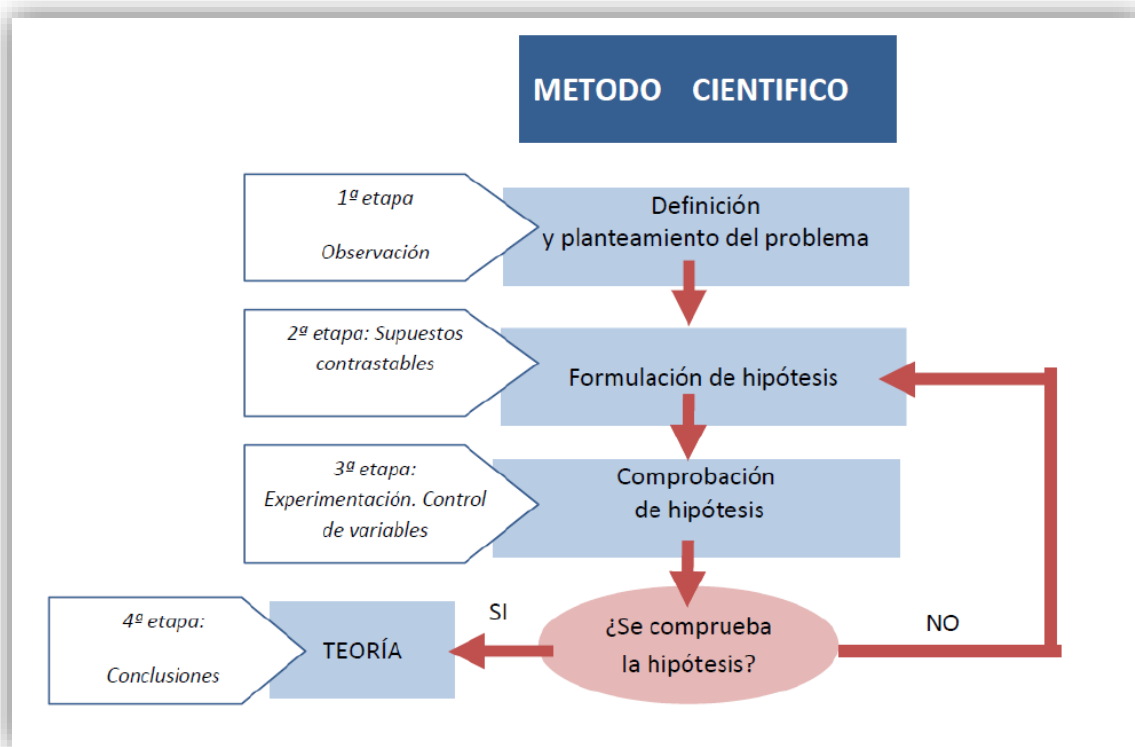
- Alcanzar el conocimiento cierto de los fenómenos y poder predecir otros.
- Descubrir la existencia de procesos objetivos y sus conexiones internas y externas para generalizar y profundizar en los conocimientos así adquiridos para demostrarlos con rigor racional y comprobarlos con el experimento y técnicas de su aplicación.

2.8.3. Etapas del Método Científico

El método científico tiene una serie de etapas que han de seguirse, la designación de las etapas varía según los autores. Las etapas que integran el método científico son: (Castán, 2014, pág. 5)

- Definición del problema,
- Formulación de hipótesis (razonamiento deductivo),
- Recopilación y análisis de datos,
- Confirmación o rechazo de hipótesis,
- Resultados,
- Conclusiones.

Figura 2.18. *Etapas del método científico*



Fuente: (Castán, 2014, pág. 6)

2.9. METODOLOGÍA ÁGIL PROGRAMACION EXTREMA, XP

La Programación Extrema o *Extreme Programming*, es un enfoque de la ingeniería de software formulado por Kent Beck, se considera el más destacado de los procesos ágiles de desarrollo de software. Al igual que estos, la programación extrema se diferencia de los métodos tradicionales principalmente en que presenta más énfasis en la adaptabilidad que en la previsibilidad. (Melendez, Gaitan, & Pérez, 2016, pág. 24)

2.9.1. Origen

Nace de la mano de Kent Beck en 1996, cuando trabajaba para *Chrysler Corporation*. Él tenía varias ideas de metodologías para la realización de programas que eran cruciales para el buen desarrollo de cualquier sistema. Las ideas primordiales de sus sistemas las comunico en las revistas C++ Magazine en una entrevista que esta le hizo el año 1999.

2.9.2. Objetivos de XP

- La Satisfacción del cliente.
- Potenciar el trabajo en grupo.
- Minimizar el riesgo actuando sobre las variables del proyecto: costo, tiempo, calidad, alcance.

2.9.3. Características

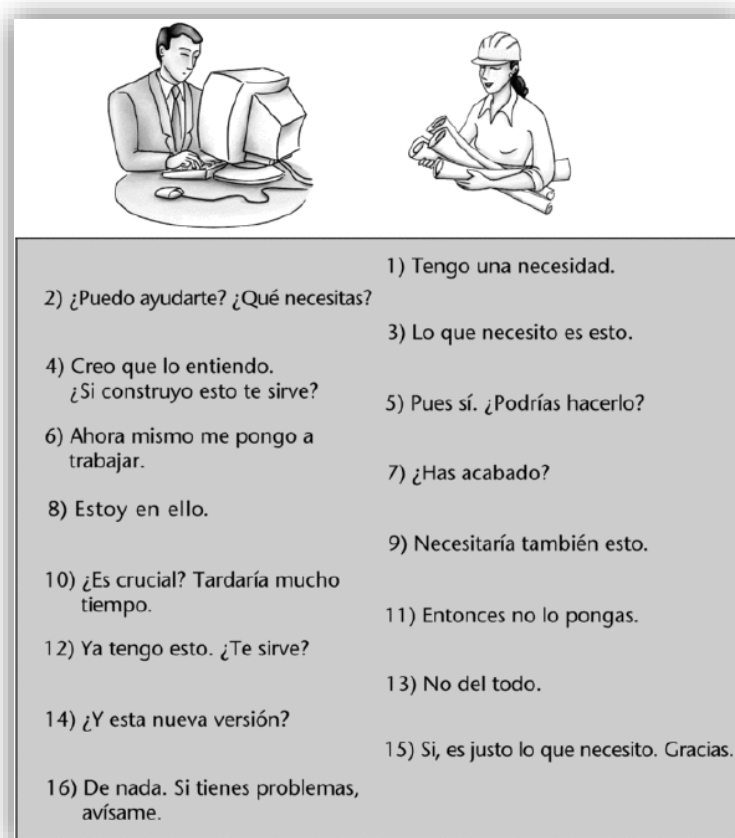
- Metodología basada en prueba y error para obtener un software que funcione realmente.
- Fundamentada en principios.
- Está orientada hacia quien produce y usa software (el cliente participa muy activamente).
- Reduce el coste del cambio en todas las etapas del ciclo de vida del sistema.
- Combina las que han demostrado ser las mejores prácticas para desarrollar software, y las lleva al extremo.

- Cliente bien definido.
- Los requisitos pueden cambiar.
- Grupo pequeño y muy integrado (2-12 personas).
- Equipo con formación elevada y capacidad de aprender (Melendez, Gaitan, & Pérez, 2016)

2.9.4. Ciclo de vida de la Programación Extrema

El ciclo de vida de XP se organiza como si fuese una conversación cliente-desarrollador.

Figura 2.19. *Comunicación cliente-desarrollador*

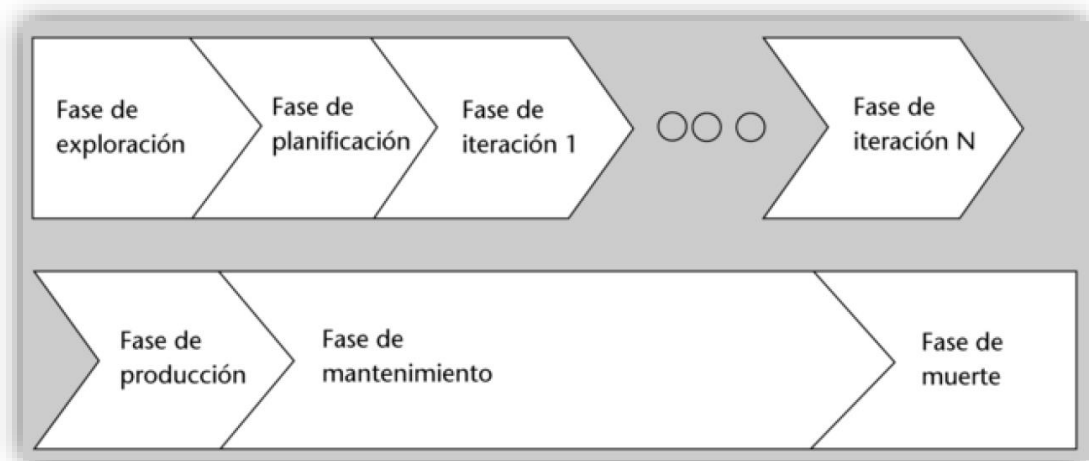


Fuente: (Maida, 2015, pág. 67)

Éste sería el desarrollo ideal de un proyecto XP. Para acercarnos a esto, se establece un ciclo de vida dividido en seis fases.

- Fase de exploración
- Fase de planificación
- Fase de iteraciones
- Fase de producción
- Fase de mantenimiento
- Fase de muerte del proyecto

Figura 2.20. *Fases del ciclo de vida de la Programación Extrema.*



Fuente: (Maida, 2015, pág. 68)

2.9.4.1. La fase de exploración

La fase de exploración de la metodología XP, en ella se desarrollan tres procesos, las historias de usuario, el spike arquitectónico y la metáfora de negocio.

Comienza con las historias de usuario, los usuarios plantean a grandes rasgos las funcionalidades y requerimientos que desea obtener el aplicativo, las historias de usuario tienen el mismo propósito que los casos de uso, salvo en un punto crucial las escriben los usuarios y no el analista.

Las historias de usuario deben ser descripciones cortas y descritas en el lenguaje de usuario sin terminología técnica, estas historias guiarán la creación de los test de aceptación que garantizarán que las historias se han comprendido e implementado correctamente. (Maida, 2015, pág. 68)

2.9.4.2. La fase de planificación

El procedimiento es el siguiente:

- El cliente entrega al equipo de desarrollo las historias de usuario que ha confeccionado, pero priorizándolas de mayor a menor importancia.
- El equipo de desarrollo las estudia y estima el coste de implementarlas.
- Si el equipo de desarrollo considera que la historia de usuario es demasiado compleja, entonces el usuario final debe descomponerla en varias historias independientes más sencillas.
- Si el equipo de desarrollo no ve claro cómo implementar una parte de la historia, el usuario puede realizar un spike tecnológico para ver cómo se podría implantar y así poder evaluar el coste.
- Una vez tenemos la lista de historias priorizadas junto con su coste de implementación, pasamos a convocar la reunión del plan de entregas.

El plan de entregas se compone de una serie de planes de iteración en el que se especifica qué funcionalidades se van a implementar en cada vuelta de la fase de iteraciones.

A cada iteración se le asigna un tiempo intentando que todas sean lo más parecido posible, se determina el alcance del proyecto.

2.9.4.3. Fase de iteraciones

En esta fase se repetirá tantas veces como iteraciones tengamos, por lo general cada iteración suele ser de dos a tres semanas.

El plan de iteración consiste de la siguiente manera:

- Se recogen las historias de usuario asignadas a esta iteración.
- Se detallan las tareas a realizar por cada historia de usuario.
- Las tareas deben ser uno o tres días de desarrollo, si son más grandes se intenta dividir en varias más sencillas.

- Se estima el coste de cada tarea. Si el total es superior al tiempo de iteración, se debería prescindir de alguna historia de usuario que se pasaría a la siguiente iteración. Si son muchas las historias desechadas, entonces hay que volver a estimar las cuatro variables de la metodología y volver a planificar el proyecto.
- Si el tiempo total estimado de las tareas es inferior al tiempo de iteración, se puede asumir una historia de usuario que correspondiese a la siguiente iteración.
- Se priorizan las tareas que más valor darán al negocio, intentando que se finalicen historias de usuario lo antes posible.
- Se reparten las primeras tareas al equipo de desarrollo y el resto se deja en una cola de tareas sin asignar de dónde se irán tomando a medida que se vayan finalizando las anteriores.

Se convocan reuniones de seguimiento diarias para ver si nos vamos retrasando en las estimaciones o nos vamos adelantando a ellas y así poder desechar o incorporar historias de usuario.

Lo más importante es que en cada momento de cada iteración estemos realizando la tarea que más valor posible da al negocio de entre las que tenemos pendientes, de manera que, si tenemos que reducir el alcance del proyecto, sólo afecte a las funcionalidades secundarias de nuestro aplicativo.

2.9.4.4. La fase de producción

En esta fase se alcanza la primera versión que el usuario final decida que puede ponerse en producción.

Se pasa el aplicativo a producción cuando alcance las funcionalidades mínimas que aporten su valor real y una operativa arquitectónica estable, es decir no esperamos tener todas las funcionalidades implementadas.

En la etapa de producción se realiza también iteraciones como en la anterior etapa, pero el ritmo de estas ya no es de dos a tres semanas, sino mensuales, esta

fase se mantiene hasta que realizamos la última entrega, con la que finaliza el ámbito del aplicativo pasando al mantenimiento del mismo.

2.9.4.5. La fase de mantenimiento

Una vez que el alcance del proyecto se ha conseguido, y tenemos todas las funcionalidades en producción, se revisan con el usuario aquellas nuevas historias de usuario que se han producido tras la puesta en producción del proyecto.

Estas nuevas funcionalidades se van incorporando según su valor de negocio y el presupuesto adicional del que se disponga.

El equipo de desarrollo se reduce a la mínima expresión, dejando algunos miembros para el mantenimiento.

2.9.4.6. La fase muerte del proyecto

Cuando no existen más historias de usuario para introducir en el sistema o cuando se reduce progresivamente valor de las historias de usuario implementadas en él, el proyecto entra en la fase de muerte.

Se irá desinvirtiendo en él hasta abandonarlo totalmente cuando no aporte valor al negocio o cuando sus historias de usuario hayan sido absorbidas por otro sistema de información.

2.9.5. Herramientas de la Metodología XP

2.9.5.1. Historias de Usuario

Las historias de usuario representan una breve descripción del comportamiento del sistema, se realizan por cada característica principal del sistema y son utilizadas para cumplir estimaciones de tiempo y el plan de lanzamientos, reemplazando un gran documento de requisitos y presiden la creación de las pruebas de aceptación.

Cada historia de usuario debe ser lo suficientemente comprensible y delimitada para que los programadores puedan implementarlas en unas semanas.

La plantilla para la elaboración de las historias de usuario se muestra en la siguiente tabla se detallando cada uno de sus componentes.

Tabla 2.5 *Plantilla para las historias de usuario*

HISTORIAS DE USUARIO	
Numero: Permite identificar a una historia de usuario	Usuario: Persona que utiliza la funcionalidad del sistema descrita en la historia de usuario
Nombre Historia: Describe de manera general a una historia de usuario	
Prioridad en Negocio: Grado de importancia que el cliente asigna a una historia de usuario	Riesgo en Desarrollo: Valor de complejidad que una historia de usuario representa al equipo de desarrollo.
Puntos Estimados: Numero de semanas que se necesitará para el desarrollo para el desarrollo de una historia de usuario	Iteración Asignada: Numero de iteración, en que el cliente desea que se implemente una historia de usuario.
Programador Responsable: Persona encargada de programar cada historia de usuario.	
Descripción: Información detallada de una historia de usuario.	
Observaciones: Campo opcional utilizado para aclarar, si es necesario, el requerimiento descrito de una historia de usuario	

Fuente: (Melendez, Gaitan, & Pérez, 2016, pág. 28)

2.9.5.2. Tareas de ingeniería

Una historia de usuario se descompone en varias **tareas de ingeniería**, las cuales describen las actividades que se realizan en cada historia de usuario, las tareas de ingeniería se vinculan más al desarrollador, ya que permite tener un acercamiento con el código.

La plantilla a utilizarse para la elaboración de las tareas de ingeniería se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.6 *Plantilla para Tareas de Ingeniería*

TAREA DE INGENIERÍA	
Numero de Tarea: Permite identificar a una tarea de ingeniería	Número de Historia: Numero Asignado de la historia correspondiente
Nombre de Tarea: Describe de manera general una tarea de ingeniería	
Tipo de Tarea: Tipo al que corresponde la tarea de ingeniería	Puntos Estimados: Número de días que se necesitará para el desarrollo de una tarea de ingeniería.
Fecha Inicio: Fecha inicial de la creación de la tarea de ingeniería.	Fecha Fin: Final concluida de la tarea de ingeniería.
Programador Responsable: Persona encargada de programar la tarea de ingeniería.	
Descripción: Información detallada de la tarea de ingeniería.	

Fuente: (Melendez, Gaitan, & Pérez, 2016, pág. 29)

2.9.5.3. Pruebas de aceptación

Las pruebas de aceptación son importantes para el éxito de una iteración y para el comienzo de la siguiente, el cliente conoce el avance en el desarrollo del sistema y a los programadores, permitiendo así una retroalimentación para el desarrollo de nuevas historias de usuarios.

Estas son comúnmente llamadas pruebas del cliente, para verificar si las historias de usuario de cada iteración cumplen con la funcionalidad esperada.

La plantilla a usar para la elaboración de pruebas de aceptación se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.7 *Plantilla para pruebas de aceptación*

PRUEBAS DE ACEPTACIÓN	
Código: N° Único, permite identificar la prueba de aceptación.	N° Historia de Usuario: Número único que identifica a la historia de usuario.
Historia de Usuario: Nombre que indica de manera general la descripción de la historia de usuario.	
Condiciones de ejecución: Condiciones previas que deben cumplirse para realizar la prueba de aceptación.	
Entrada/Pasos de Ejecución: Pasos que siguen los usuarios para probar la funcionalidad de la historia de usuario.	
Resultado Esperado: Respuesta del sistema que el cliente espera, después de haber ejecutado una funcionalidad.	
Evaluación de la Prueba: Nivel de satisfacción del cliente sobre la respuesta del sistema. Los niveles son: Aprobada y No Aprobada.	

Fuente: (Melendez, Gaitan, & Pérez, 2016, pág. 30)

2.9.5.4. Tarjetas CRC (clase - responsabilidades - colaboradores)

Las tarjetas CRC permiten conocer que clases componen el sistema y cuales interactúan entre sí. Se dividen en tres secciones: Nombre de la clase, responsabilidades y colaboradores.

La plantilla a usar para la elaboración de tarjetas CRC se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.8 *Plantilla para tarjetas CRC*

TARJETAS CRC	
Nombre de la Clase: Nombre de la clase al cual hace referencia la tarjeta.	
Responsabilidades: Atributos y operaciones de la clase	Colaboradores: Clases que colaboran con la clase citada en la tarjeta.

Fuente: (Melendez, Gaitan, & Pérez, 2016)

2.10.MÉTRICA DE CALIDAD ISO 9126

La ISO/IEC 9126 permite especificar y evaluar la calidad del software desde diferentes criterios asociados con adquisición, requerimientos, desarrollo, uso, evaluación, soporte, mantenimiento, aseguramiento de la calidad y auditoria de software. (Largo & Marin, 2005, pág. 11)

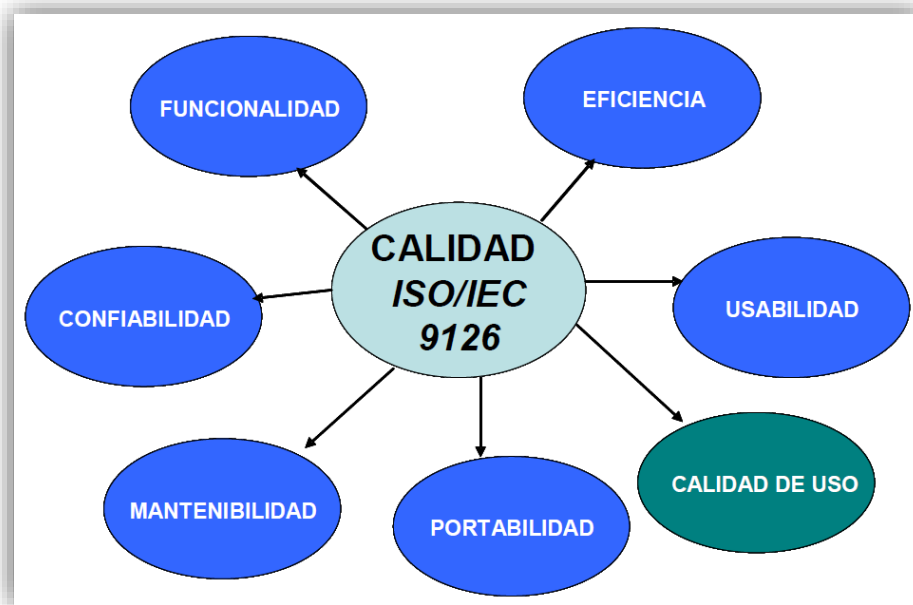
Este estándar describe 6 características generales, son definidas transcribiéndolas de su fuente original así:

- **Funcionalidad:** Funcionalidad es la capacidad del software de cumplir y proveer las funciones para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas cuando es utilizado en condiciones específicas. (Largo & Marin, 2005, pág. 15)
- **Confiabilidad:** La confiabilidad es la capacidad del software para asegurar un nivel de funcionamiento adecuado cuando es utilizando en condiciones específicas. La definición de confiabilidad en la ISO/IEC 2382-14:1997 es "la habilidad de la unidad funcional de realizar una función requerida...". (Largo & Marin, 2005, pág. 17)
- **Usabilidad:** La usabilidad es la capacidad del software de ser entendido, aprendido, y usado en forma fácil y atractiva, La usabilidad está determinada por los usuarios finales y los usuarios indirectos del software, dirigidos a todos los ambientes, a la preparación del uso y el resultado obtenido. (Largo & Marin, 2005, pág. 18)
- **Eficiencia:** La eficiencia del software es la forma del desempeño adecuado, de acuerdo a al número recursos utilizados según las condiciones planteadas. Se debe tener en cuenta otros aspectos como la configuración de hardware, el sistema operativo, entre otros. (Largo & Marin, 2005, pág. 20)
- **Capacidad de Mantenimiento:** La capacidad de mantenimiento es la cualidad que tiene el software para ser modificado. Incluyendo correcciones o mejoras del software, a cambios en el entorno, y

especificaciones de requerimientos funcionales. (Largo & Marin, 2005, pág. 21)

- **Portabilidad:** La capacidad que tiene el software para ser trasladado de un entorno a otro. (Largo & Marin, 2005, pág. 23)

Figura 2.21. Modelo de la calidad ISO/IEC 9126



Fuente: (Largo & Marin, 2005, pág. 13)

2.11.HARDWARE

2.11.1. Computadora

un computador o computadora es una maquina calculadora electrónica rápida que acepta como entrada información digitalizada, la procesa de acuerdo con una lista de instrucciones almacenada internamente y produce la información de salida resultante. A la lista de instrucciones se le conoce como *programa* y el medio de almacenamiento interno *memoria* del computador. Los computadores portátiles son la versión más compacta con todos los componentes empaquetados. Las estaciones de trabajo con capacidad de entrada/salida de gráficos de alta resolución, aunque con las dimensiones de un computador de sobremesa, se caracterizan por su rapidez de procesamiento; se usan frecuentemente en aplicaciones de ingeniería, especialmente para trabajo de diseño interactivo. (Vasquez, 2012, pág. 9)

Estas son las características del equipo que se usara para el desarrollo de del sistema.

Tabla 2.9 *Características del equipo para el desarrollo*

Característica	Detalle
Nombre del producto	HP Pavilion Laptop 15-cw0xxx
Familia del Sistema	HP Pavilion Laptop
Numero CT de placa del sistema	PHLWQ028JB213M
Tipo de CPU	AMD Ryzen 3 2200U with Raedon Vega Mobile Gfx
Velocidad CPU	2500 MHz
Memoria del sistema	8 GB
Almacenamiento	1 TB

Fuente: Elaboración propia

2.12.SOFTWARE

2.12.1. Python

El software libre se ha convertido en uno de los movimientos tecnológicos de mayor auge en el siglo XXI. Para su desarrollo ha sido necesario contar con un grupo de herramientas que hagan óptima su utilización y sean fáciles de aprender. Python es un lenguaje de programación que cumple con lo planteado y se viene perfilando como una opción recomendada para el desarrollo de software libre. (Challenger, Díaz, & Becerra, 2014, pág. 1)

2.12.1.1. Historia

Python fue creado por Guido van Rossum, un programador holandés a finales de los 80 y principio de los 90 cuando se encontraba trabajando en el sistema operativo *Amoeba*. Primariamente se concibe para manejar excepciones y tener interfaces con *Amoeba* como sucesor del lenguaje ABC. (Challenger, Díaz, & Becerra, 2014, pág. 3)

- El 16 de octubre del 2000 se lanza Python 2.0 que contenía nuevas características como completa recolección de basura y completo soporte a Unicode. Pero el mayor avance lo constituye que este comenzó a ser

verdaderamente desarrollado por la comunidad, bajo la dirección de Guido.

- El Python 3.0 es una versión mayor e incompatible con las anteriores en muchos aspectos, que llega después de un largo período de pruebas el 3 de diciembre del 2008. Muchas de las características introducidas en la versión 3 han sido compatibilizadas en la versión 2.6 para hacer de forma más sencilla la transición entre estas.
- A Guido van Rossum le fue otorgado el Free Software Award (Premio del Software Libre) en el 2001, por sus trabajos en la creación y desarrollo del lenguaje Python. En el 2005 fue contratado por Google, donde trabaja en la actualidad, aunque sigue liderando los esfuerzos en el desarrollo del Python. (Challenger, Díaz, & Becerra, 2014, pág. 3)

2.12.1.2. Sintaxis

La sintaxis de Python es muy sencilla, tanto que en algunas ocasiones parece pseudocódigo. Es muy interesante observar las diferencias que existen entre el programa Hola Mundo de Python y el de otro lenguaje de alto nivel como C++. (Challenger, Díaz, & Becerra, 2014, pág. 5)

Figura 2.22. Programa hola mundo en C++

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    cout << "Hello World" <<
endl;
    return 0;
}
```

Fuente: (Challenger, Díaz, & Becerra, 2014, pág. 5)

Y ahora se ve cómo lograr esta misma tarea en Python

Figura 2.23. Programa Hola Mundo en Python

```
print "Hello World"
```

Fuente: (Challenger, Díaz, & Becerra, 2014, pág. 5)

No es necesario explicar mucho sus diferencias porque resaltan a simple vista, en Python es más simple que en C++. Y esto es de vital importancia para ramas como la educación, donde al utilizar lenguajes como C++, generalmente se escuchan frases como “No te preocupes por eso, más adelante en el curso lo veremos” que pueden ser muy dañinas en el proceso de enseñar y motivar a personas a que aprendan programación. (Challenger, Díaz, & Becerra, 2014, pág. 5)

- **Interprete al Vuelo:** Python cuenta con un intérprete o consola que permite probar ciertas capacidades del lenguaje sin tener que crear un módulo de este. Incluso, en ocasiones se utiliza como una poderosa calculadora, con capacidades muy similares a las que ofrece el lenguaje Matlab para la realización de ciertas tareas. (Challenger, Díaz, & Becerra, 2014, págs. 5 - 6)
- **Librería Estándar:** Una de las fortalezas de Python, y quizás la mayor, es la librería estándar con que cuenta. Con decenas de módulos cubre la mayoría de las necesidades básicas de un programador y mucho más. En esta se le da cobertura de forma muy intuitiva a tópicos como:
 - ✓ Cadenas
 - ✓ Estructura de datos
 - ✓ Funciones numéricas y matemáticas
 - ✓ Compresión de datos
 - ✓ Formatos de archivo
 - ✓ Criptografía
 - ✓ Servicios de los Sistemas Operativos

- ✓ Comunicación entre Procesos
- ✓ Manejo de datos de Internet
- ✓ Servicios multimedia
- ✓ Manejo de excepciones

Existen más de 40 tópicos en la referencia de la librería de Python por lo que se puede afirmar que es una de las más completas con que se cuenta en la actualidad, comparable con la de Java y .NET. (Challenger, Díaz, & Becerra, 2014, págs. 5-6)

- **Rendimiento:** Uno de los grandes mitos alrededor de Python es acerca de su pobre rendimiento. Esto no es del todo correcto, ya que, aunque es un lenguaje interpretado y estos tienden a ser más lentos que los lenguajes compilados, Python, a diferencia de otros lenguajes interpretados, ha implementado toda su librería estándar en el lenguaje C, lo que hace que sus funciones primitivas sean bastante eficientes. Además, puede compilarse su código a bytecodes, similar al que usan Java y .NET, lo que optimiza aún más el proceso de interpretación. (Challenger, Díaz, & Becerra, 2014, pág. 6)
- **Documentación:** Otra de las características principales de Python es la inclusión de un sistema de documentación. La documentación fue tomada en cuenta a la hora del diseño del lenguaje. Por ejemplo, todas las funciones y clases tienen una variable implícita que se llama doc comúnmente llamada docstring o cadena de documentación⁵. En estas cadenas se describe el uso de esa función o clases y los parámetros que intervienen en detalle. La sintaxis de estos docstring es muy similar a la de JavaDoc. Estas cadenas de documentación pueden llamarse inclusive en tiempo de ejecución, por lo que se pueden consultar en el propio intérprete usando la función help, modelo muy similar al empleado en Matlab. La librería estándar de Python fue documentada utilizando este método. (Challenger, Díaz, & Becerra, 2014, págs. 6 - 7)

- **Extensibilidad:** De todas las características que posee Python, una de las más importantes es su capacidad de reutilizar código escrito en los lenguajes C y C++. Existen mecanismos que hacen muy sencilla la tarea de envolver funciones y clases hechas en estos lenguajes, entre los que se encuentran Boost.Python, Sip y Shiboken. La importancia de esta integración es relevante, ya que las bases de código en lenguajes como C y C++ son las más grandes disponibles por el software libre hoy en día, y permiten no tener que duplicar código ya existente. (Challenger, Díaz, & Becerra, 2014, pág. 7)
- **Licencia:** Python es liberado bajo una licencia propia llamada Python Licence que ha sido certificada por el movimiento Open Source, y es compatible con la GPL (GNU Public Licence) de la Free Software Foundation (Fundación del Software Libre). La principal diferencia de esta con respecto a la GPL es que no existe una restricción copyleft en esta, concepto que la acerca más al movimiento OpenSource. Lo que quiere decir que se pueden producir programas que se podrán distribuir libremente sin la necesidad de entregar su código fuente. Esto significa que puede usarse Python tanto para hacer software libre como software privativo. (Challenger, Díaz, & Becerra, 2014, pág. 7)

2.13.LIBRERÍAS

2.13.1. La librería Pandas

Pandas es una librería de Python especializada en el manejo y análisis de estructuras de datos.

Figura 2.24. Logo librería de Pandas



Fuente: (Sánchez, 2020, pág. 49)

Las principales características de esta librería son:

- Define nuevas estructuras de datos basadas en los arrays de la librería NumPy, pero con nuevas funcionalidades.
- Permite leer y escribir fácilmente ficheros en formato CSV, Excel y bases de datos SQL.
- Permite acceder a los datos mediante índices o nombres para filas y columnas.
- Ofrece métodos para reordenar, dividir y combinar conjuntos de datos.
- Permite trabajar con series temporales.
- Realiza todas estas operaciones de manera muy eficiente.

Pandas dispone de tres estructuras de datos diferentes:

- Series: Estructura de una dimensión.
- DataFrame: Estructura de dos dimensiones (tablas).
- Panel: Estructura de tres dimensiones (cubos).

Estas estructuras se construyen a partir de arrays de la librería NumPy, añadiendo nuevas funcionalidades. (Sánchez, 2020, pág. 49)

2.13.2. La librería Matplotlib

Matplotlib es una librería de Python especializada en la creación de gráficos en dos dimensiones. [Gráfico con matplotlib](img/matplotlib-logo.png" alt="Gráfico con matplotlib" height="150px"> (Sánchez, 2020, pág. 73)

Permite crear y personalizar los tipos de gráficos más comunes, entre ellos:

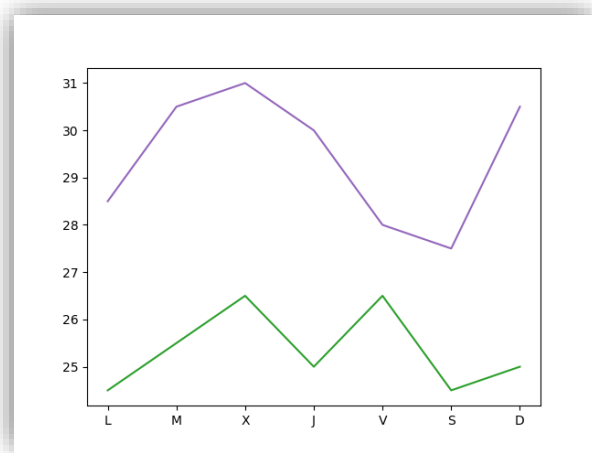
- Diagramas de barras
- Histograma
- Diagramas de sectores
- Diagramas de caja y bigotes

- Diagramas de violín
- Diagramas de dispersión o puntos
- Diagramas de líneas
- Diagramas de áreas
- Diagramas de contorno
- Mapas de color

y combinaciones de todos ellos.

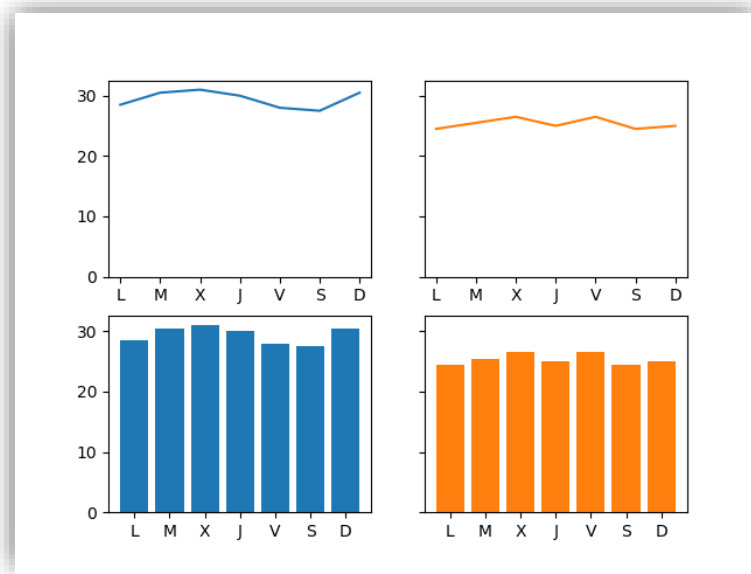
En la siguiente galería de gráficos pueden apreciarse todos los tipos de gráficos que pueden crearse con esta librería.

Figura 2.25. *Gráfico con matplotlib*



Fuente: (Sánchez, 2020, pág. 88)

Figura 2.26. Gráficos con matplotlib



Fuente: (Sánchez, 2020, pág. 96)



CAPÍTULO III

MARCO APLICATIVO

3. MARCO APLICATIVO

3.1. INTRODUCCIÓN

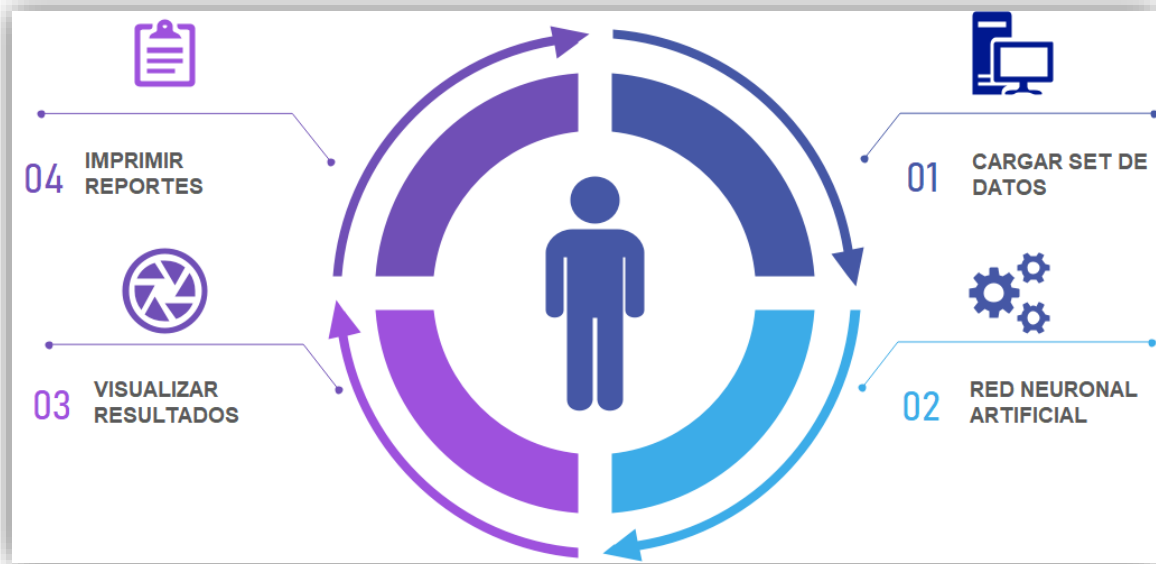
La contaminación atmosférica es un problema regional y transfronterizo, debido a que la atmósfera se encuentra en continuo movimiento haciendo que los contaminantes sean transportados a cientos o miles de kilómetros de su punto de origen. El desarrollo urbano, la industrialización, y el posible cambio climático, estos son fenómenos derivados de una explosión demográfica mundial, alterando la composición del aire afectando drásticamente al clima, la salud y los ecosistemas.

Tomando la hipótesis planteada tiene como objetivo comprobar si es posible obtener datos que permitan predecir los niveles de contaminación para anticiparse a los escenarios de alta contaminación para esto se usaran distintas herramientas como Python que es un lenguaje de programación con un amplio abanico de herramientas con la que se pueden manipular datos y sus librerías para generar los modelos basados en redes neuronales de tipo MLP, LSTM, CNN los hacen de un entorno de programación inmejorable para llevar a cabo este proyecto.

En este capítulo se describe el proceso para la creación del modelo de redes neuronales, para luego realizar la simulación y haciendo un análisis para su comprensión de las interacciones de los factores que influyen en el crecimiento de la contaminación del Aire para luego hacer un diseño y pruebas del prototipo, también se detalla los pasos que se realizaron en la prueba de hipótesis.

3.2. ESQUEMA DEL PROTOTIPO

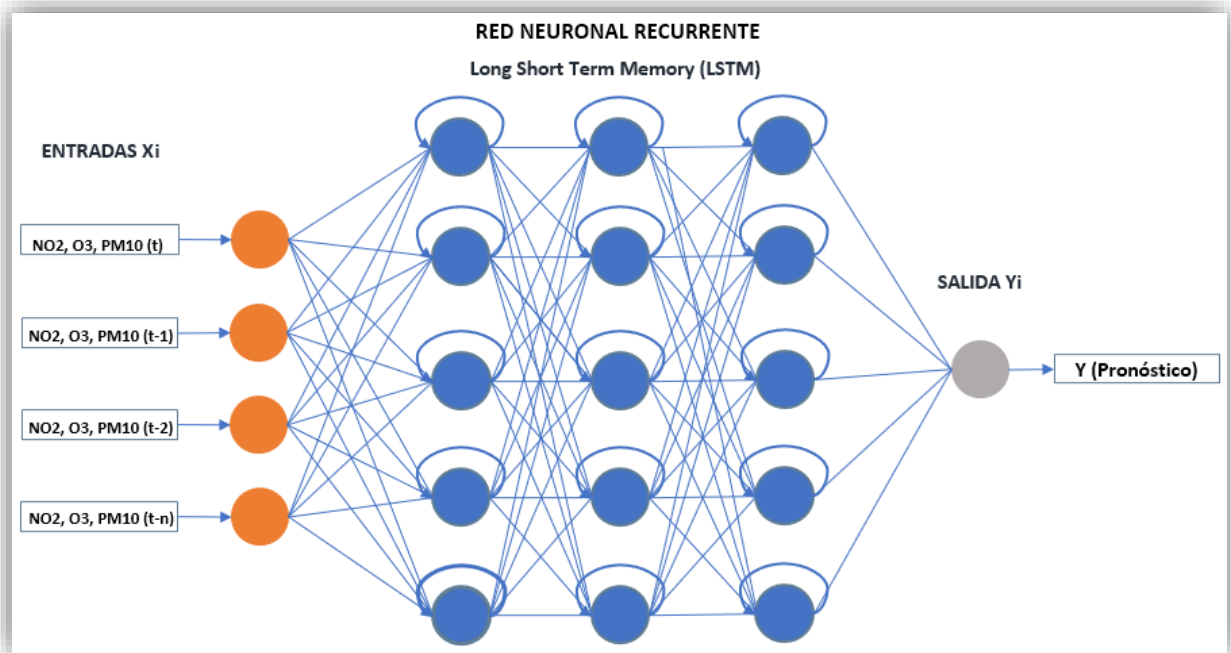
Tabla 4.1. Esquema prototipo del sistema



Fuente: Elaboración propia

3.3. ESQUEMA DEL MODELO

Figura 3.1. Esquema del modelo propuesto



Fuente: Elaboración propia

3.4. APLICANDO LA METODOLOGÍA PROGRAMACIÓN EXTREMA (XP)

3.4.1. Planificación

Fase inicial de la metodología XP para obtener principalmente los requisitos del sistema, además permite establecer los alcances de proyecto y fechas de entrega del sistema.

Para la entrega del proyecto contará con los siguientes módulos:

- Módulo de Simulación de la Contaminación del Aire en la Ciudad de El Alto.
- Módulo de Simulación de la Contaminación del Aire producido por Dióxido de Nitrógeno, ozono troposférico y material particulado.
- Módulo comparativo de los resultados obtenidos.
- Módulo de acceso de datos proporcionado por la Alcaldía de El Alto.
- Visualización de gráficas de los datos obtenidos por las librerías que tiene el lenguaje de programación.

Se definen las siguientes historias de usuario

3.4.1.1. Historias de usuario

Las historias de usuario son descritas en un lenguaje común para ser entendidas por todos (clientes, desarrolladores y usuarios), representando los requerimientos con los que debe cumplir el sistema.

Las historias de usuario son las siguientes:

- Menú principal del sistema
- Carga de datos al sistema
- Graficas de datos
- Menú Modelo de Simulación
- Exportación de datos generado por el modelo
- Visualización de Datos

- Generar PDF

A continuación, en las siguientes tablas se muestran las historias de usuario, las cuales fueron utilizadas para el desarrollo del sistema.

Tabla 3.1. *Historia de usuario menú principal del sistema*

HISTORIA DE USUARIO	
Numero: 1	Usuario: Cliente
Nombre Historia: Menú principal del sistema	
Prioridad en negocio: Alta (Alta, Media, Baja)	Riesgo en desarrollo: Media (Alta, Media, Baja)
Puntos estimados: 1	Iteración asignada: 1
Programador responsable: Roger Huanca Cori	
Descripción: El usuario tiene las distintas opciones en el menú, que estarán bloqueadas hasta que cargue el set de datos que necesita el modelo para realizar gráficas y proyecciones.	
Observaciones:	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2. *Historia de usuario, carga de datos al sistema*

HISTORIA DE USUARIO	
Numero: 2	Usuario: Cliente
Nombre Historia: Carga de datos al sistema	
Prioridad en negocio: Alta (Alta, Media, Baja)	Riesgo en desarrollo: Media (Alta, Media, Baja)
Puntos estimados: 2	Iteración asignada: 1
Programador responsable: Roger Huanca Cori	
Descripción: El usuario al presionar el botón, aparece una ventana de dialogo para buscar el archivo correspondiente en un formato CSV, caso contrario le saldrá un mensaje de error.	
Observaciones:	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3. *Historia de usuario grafica de datos*

HISTORIA DE USUARIO	
Numero: 3	Usuario: Cliente
Nombre Historia: Gráfica de datos	
Prioridad en negocio: Alta (Alta, Media, Baja)	Riesgo en desarrollo: Baja (Alta, Media, Baja)
Puntos estimados: 1	Iteración asignada: 1
Programador responsable: Roger Huanca Cori	
Descripción: El usuario tiene la opción de ver las gráficas del set de datos cargados al sistema más los datos que genera el modelo.	
Observaciones:	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4. *Historia de usuario menú modelo de Simulación*

HISTORIA DE USUARIO	
Numero: 4	Usuario: Cliente
Nombre Historia: Menú modelo de Simulación	
Prioridad en negocio: Alta (Alta, Media, Baja)	Riesgo en desarrollo: Alta (Alta, Media, Baja)
Puntos estimados: 2	Iteración asignada: 1
Programador responsable: Roger Huanca Cori	
Descripción: El usuario interactúa con el menú que tiene acceso al modelo de proyección donde tendrá diferentes opciones o parámetros para utilizar el modelo.	
Observaciones:	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5. *Historia de usuario exportación de datos*

HISTORIA DE USUARIO	
Numero: 5	Usuario: Cliente
Nombre Historia: Exportación de datos generados por el modelo	
Prioridad en negocio: Alta (Alta, Media, Baja)	Riesgo en desarrollo: Baja (Alta, Media, Baja)
Puntos estimados: 1	Iteración asignada: 1
Programador responsable: Roger Huanca Cori	
Descripción: El usuario tiene la opción de guardar los datos generados por el modelo en un archivo en formato CSV para lo cual se le abrirá una ventana de dialogo para guardar la ubicación del archivo.	
Observaciones:	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.6. *Historia de usuario visualización de datos*

HISTORIA DE USUARIO	
Numero: 6	Usuario: Cliente
Nombre Historia: Visualización de los datos	
Prioridad en negocio: Media (Alta, Media, Baja)	Riesgo en desarrollo: Media (Alta, Media, Baja)
Puntos estimados: 1	Iteración asignada: 1
Programador responsable: Roger Huanca	
Descripción: El usuario puede visualizar los datos cargados en el sistema, más los datos generados por el sistema.	
Observaciones:	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7. *Historia de usuario generar PDF*

HISTORIA DE USUARIO	
Numero: 7	Usuario: Cliente
Nombre Historia: Generar PDF	
Prioridad en negocio: Media (Alta, Media, Baja)	Riesgo en desarrollo: Media (Alta, Media, Baja)
Puntos estimados: 1	Iteración asignada: 1
Programador responsable: Roger Huanca Cori	
Descripción: El usuario puede visualizar los datos generados por el modelo en un archivo PDF en la cual se detallan las características de los gráficos.	
Observaciones:	

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Asignación de roles

En la siguiente tabla se muestra la asignación de roles para el desarrollo del aplicativo.

Tabla 3.8. *Asignación de roles del proyecto*

ROLES	ASIGNADO A:
Programador	Roger Huanca
Cliente	Usuario final
Encargado de pruebas (Tester)	Roger Huanca
Encargado de seguimiento (Tracker)	Roger Huanca
Entrenador (Coach)	Roger Huanca
Consultor	Roger Huanca
Gestor (Big Boss)	Roger Huanca

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Plan Entrega del Proyecto

Basándonos en las historias de usuario definidas para el desarrollo del sistema se elabora el siguiente plan de entrega, donde las historias de usuario se llevarán a cabo en cada iteración, para el plan de entrega se toma en cuenta la prioridad y el esfuerzo de cada historia de usuario, en la siguiente tabla se muestra el plan de entrega del proyecto.

Tabla 3.9. *Plan de entrega del proyecto*

HISTORIAS	ITERACIÓN	PRIORIDAD	ESFUERZO	FECHA INICIO	FECHA FINAL
Historia 1	1	Alta	2	20/02/22	31/02/22
Historia 2	1	Alta	2	01/03/22	14/03/22
Historia 3	1	Alta	2	15/03/22	21/03/22
Historia 4	1	Alta	2	22/03/22	04/04/22
Historia 5	1	Alta	2	05/04/22	18/04/22
Historia 6	1	Alta	2	19/04/22	30/04/22
Historia 7	1	Alta	2	02/05/22	09/05/22

Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Ciclo de vida del proyecto

3.4.4.1. Primera iteración

Para la siguiente iteración se han desarrollado los módulos

En la tabla siguiente se muestran de forma general las historias de usuario de esta etapa.

Tabla 3.10. *Historias de usuario*

NÚMERO	NOMBRE
1	Ingreso al sistema
2	Menú principal del sistema
3	Carga de datos al sistema
4	Graficas de datos
5	Menú Modelo de Simulación
6	Exportación de datos generado por el modelo
7	Visualización de Datos

Fuente: Elaboración propia

3.4.5. Tareas de ingeniería

En la siguiente tabla se muestran de manera general las correspondientes tareas de ingeniería y en las tablas posteriores se detallan cada una de ellas.

Tabla 3.11. *Tareas de ingeniería*

NÚMERO DE TAREA	NÚMERO DE HISTORIAS	NOMBRE DE LA TAREA
1	1	Diseño del menú principal del sistema
2	2	Diseño de la interfaz de carga de datos al sistema
3	3	Diseño de la interfaz de gráficos totales
4	4	Diseño de la interfaz de gráficos por estaciones
5	4	Diseño de la interfaz del menú de simulaciones
6	5	Diseño de exportación de datos
7	6	Diseño de la interfaz de visualización de datos
8	7	Diseño de formato y contenido PDF

Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCION DE LAS TAREAS DE INGENIERIA

Tabla 3.12. Tarea de ingeniería 1 para historia de usuario 1

TAREA DE INGENIERÍA	
Numero de Tarea: 1	Número de Historia: 1
Nombre de Tarea: Diseño del menú principal del sistema	
Tipo de Tarea: Desarrollo	Puntos Estimados: 1
Fecha Inicio: 20/02/22	Fecha Fin: 31/02/22
Programador Responsable: Roger Huanca Cori	
Descripción: Se realiza el diseño del menú principal del sistema donde el usuario podrá ver las distintas opciones del sistema	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.13. Tarea de ingeniería 2 para historia de usuario 2

TAREA DE INGENIERÍA	
Numero de Tarea: 2	Número de Historia: 2
Nombre de Tarea: Diseño de la interfaz de carga de datos al sistema	
Tipo de Tarea: Desarrollo	Puntos Estimados: 0.5
Fecha Inicio: 01/03/22	Fecha Fin: 14/03/22
Programador Responsable: Roger Huanca Cori	
Descripción: Se realiza el diseño de la interfaz de la carga de datos en el que el usuario le saldrá una ventana de diálogo para buscar los datos a cargar.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14. *Tarea de ingeniería 3 para historia de usuario 3*

TAREA DE INGENIERÍA	
Numero de Tarea: 3	Número de Historia: 3
Nombre de Tarea: Diseño de la interfaz de gráficos totales	
Tipo de Tarea: Desarrollo	Puntos Estimados: 2
Fecha Inicio: 15/03/22	Fecha Fin: 21/03/22
Programador Responsable: Roger Huanca Cori	
Descripción: Se realiza el diseño de la interfaz de las gráficas de los datos que fueron cargados.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.15. *Tarea de ingeniería 4 para historia de usuario 3*

TAREA DE INGENIERÍA	
Numero de Tarea: 4	Número de Historia: 3
Nombre de Tarea: Diseño de la interfaz de gráficos por estaciones	
Tipo de Tarea: Desarrollo	Puntos Estimados: 1
Fecha Inicio: 22/03/21	Fecha Fin: 04/04/22
Programador Responsable: Roger Huanca	
Descripción: Se realiza el diseño de la interfaz de las gráficas por estaciones de los datos que fueron cargados.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.16. *Tarea de ingeniería 5 para historia de usuario 4*

TAREA DE INGENIERÍA	
Numero de Tarea: 5	Número de Historia: 4
Nombre de Tarea: Diseño de la interfaz del menú de simulaciones	
Tipo de Tarea: Desarrollo	Puntos Estimados: 1
Fecha Inicio: 05/04/22	Fecha Fin: 18/04/22
Programador Responsable: Roger Huanca Cori	
Descripción: Se realiza el diseño de la interfaz del menú de simulaciones, el usuario podrá visualizar las opciones que tiene.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17. *Tarea de ingeniería 6 para historia de usuario 5*

TAREA DE INGENIERÍA	
Numero de Tarea: 6	Número de Historia: 5
Nombre de Tarea: Diseño de exportación de datos	
Tipo de Tarea: Desarrollo	Puntos Estimados: 0.5
Fecha Inicio: 19/04/22	Fecha Fin: 30/04/22
Programador Responsable: Roger Huanca	
Descripción: Se realiza el diseño para la exportación de datos que genero el modelo, al usuario tendrá la posibilidad de guardar los datos.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.18. *Tarea de ingeniería 7 para historia de usuario 6*

TAREA DE INGENIERÍA	
Numero de Tarea: 7	Número de Historia: 6
Nombre de Tarea: Diseño de la interfaz de visualización de datos	
Tipo de Tarea: Desarrollo	Puntos Estimados: 1
Fecha Inicio: 02/05/22	Fecha Fin: 09/05/22
Programador Responsable: Roger Huanca Cori	
Descripción: Se realiza el diseño de la interfaz para la visualización de datos cargados como las que generó el modelo.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.19. *Tarea de ingeniería 8 para historia de usuario 7*

TAREA DE INGENIERÍA	
Numero de Tarea: 8	Número de Historia: 7
Nombre de Tarea: Diseño de formato y contenido PDF	
Tipo de Tarea: Desarrollo	Puntos Estimados: 1
Fecha Inicio: 02/05/22	Fecha Fin: 09/05/22
Programador Responsable: Roger Huanca Cori	
Descripción: Se realiza el diseño de la interfaz para la visualización de datos que generó el modelo en un formato PDF para un mejor entendimiento de los datos junto con las gráficas.	

Fuente: Elaboración propia

PRUEBAS DE ACEPTACIÓN

En la siguiente tabla se definen de forma general las pruebas de aceptación y en las tablas posteriores se describen cada una de ellas, las cuales fueron utilizadas para la primera iteración.

- Menú principal del sistema
- Carga de datos al sistema
- Gráficas de datos
- Menú Modelo de Simulación
- Exportación de datos generado por el modelo
- Visualización de Datos
- Generar PDF

Tabla 3.20. *Pruebas de aceptación*

NÚMERO DE LA PRUEBA	NÚMERO DE HISTORIA	NOMBRE DE LA PRUEBA
1	1	Ingreso al sistema
2	2	Ingreso al menú principal
3	3	Carga de datos
4	4	Visualizar graficas
5	5	Ingreso al menú de Simulaciones
6	6	Guardar datos generados
7	7	Visualizar datos

Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN PRUEBAS DE ACEPTACIÓN

Tabla 3.21. Caso de prueba ingreso al menú principal

CASO DE PRUEBA	
Código: 1	Número de Historia de usuario: 1
Historia de usuario: Ingreso al menú principal	
Condiciones de ejecución: El usuario debe ingresar al aplicativo	
Entrada/Pasos de Ejecución: Dar clic en la aplicación Se le abrirá una ventana del menú principal del aplicativo	
Resultado esperado: Acceso a las funcionalidades del sistema	
Evaluación de la prueba: La prueba se concluyó satisfactoriamente.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.22. Caso de prueba carga de datos

CASO DE PRUEBA	
Código: 2	Número de Historia de usuario: 2
Historia de usuario: Carga de datos	
Condiciones de ejecución: El usuario buscar los datos en el ordenador	
Entrada/Pasos de Ejecución: Dar clic en el botón CARGAR DATOS Se le aparecerá una ventana de diálogo para buscar el archivo Luego pulsar el botón ACEPTAR	
Resultado esperado: Datos almacenados correctamente	
Evaluación de la prueba: La prueba se concluyó satisfactoriamente.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.23. *Caso de prueba visualizar gráficas*

CASO DE PRUEBA	
Código: 3	Número de Historia de usuario: 3
Historia de usuario: Visualizar graficas	
Condiciones de ejecución: El usuario debe ingresar al aplicativo y cargar los datos.	
Entrada/Pasos de Ejecución: Dar clic en el botón ver graficas Hacer clic en la estación para ver las gráficas de los datos	
Resultado esperado: visualizar las gráficas correctamente	
Evaluación de la prueba: La prueba se concluyó satisfactoriamente.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24. *Caso de prueba ingreso menú de simulaciones*

CASO DE PRUEBA	
Código: 4	Número de Historia de usuario: 4
Historia de usuario: Ingreso al menú de simulaciones	
Condiciones de ejecución: El usuario debe cargar los datos	
Entrada/Pasos de Ejecución: Dar clic en el botón modelo de simulación Luego accederá a las funcionalidades	
Resultado esperado: Acceso a las funcionalidades del modelo	
Evaluación de la prueba: La prueba se concluyó satisfactoriamente.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25. *Caso de prueba guardar datos generados*

CASO DE PRUEBA	
Código: 5	Número de Historia de usuario: 5
Historia de usuario: Guardar datos generados	
Condiciones de ejecución: El usuario debe hacer uso del modelo	
Entrada/Pasos de Ejecución: Dar clic en el botón GUARDAR Guardar la ubicación del archivo Luego pulsar el botón ACEPTAR	
Resultado esperado: Guarda la información almacenada correctamente	
Evaluación de la prueba: La prueba se concluyó satisfactoriamente.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.26. *Caso de prueba Visualizar datos*

CASO DE PRUEBA	
Código: 6	Número de Historia de usuario: 6
Historia de usuario: Visualizar datos	
Condiciones de ejecución: El usuario guardar los datos	
Entrada/Pasos de Ejecución: Dar clic en el botón VISUALIZAR Luego pulsar el botón MOSTRAR	
Resultado esperado: Visualización de los datos guardados correctamente	
Evaluación de la prueba: La prueba se concluyó satisfactoriamente.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.27. Caso de prueba Generar PDF

CASO DE PRUEBA	
Código: 7	Número de Historia de usuario: 7
Historia de usuario: Generar PDF	
Condiciones de ejecución: El usuario guardar los datos	
Entrada/Pasos de Ejecución: El usuario utiliza el modelo para que se habilite el botón para generar el PDF Luego pulsar el botón GENERAR PDF	
Resultado esperado: Visualización de los datos correctamente en un formato de documento PDF	
Evaluación de la prueba: La prueba se concluyó satisfactoriamente.	

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en las imágenes se presentan las pantallas de los módulos que se desarrollaron.

CAPTURAS DE PANTALLA

Figura 3.2. Pantalla menú principal



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3. Pantalla cargar datos

tk
File Help

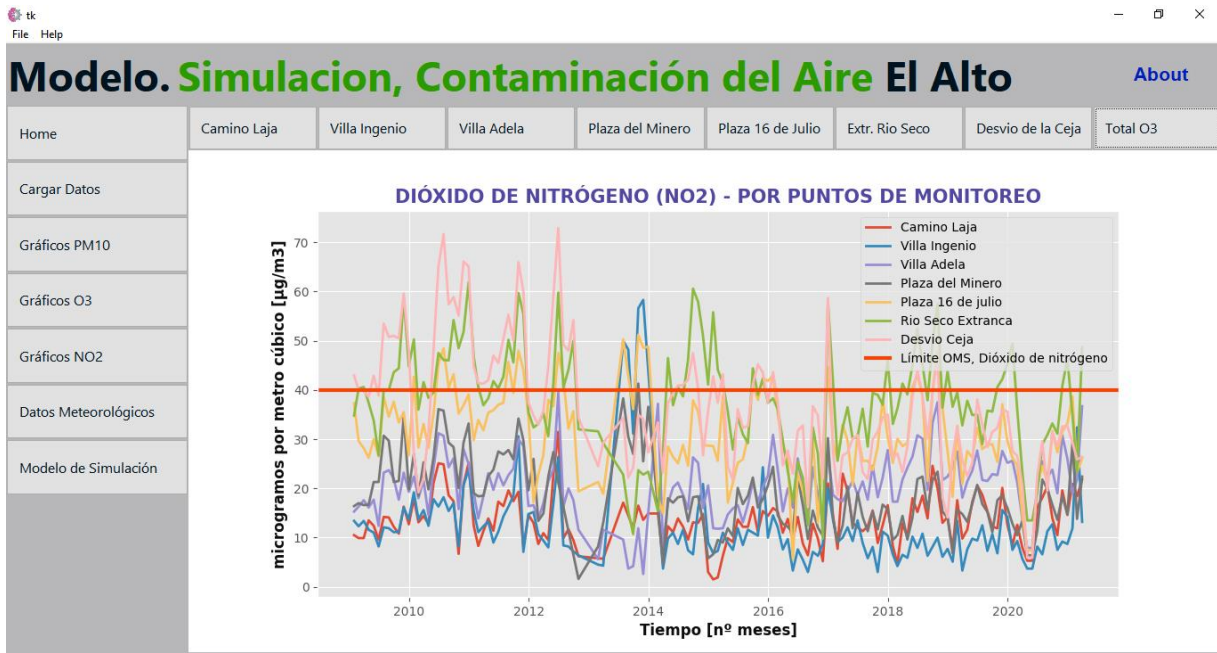
Modelo. Simulación, Contaminación del Aire El Alto About

	date	NO2CL	O3CL	NO2VI	O3VI	NO2VA	O3VA	NO2PM	O3PM	NO2P16	O3P16	NO2EX	O3EX	
Home	1	31/01/2009	10.50	49.30	13.40	47.30	15.30	44.20	16.40	41.70	37.30	32.50	34.80	29.20
	2	28/02/2009	9.90	33.30	12.30	29.20	16.30	18.50	17.00	13.30	29.60	14.40	40.30	9.50
Cargar Datos	3	31/03/2009	9.90	42.50	13.40	41.50	17.60	32.80	16.60	33.70	28.20	22.50	40.60	15.10
	4	30/04/2009	13.50	40.40	11.60	38.40	16.10	32.90	16.70	37.40	26.20	23.00	37.40	21.80
	5	31/05/2009	12.40	45.40	11.00	43.70	17.70	26.60	21.30	28.00	30.00	20.20	33.80	21.20
Gráficos PM10	6	30/06/2009	9.60	50.00	8.20	45.20	12.40	24.80	21.30	25.90	26.50	20.80	26.70	17.10
	7	31/07/2009	14.20	56.00	12.10	59.50	23.20	32.00	30.70	35.10	38.60	24.70	40.10	26.10
Gráficos O3	8	31/08/2009	14.10	59.70	11.90	61.80	23.70	45.10	29.70	42.40	34.60	33.40	40.00	36.10
	9	30/09/2009	12.20	58.10	11.10	59.10	22.00	43.20	21.30	40.80	37.60	31.30	43.60	31.10
	10	31/10/2009	10.80	57.70	11.20	61.00	17.70	44.80	21.50	45.70	33.40	32.30	44.40	31.30
Gráficos NO2	11	30/11/2009	16.30	64.90	16.10	72.40	23.20	57.60	34.80	53.90	35.50	44.80	58.80	40.90
	12	31/12/2009	12.70	52.10	13.70	50.90	19.30	42.20	19.80	27.10	26.70	24.70	44.80	28.50
	13	31/01/2010	17.90	49.30	19.20	45.50	22.40	33.20	27.00	27.70	42.70	27.00	50.30	22.20
Datos Meteorológicos	14	28/02/2010	13.10	33.20	13.70	31.60	18.00	25.70	18.50	20.70	28.30	18.00	36.00	17.10
	15	31/03/2010	14.40	52.70	15.60	52.20	21.60	27.40	25.30	29.50	33.10	23.80	41.60	22.80
	16	30/04/2010	12.80	49.50	12.40	52.40	14.60	39.70	19.80	38.50	28.20	31.40	38.40	29.60
Modelo de Simulación	17	31/05/2010	21.10	38.10	17.80	42.10	24.10	26.40	26.30	27.80	35.20	22.50	39.50	21.50
	18	30/06/2010	25.10	51.70	16.30	53.90	31.20	30.60	36.10	30.00	45.30	24.80	47.50	22.70
	19	31/07/2010	24.90	52.00	18.20	53.40	30.70	40.70	35.80	44.20	48.50	33.30	46.10	33.90
	20	31/08/2010	18.60	68.40	15.40	67.30	24.30	52.90	29.30	52.30	40.50	46.60	46.00	45.50
	21	30/09/2010	17.40	77.50	17.00	78.20	26.10	54.20	28.40	60.80	43.20	44.60	54.20	44.10
	22	31/10/2010	6.70	48.50	8.20	49.50	15.80	43.30	20.10	47.80	35.20	39.00	48.50	34.90
	23	30/11/2010	20.80	70.30	20.60	68.50	28.00	55.80	29.30	46.80	36.90	49.70	51.80	44.10
	24	31/12/2010	25.20	67.60	23.90	61.40	24.90	56.10	33.20	46.20	39.10	39.20	61.90	42.10

C:/Users/Windows/Desktop/RNA MODELOS/INFORMACION_RED_MONICA_2009-2021.csv

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4. Pantalla gráficos



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5. Pantalla menú modelo



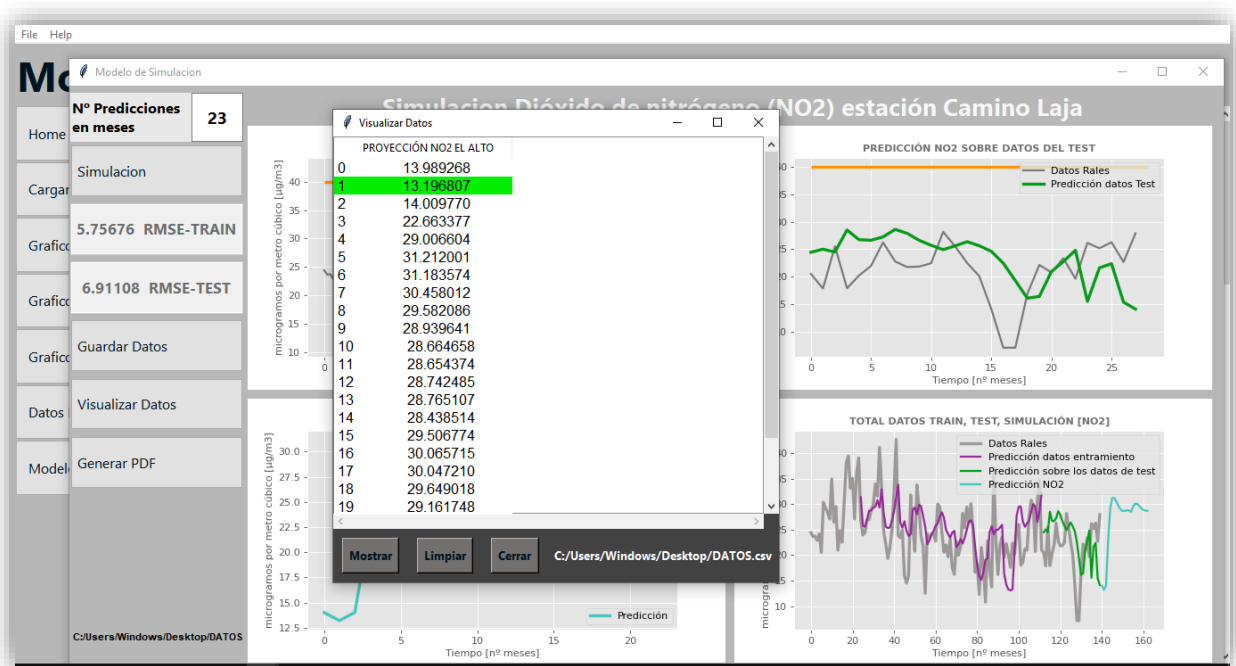
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6. Pantalla guardar datos



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7. Pantalla visualizar datos



Fuente: Elaboración propia

Resultados:

Como resultado de entrega de la primera iteración del aplicativo, el cliente quedó conforme con las funcionalidades de los módulos que se desarrollaron, así mismo se realizaron los cambios que fueron solicitados por el cliente en la primera iteración.

3.5. ÁREA DE ESTUDIO

El Alto ha sido la segunda urbe que más habitantes ha ganado en el país en cifras absolutas: de 649.958 censados en 2001 ha pasado a tener 848.840 en 2012, y se ha ubicado por encima de La Paz. La sede de gobierno ha quedado detrás con 764.617 habitantes, 84.223 menos que El Alto. El primer lugar entre las ciudades lo ocupa Santa Cruz de la Sierra con 1.453.549, según datos del Censo de Población 2012. (Cachi, Pari Mita, & Zalles Velazco, 2016, pág. 3)

Así mismo, en los últimos años el crecimiento de la población vino acompañado por el crecimiento del parque automotor y actividades económicas, que en

consecuencia generan un incremento de las emisiones de contaminantes atmosféricos entre partículas, aerosoles y gases, particularmente en zonas de mayor urbanización.

Tabla 3.28. *Datos generales de la Ciudad de El Alto*

Población (Censo 2012)	848.840 hab.
Precipitación promedio anual	597 mm
Parque automotor	90.079 vehículos (2012) 95.589 vehículos (2013) 100.112 vehículos (2014)
Humedad relativa promedio	57.08%
Altura	4082 msnm
Presión	0.62 atm
Topografía	Planicie altiplánica
Velocidad promedio del viento	2.30 m/s
Temperatura media	7.7 ± 0.1 °C
Dirección predominante del viento	Este Oeste

Fuente: (Cachi, Pari Mita, & Zalles Velazco, 2016, pág. 4)

3.6. RECOLECCIÓN DE DATOS

A continuación, se indica la procedencia de donde y de qué manera se han obtenido los datos para el desarrollo del trabajo de grado.

3.6.1. Monitoreo de calidad del aire

Figura 3.8. *Mapa de ubicación de puntos de monitoreo, El Alto*



Fuente: (Cachi, Pari Mita, & Zalles Velazco, 2016, pág. 5)

Tabla 3.29. Ubicación de sitios de monitoreo Municipio de El Alto

N°	Estación	Código	Ubicación		Contaminante Monitoreado y tecnología				
			Latitud	Longitud	PM ₁₀	PST	CO	NO ₂	O ₃
1	Alcaldía Quemada	AQ	16.505256°	68.162482°	AC				
2	Ciudad Satélite	CS	16.525383°	68.150886°	AC				
3	Avenida Bolivia	AB	16.525037°	68.201384°	AC				
4	Avenida Bolivia	AB	16.525304°	68.201170°				PV	PV
5	Plaza del Minero	PM	16.536765°	68.178943°				PV	PV
6	Camino a Laja	CL	16.511192°	68.239285°				PV	PV
7	Villa Ingenio	VI	16.478183°	68.211112°				PV	PV
8	Ex Tranca Rio Seco	EX	16.491025°	68.202849°				PV	PV
9	Ciudad Satélite	CS	16.525383°	68.150886°				PV	PV
10	Desvió de la Ceja	SP	16.503200°	68.162710°				PV	PV
11	Plaza 16 de Julio	P16	16.494881°	68.173822°				PV	PV
12	Villa Adela	VA	16.520625°	68.212346°				PV	PV
13	Aeropuerto Internacional El Alto	AIEA	16.506789°	68.167732°	AT				

Fuente: Elaboración propia (GAMEA) Red MoniCA

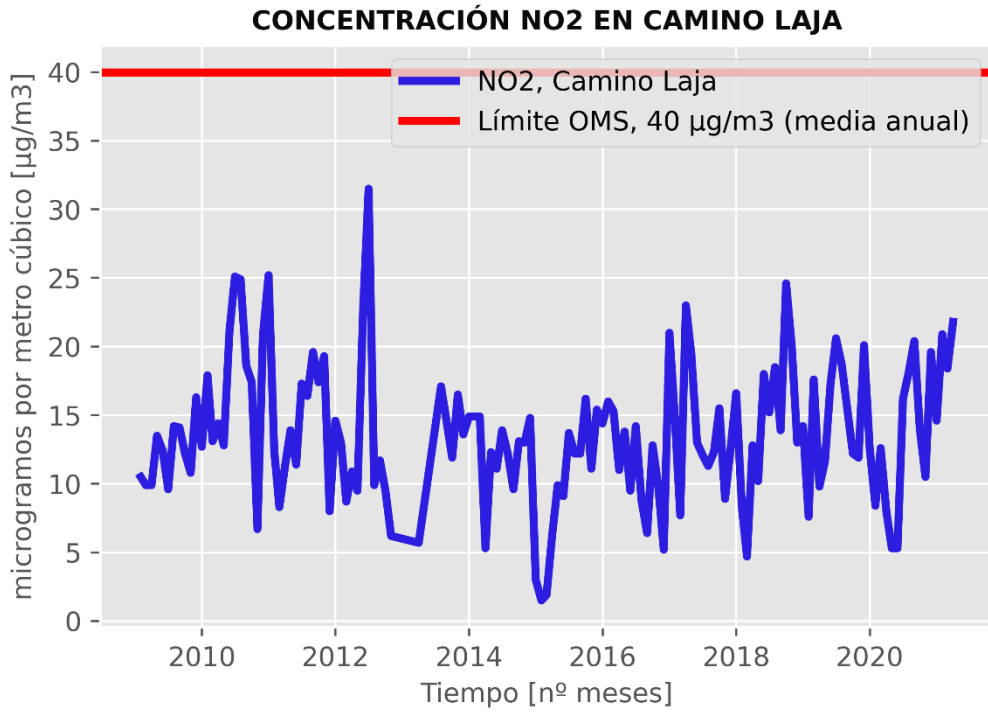
3.6.1.1. Análisis Estadístico de los Datos

En este apartado se estudiarán los datos de forma que se pueda visualizar el comportamiento estadístico de los datos obtenidos de las gestiones 2009 a 2020 en un periodo de 11 años.

a) Contaminación de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) en El Alto

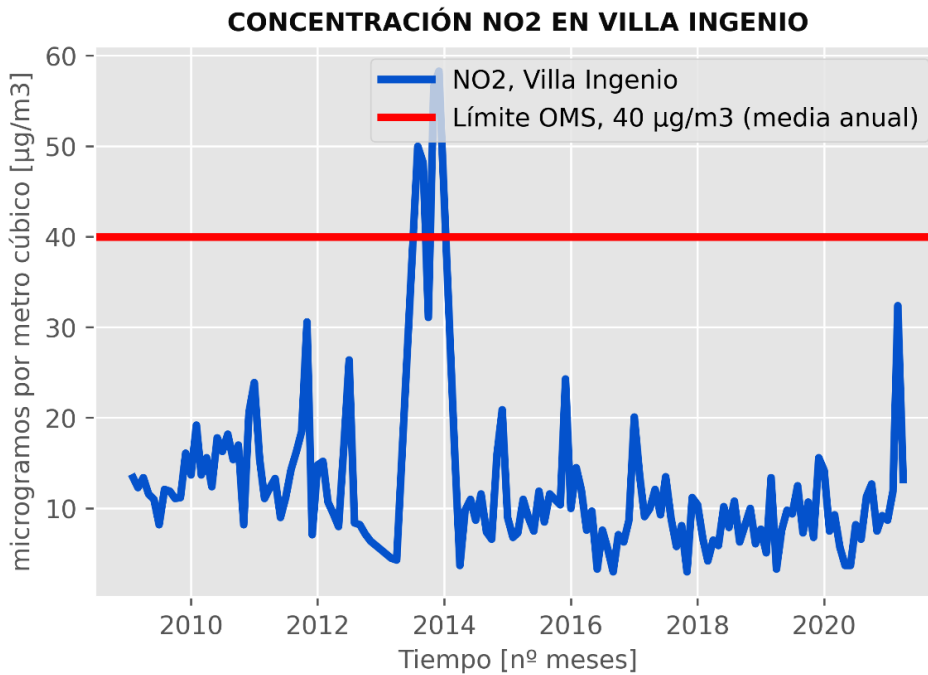
El siguiente gráfico, da a conocer el promedio aritmético anual del total de los datos por punto de muestreo del contaminante de NO₂ en las distintas zonas de la ciudad de El Alto, se observa no excede el límite permisible de 60 µg/m³.

Figura 3.9. *NO2 estación Camino Laja*



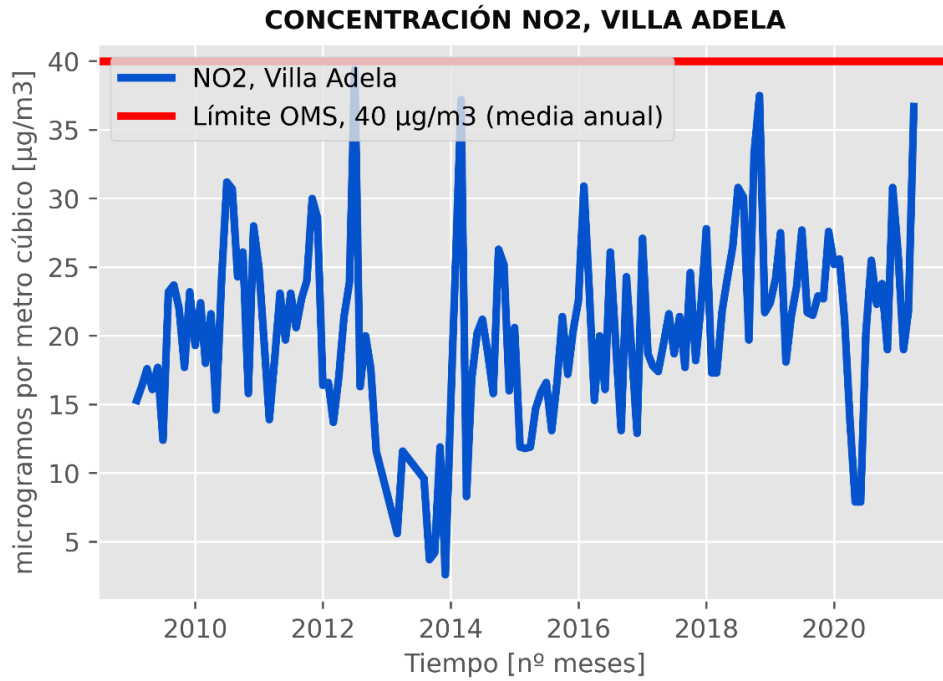
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.10. *NO2 estación Villa ingenio*



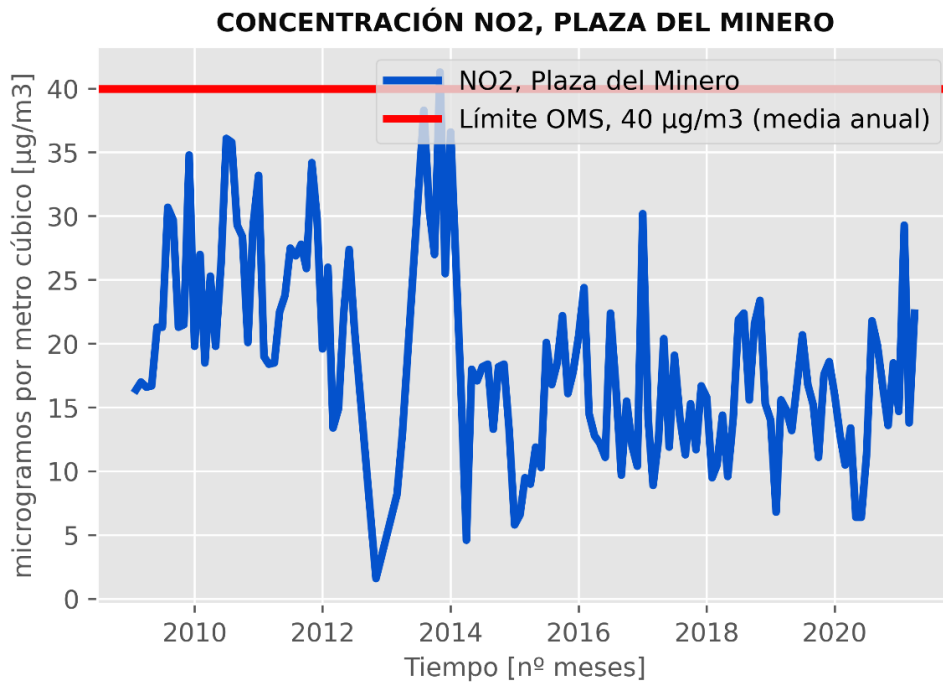
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11. *NO2 estación Villa Adela*



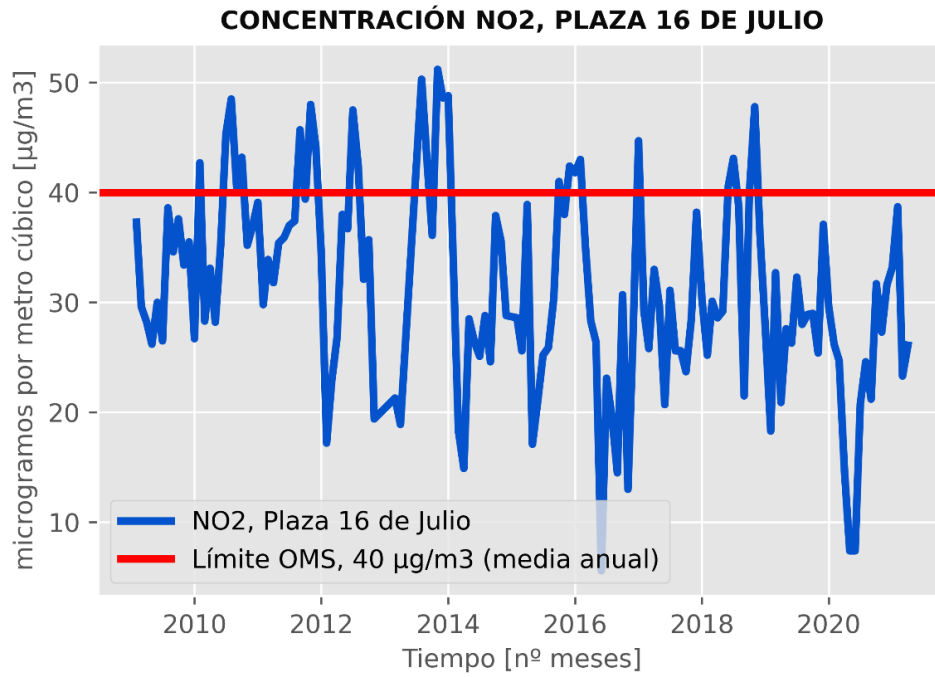
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.12. *NO2 estación Plaza del Minero*



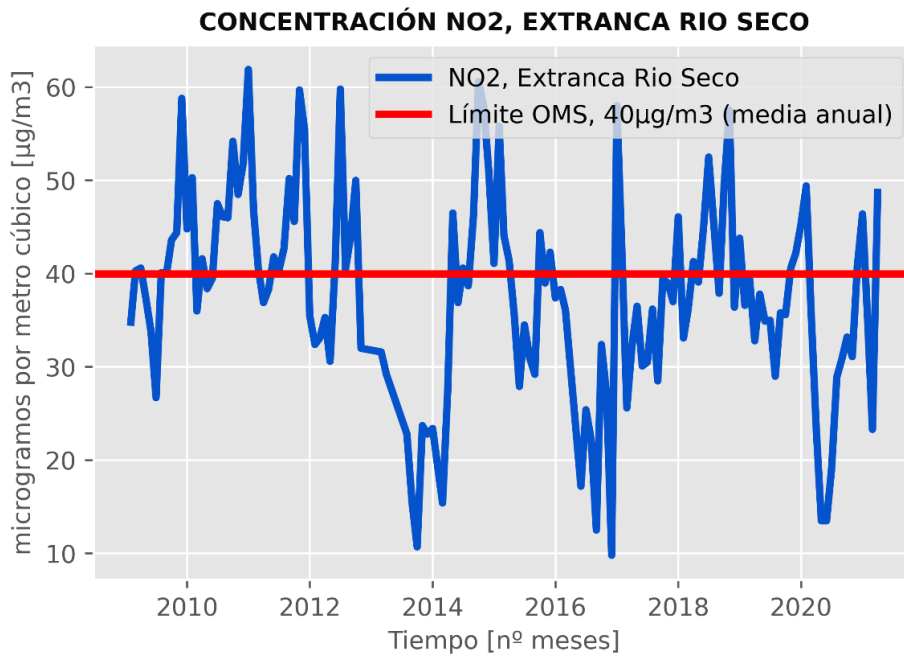
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13. *NO2 estación Plaza 16 de julio*



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.14. *NO2 estación Ex Tranca Rio Seco*



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15. *NO2 estación Desvió de la Ceja*

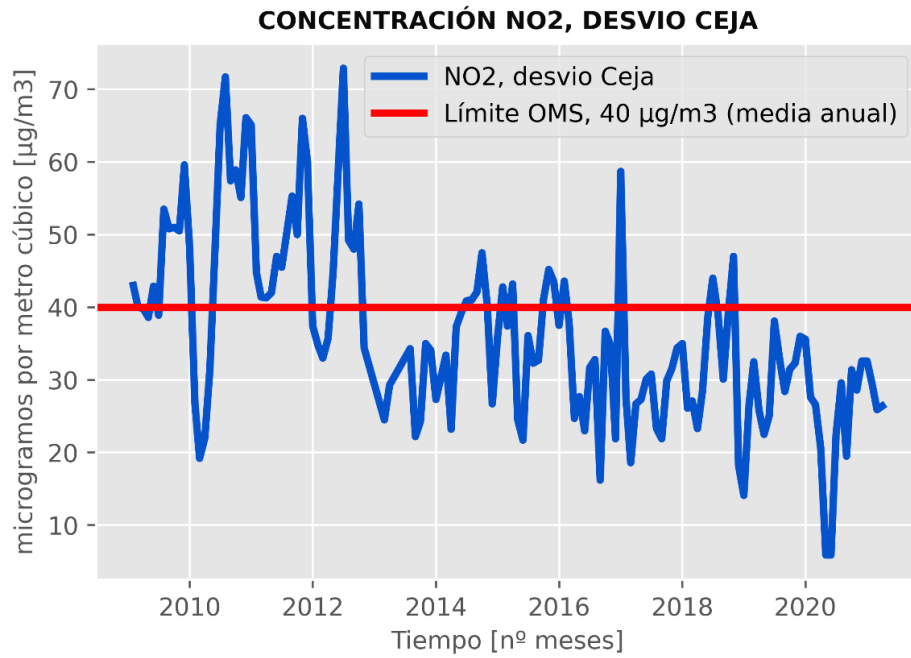
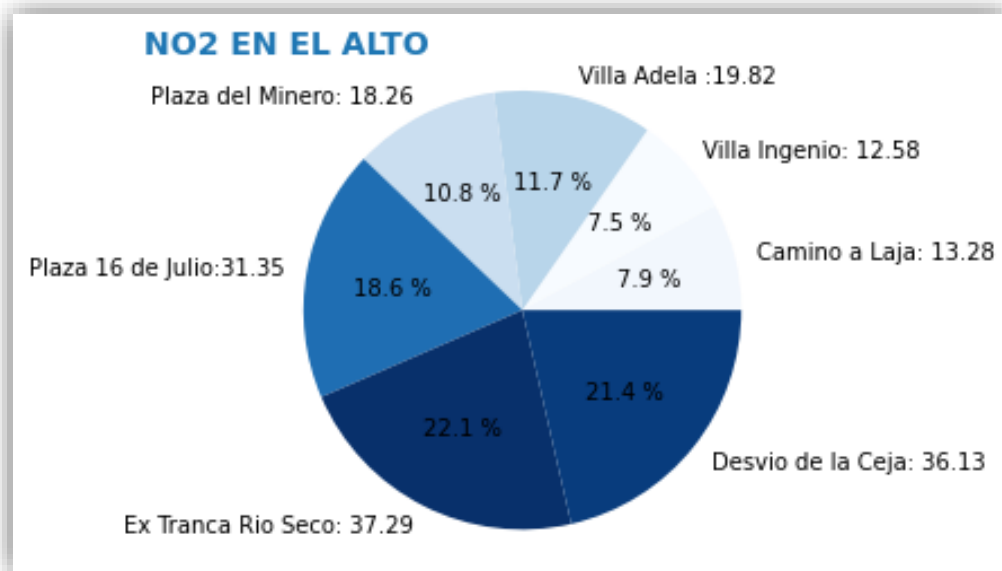


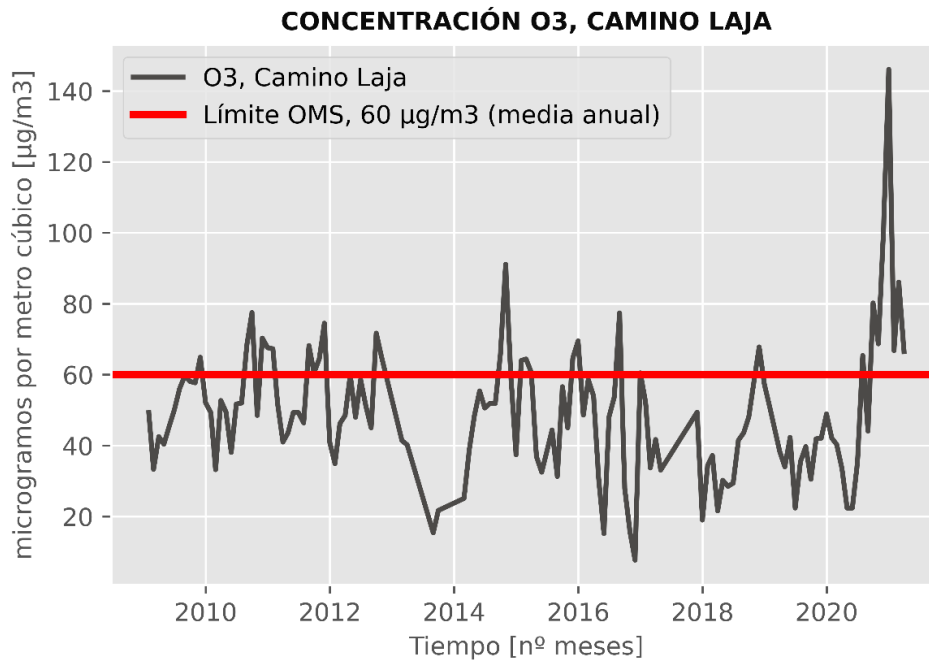
Figura 3.16. *Total, NO2 en El Alto*



b) Contaminación de Ozono Troposférico O3 en El Alto

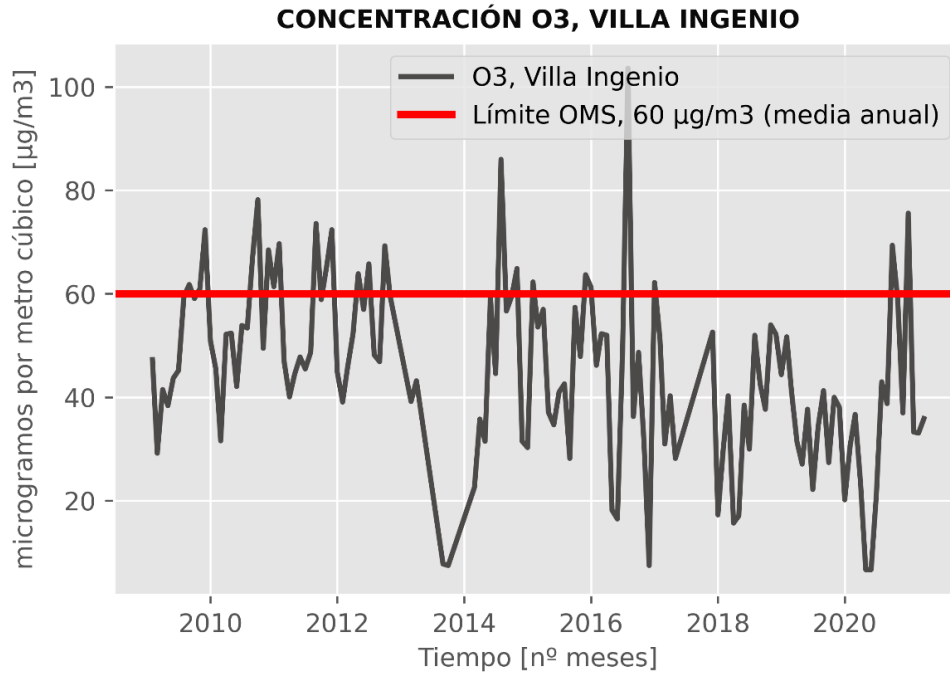
En el gráfico, da a conocer los datos registrados en meses del Gobierno Autónomo municipal de El Alto, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, se puede ver que el dato promedio del comportamiento de la contaminación de O3 en los puntos de monitoreo de la ciudad de El Alto, no exceden el límite permisible de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Figura 3.17. O3, Estación Camino Laja



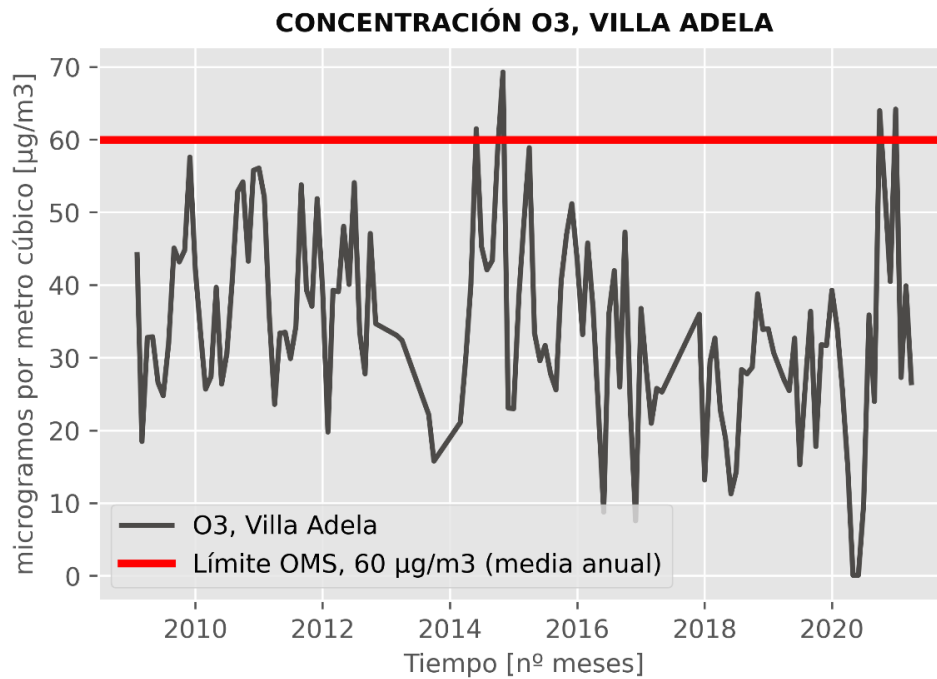
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18. O₃, Estación Villa Ingenio



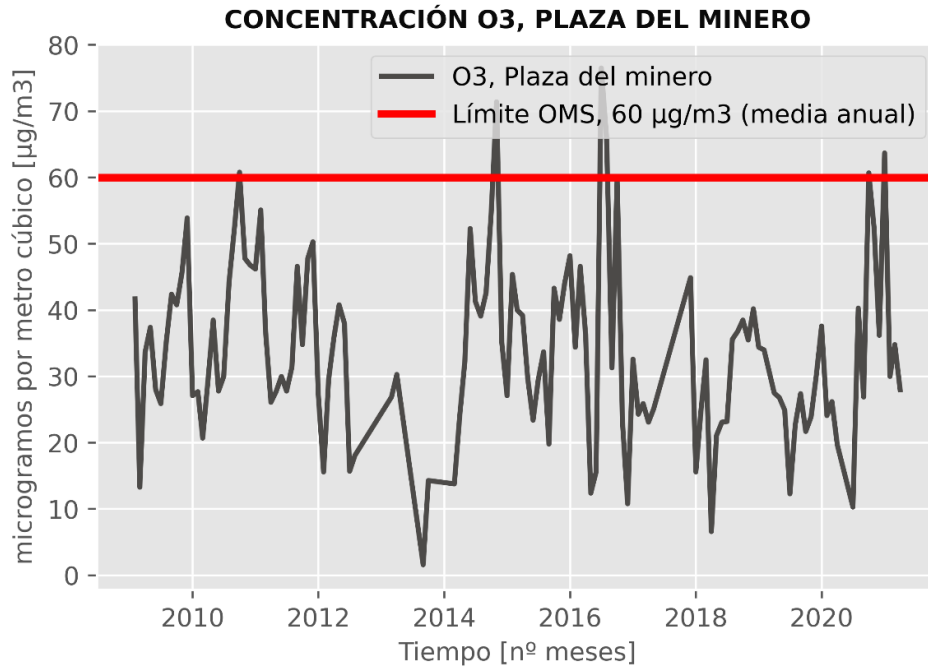
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.19. O₃ Estación Villa Adela



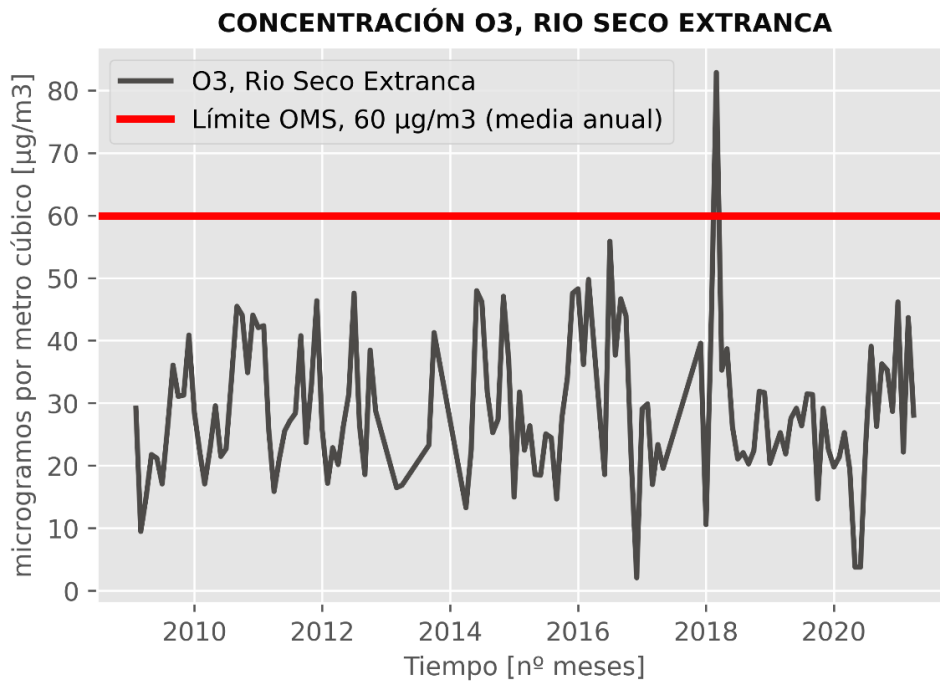
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20. O₃, estación Plaza del Minero



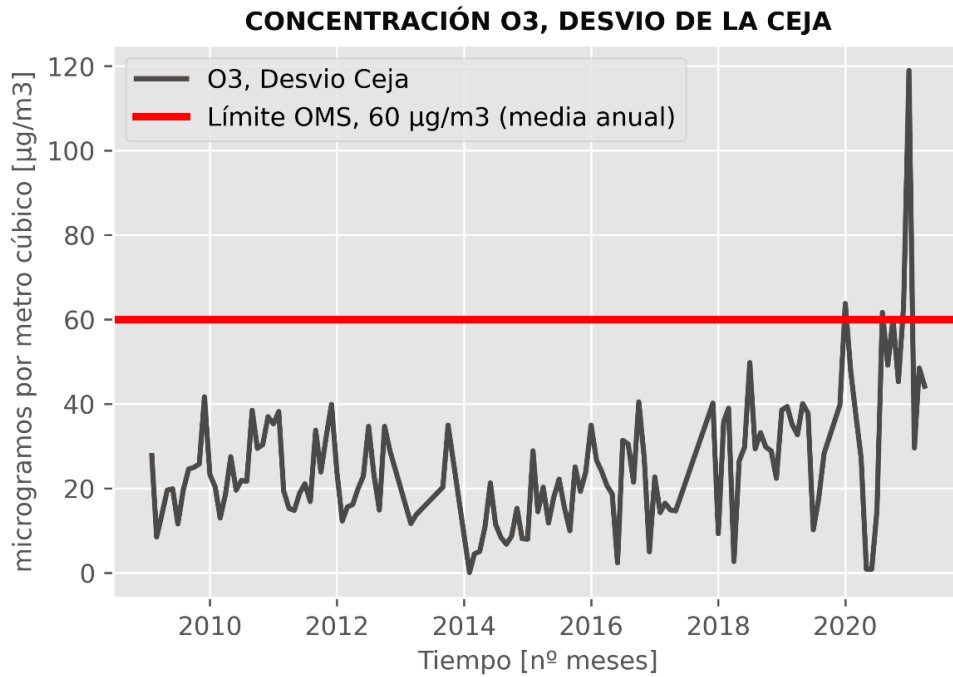
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.21. O₃, estación Ex Tranca Rio Seco



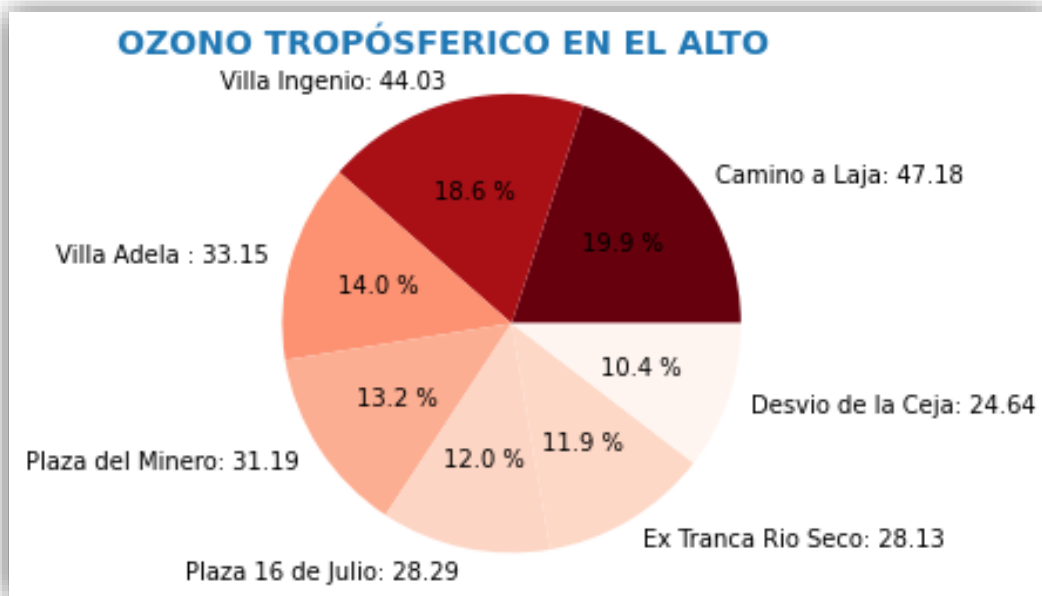
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.22. O3 estación Desvió de la Ceja



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.23. Total, de O3 en El Alto

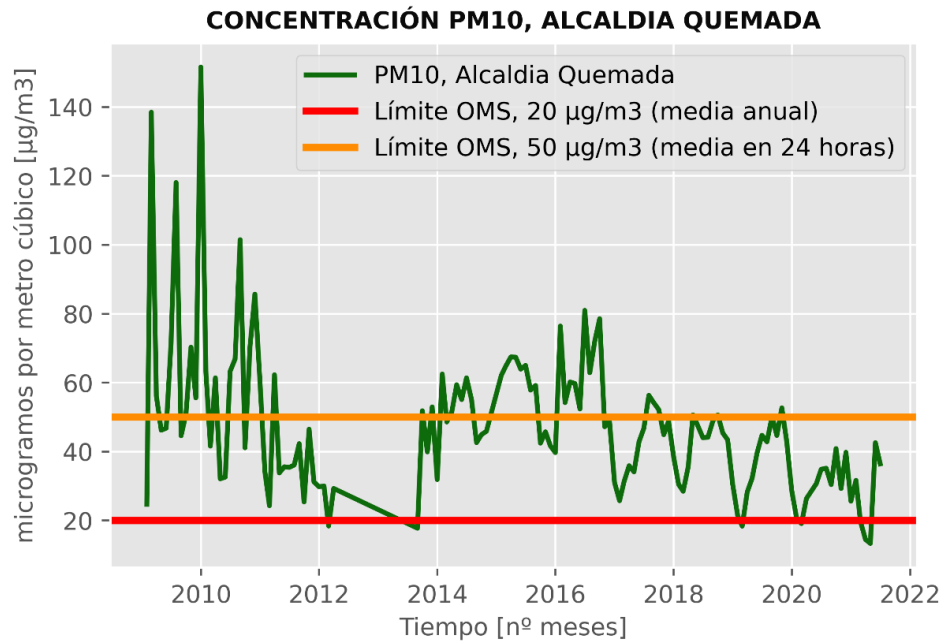


Fuente: Elaboración propia

c) Contaminación de PM10 en El Alto

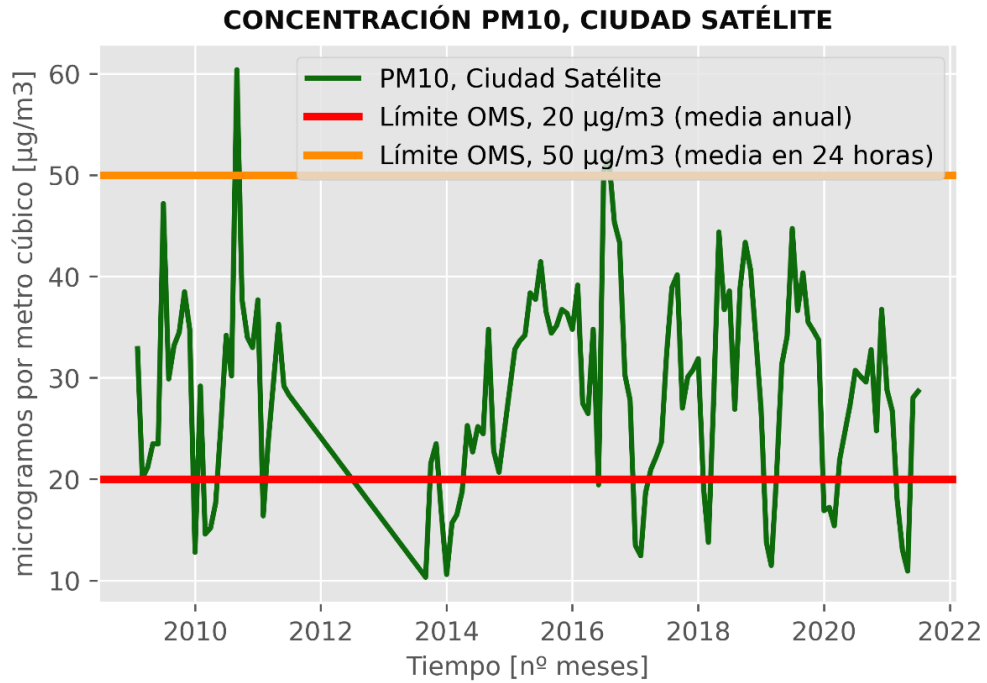
El siguiente gráfico, da a conocer los datos por punto de muestreo del contaminante Material Particulado, PM10 de las distintas zonas de la ciudad de El Alto.

Figura 3.24. *PM10 estación Alcaldía Quemada*



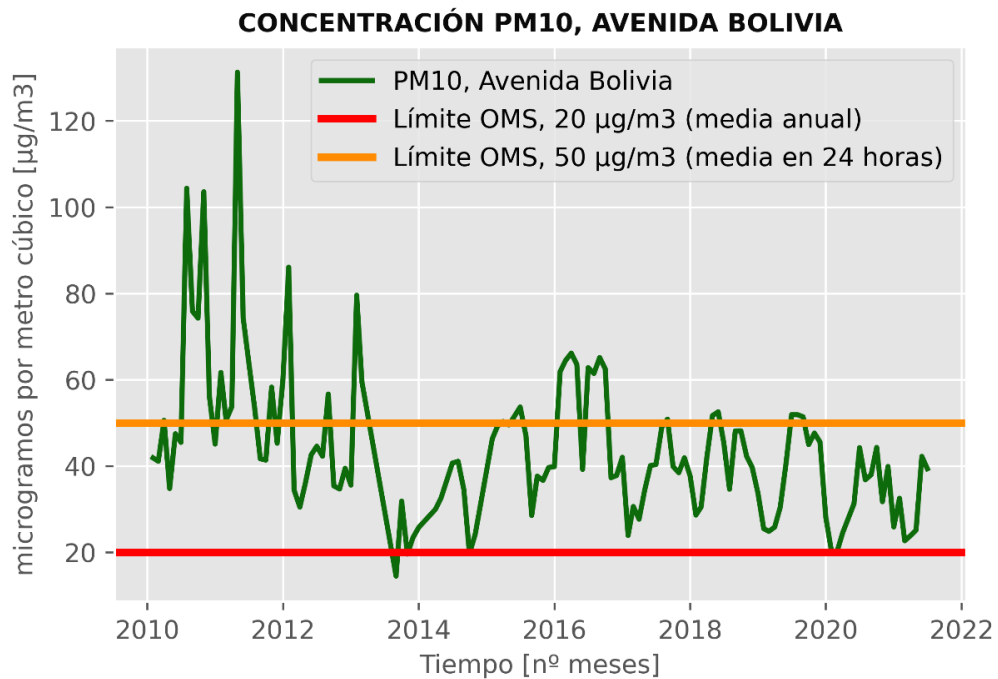
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.25. *PM10 estación Ciudad Satélite*



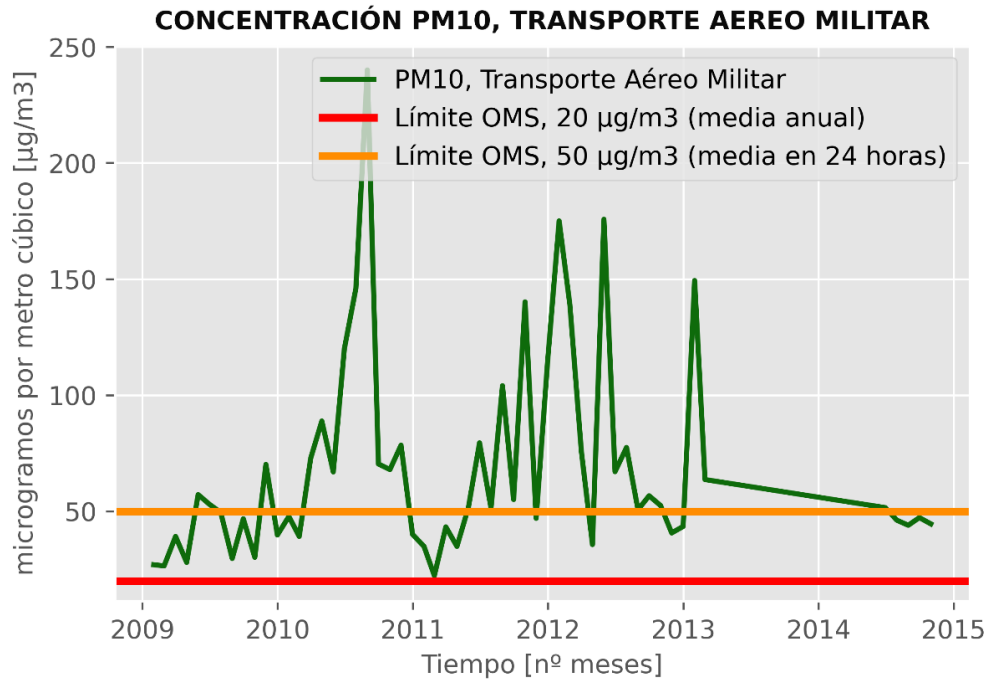
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26. *PM10 estación Avenida Bolivia*



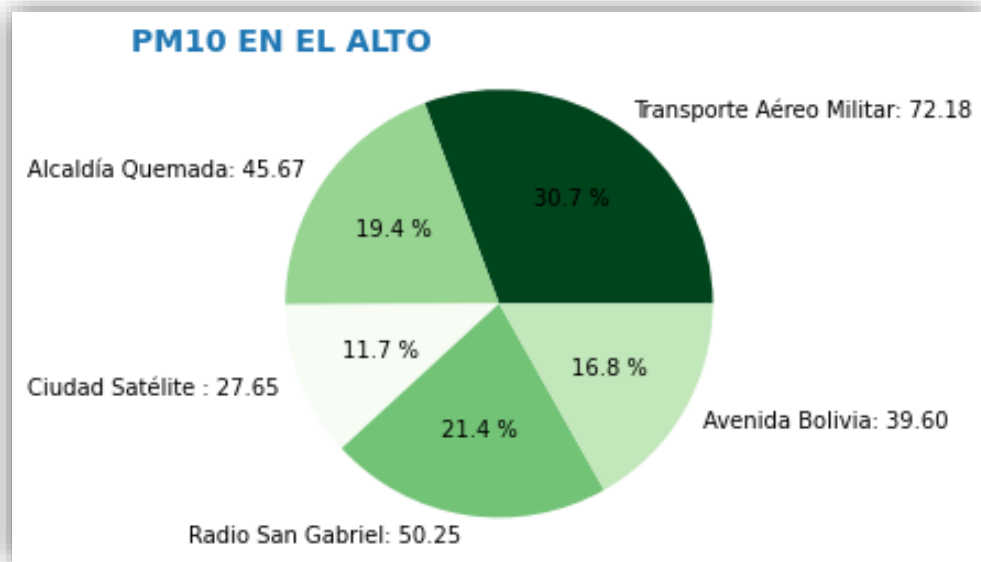
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.27. PM10 estación Transporte Aéreo Militar



Fuente: Elaboración propia

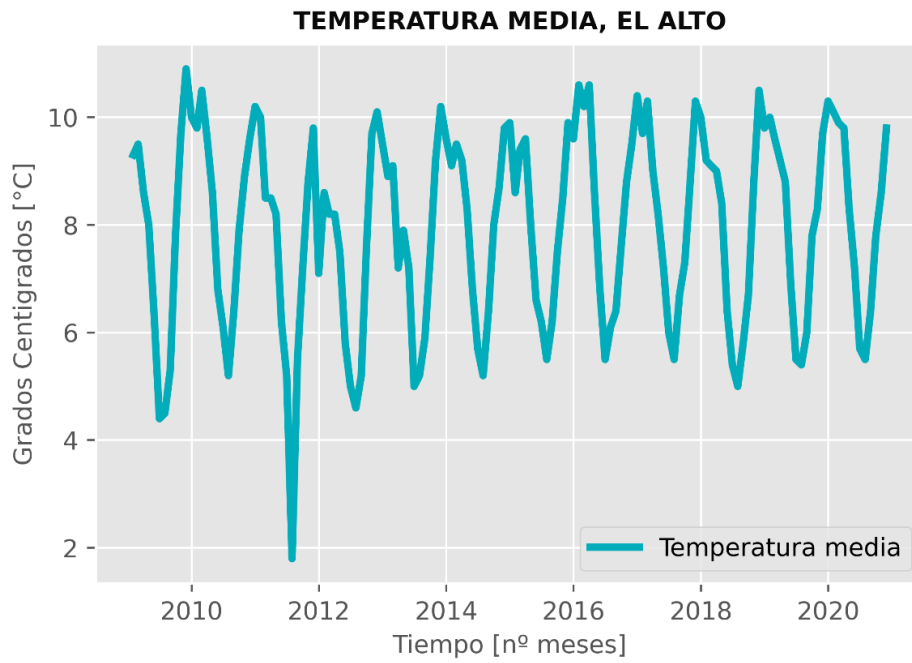
Figura 3.28. Total, de PM10 en El Alto



Fuente: Elaboración propia

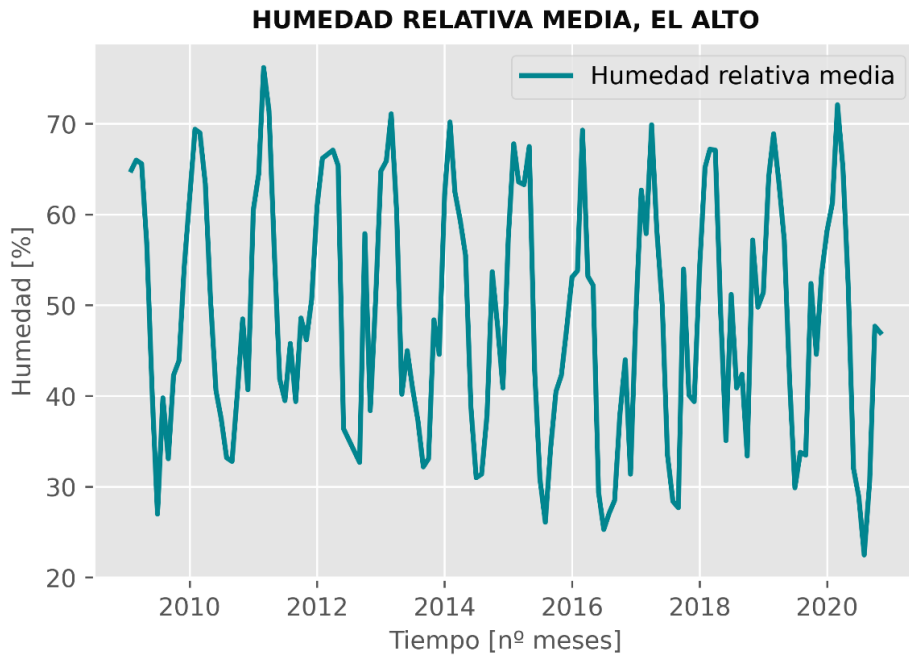
3.6.2. Datos Meteorológicos en la Ciudad de El Alto

Figura 3.29. *Temperatura Media (°C)*



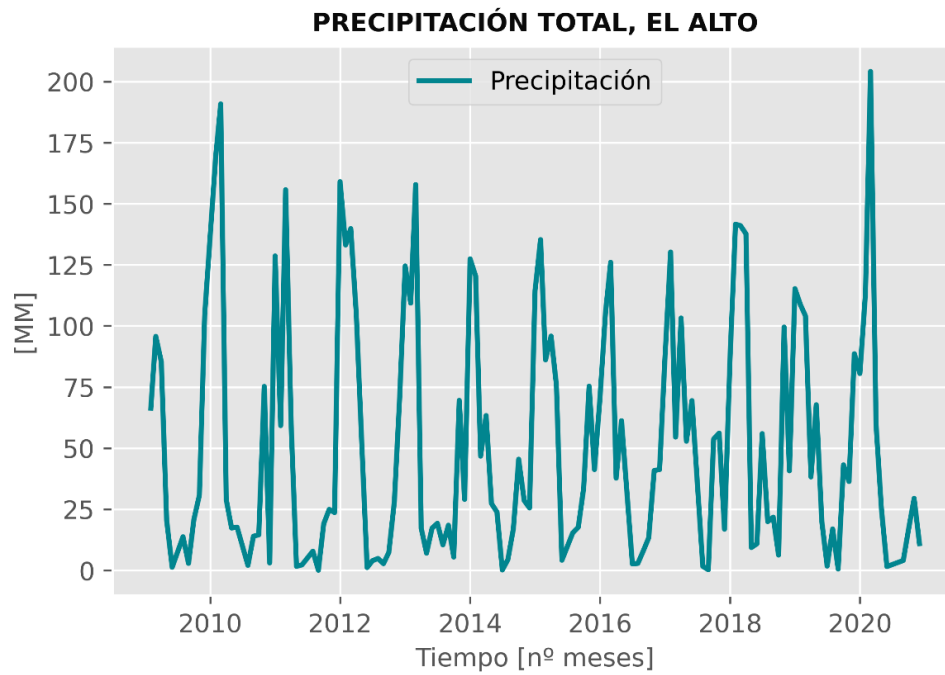
Fuente: Senamhi

Figura 3.30. *Humedad Relativa Media*



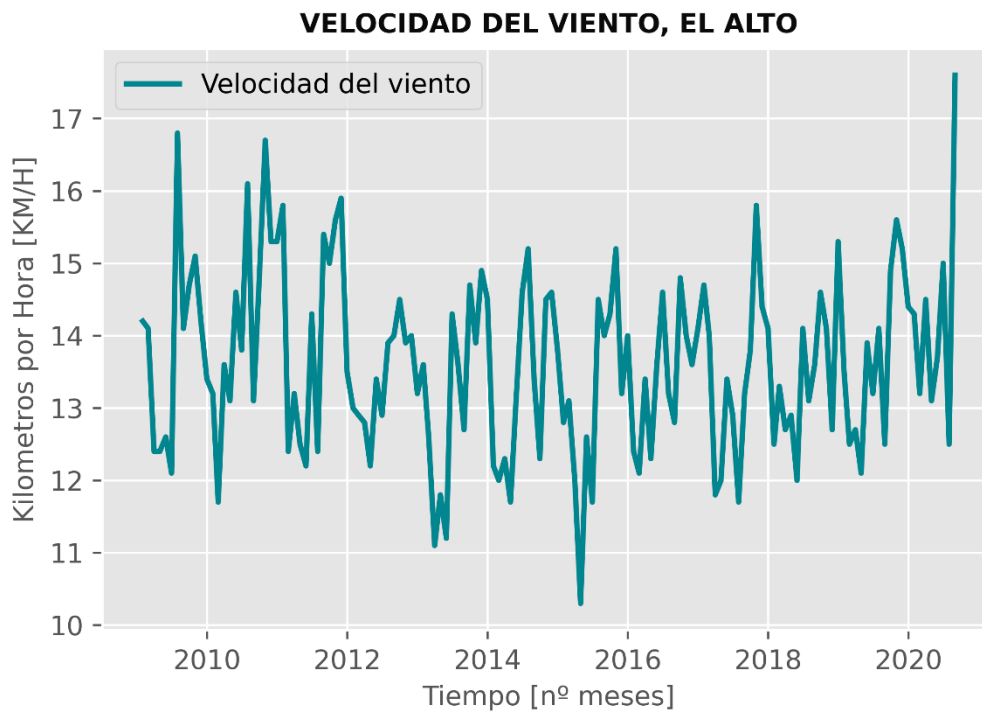
Fuente: Senamhi

Figura 3.31. Precipitación Total



Fuente: Senamhi

Figura 3.32. Velocidad del Viento



Fuente: Senamhi

3.7. EXPLORACIÓN DE LOS DATOS

Luego de la obtención de los datos de la calidad del aire y los datos meteorológicos de las gestiones 2009 a 2020, se procedió a hacer un resumen estadístico de cada columna.

```
import pandas as pd

dataframe = pd.read_csv('INFORMACION_RED_MONICA_2009-2021.csv', sep=';')#_____ DATOS
dataframe.describe()#_____ RESUMEN ESTADÍSTICO
```



```
Out[1]:
```

	NO2CL	O3CL	NO2VI	...	HUM	PRECIP	VIENTO
count	140.000000	129.000000	140.000000	...	139.000000	143.000000	140.000000
mean	13.487143	49.065891	12.262857	...	48.901439	50.469930	13.605714
std	5.089174	18.401607	8.922426	...	13.433108	49.897084	1.244890
min	1.500000	7.700000	0.000000	...	22.500000	0.000000	10.300000
25%	9.900000	38.100000	7.575000	...	38.550000	8.750000	12.675000
50%	13.000000	48.500000	10.400000	...	48.600000	29.100000	13.600000
75%	16.425000	59.700000	13.625000	...	61.100000	85.800000	14.500000
max	31.500000	146.100000	58.300000	...	76.200000	204.200000	17.600000

```
[ 8 rows x 22 columns]
```

La función de pandas informa sobre los datos estadísticos de un *dataframe*, donde se puede observar el número de valores observados, el valor promedio de cada columna, la desviación estándar, el valor mínimo, los percentiles y el valor máximo.

3.7.1. Correlación lineal de datos

La correlación lineal es un método estadístico que permite cuantificar la relación lineal existente entre dos variables para medir el tipo de asociación, algunos métodos empleados son Pearson, Spearman y Kendall.

Estos métodos son utilizados para cuantificar la asociación lineal entre dos variables numéricas, todos ellos comparten que:

- Su valor está comprendido en el rango [+1 , -1]. Siendo +1 una correlación positiva perfecta y -1 una correlación negativa perfecta.
- Se emplean como medida de la fuerza de asociación entre dos variables (tamaño del efecto):
 - 0: asociación nula.

- 0.1: asociación pequeña.
- 0.3: asociación mediana.
- 0.5: asociación moderada.
- 0.7: asociación alta.
- 0.9: asociación muy alta

Pandas nos permite calcular la correlación de dos series (columnas de un *dataFrame*. El cálculo se hace por pares, eliminando automáticamente aquellos con valores NA/null.

```
# Cálculo de correlación con Pandas
print(' CORRELACIONES DIÓXIDO DE NITROGENO VS TEMPERATURA ')
print('=====')
print('Correlación Pearson: ', dataframe['NO2_P'].corr(dataframe['TEMP'], method='pearson'))
print('Correlación spearman: ', dataframe['NO2_P'].corr(dataframe['TEMP'], method='spearman'))
print('Correlación kendall: ', dataframe['NO2_P'].corr(dataframe['TEMP'], method='kendall'))
print(' CORRELACIONES DIÓXIDO DE NITROGENO VS HUMEDAD ')
print('=====')
print('Correlación Pearson: ', dataframe['NO2_P'].corr(dataframe['HUM'], method='pearson'))
print('Correlación spearman: ', dataframe['NO2_P'].corr(dataframe['HUM'], method='spearman'))
print('Correlación kendall: ', dataframe['NO2_P'].corr(dataframe['HUM'], method='kendall'))
print(' CORRELACIONES DIÓXIDO DE NITROGENO VS VELOCIDAD DEL VIENDO ')
print('=====')
print('Correlación Pearson: ', dataframe['NO2_P'].corr(dataframe['VIENTO'], method='pearson'))
print('Correlación spearman: ', dataframe['NO2_P'].corr(dataframe['VIENTO'], method='spearman'))
print('Correlación kendall: ', dataframe['NO2_P'].corr(dataframe['VIENTO'], method='kendall'))
print(' CORRELACIONES DIÓXIDO DE NITROGENO VS PRECIPITACIONES ')
print('=====')
print('Correlación Pearson: ', dataframe['NO2_P'].corr(dataframe['PRECIP'], method='pearson'))
print('Correlación spearman: ', dataframe['NO2_P'].corr(dataframe['PRECIP'], method='spearman'))
print('Correlación kendall: ', dataframe['NO2_P'].corr(dataframe['PRECIP'], method='kendall'))
```

```

CORRELACIONES DIÓXIDO DE NITROGENO VS TEMPERATURA
=====
Correlación Pearson: -0.08885851341358035
Correlación spearman: -0.05591747666630882
Correlación kendall: -0.03749655089176911
CORRELACIONES DIÓXIDO DE NITROGENO VS HUMEDAD
=====
Correlación Pearson: -0.054311983536342805
Correlación spearman: -0.04344718009696713
Correlación kendall: -0.036022475501896495
CORRELACIONES DIÓXIDO DE NITROGENO VS VELOCIDAD DEL VIENDO
=====
Correlación Pearson: 0.32179462304047396
Correlación spearman: 0.31633848184651026
Correlación kendall: 0.21091476235627965
CORRELACIONES DIÓXIDO DE NITROGENO VS PRECIPITACIONES
=====
Correlación Pearson: -0.08081756699175661
Correlación spearman: -0.08703758307512001
Correlación kendall: -0.06147301541113805

```

```

CORRELACIONES OZONO TROPÓSFERICO VS TEMPERATURA
=====
Correlación Pearson: 0.06336594031027507
Correlación spearman: 0.0994271205650592
Correlación kendall: 0.06594611818294534
CORRELACIONES OZONO TROPÓSFERICO VS HUMEDAD
=====
Correlación Pearson: -0.07774961584853826
Correlación spearman: -0.09809877596026624
Correlación kendall: -0.06577720586666219
CORRELACIONES OZONO TROPÓSFERICO VS VELOCIDAD DEL VIENDO
=====
Correlación Pearson: 0.31375955637639896
Correlación spearman: 0.33636768491827107
Correlación kendall: 0.22833456910996924
CORRELACIONES OZONO TROPÓSFERICO VS PRECIPITACIONES
=====
Correlación Pearson: -0.08992802332673189
Correlación spearman: -0.06480871172234015
Correlación kendall: -0.04420240402194709

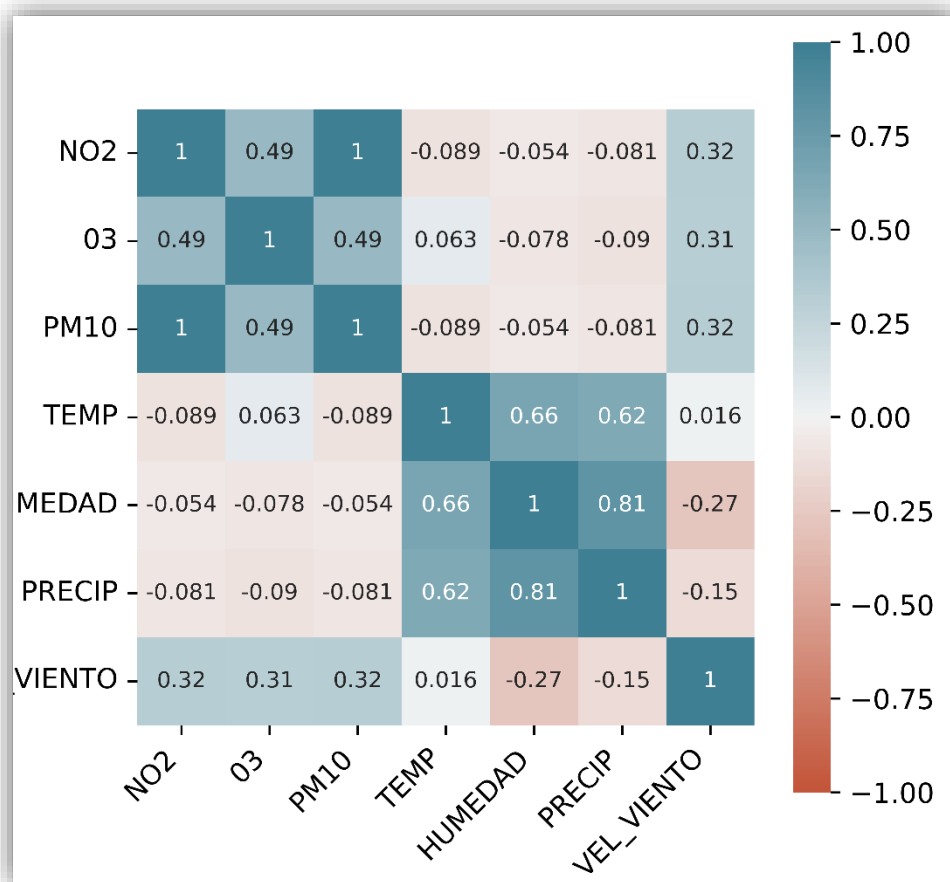
```

```

CORRELACIONES MATERIAL PARTICULADO PM10 VS TEMPERATURA
=====
Correlación Pearson: -0.26450224155410423
Correlación spearman: -0.32312560229471937
Correlación kendall: -0.22749642979541523
CORRELACIONES MATERIAL PARTICULADO PM10 VS HUMEDAD
=====
Correlación Pearson: -0.18874343411747238
Correlación spearman: -0.23896842941083216
Correlación kendall: -0.17362178206507012
CORRELACIONES MATERIAL PARTICULADO PM10 VS VELOCIDAD DEL VIENDO
=====
Correlación Pearson: 0.06976809251965828
Correlación spearman: 0.04407943929439331
Correlación kendall: 0.031012575644070364
CORRELACIONES MATERIAL PARTICULADO PM10 VS PRECIPITACIONES
=====
Correlación Pearson: -0.1533427172374895
Correlación spearman: -0.2805946940827776
Correlación kendall: -0.21302796167665236

```

Figura 3.33. Diagrama de coeficiente de relación de Pearson



Fuente: Elaboración propia

3.8. CALIDAD DE LOS DATOS

Algunas veces los datos registrados pueden ser erróneos o faltantes debido a diversos factores como fallas en sensores, actividades de mantenimiento u otros eventos, al explorar los datos se observa lo siguiente:

- Los datos de las mediciones de la calidad del aire presentan valores atípicos, estos valores están marcados como valores válidos y pueden obtenerse a episodios de alta contaminación por lo que no se prescindirá de ellos.
- Los datos de aire y climatología contienen datos vacíos, por lo que será necesario imputar un valor a estos datos calculando la media o la mediana del resto de los valores.

3.9. DESARROLLO DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES

3.9.1. Desarrollo de la RNA

3.9.1.1. Elección del modelo

Según la cantidad y tipo de datos que se tiene y de acuerdo a la complejidad se selecciona un modelo de aprendizaje supervisado (off line) con redes neuronales recurrentes (RNN) de tipo LSTM, que es el modelo que mejor se adecúa a la predicción de series temporales que se plantea en el presente trabajo.

3.9.1.2. Selección de la herramienta

Por sus características se selecciona como herramienta Python con la librería *Tensorflow* para el desarrollo de la red neuronal.

3.9.2. Construcción de la RNA

3.9.2.1. Preparación de datos

Los datos de entrada los pasos temporales en meses que representan el tipo de contaminante atmosférico en la ciudad de El Alto.

VARIABLES DE ENTRADA:

NO₂ (t), NO₂ (t - 1), NO₂ (t - 2), NO₂ (t - 3), ..., NO₂ (t - n)

PM₁₀ (t), PM₁₀ (t - 1), PM₁₀ (t - 2), PM₁₀ (t - 3), ..., PM₁₀ (t - n)

O3 (t), O3 (t - 1), O3 (t - 2), O3 (t - 3), ..., O3 (t - n)


Cada variable de entrada es un entero que representa el grado de contaminación en El Alto según el tipo de contaminante.

VARIABLES DE SALIDA: Y

Es una sola variable de salida, que es un dígito que representa la predicción con relación a los pasos temporales.

Datos de entrada y salida, (deseados y computados). Su preparación constituye el uno de los puntos clave del proceso de entrenamiento. A veces, es necesario escalar o normalizar los valores de estos datos para adecuarlos a las funciones seleccionadas para las neuronas, por lo cual se hace una normalización de los datos en un rango de 0 a 1, pero antes de eso se procede a organizar el set de datos obtenidos del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto (GAMEA), del área de Saneamiento básico Recursos Hídricos y Control Ambiental de la red de Monitoreo de la Calidad del Aire (RED MONICA).

Figura 3.34. Datos registrados RED MONICA



GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO

VA	19,2	13,9	18,4	23,1	19,7	23,1	20,6	22,7	24,0	30,0	28,6	16,4	21,7
VI	15,4	11,1	12,3	13,3	9,0	11,2	14,3	16,3	18,5	30,6	7,1	14,8	14,5
CL	12,4	8,3	11,3	13,9	11,4	17,3	16,4	19,6	17,4	19,3	8,0	14,6	14,2

b) Ozono troposférico – O₃

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
SP	38,2	19,4	15,3	14,8	18,9	21,1	16,9	33,8	23,9	32,4	39,9	23,9	24,9
UN	41,4	23,2	14,6	13,8	23,3	22,4	15,4	31,3	26,0	27,2	42,3	22,8	25,3
EX	42,4	26,0	15,9	21,1	26,6	27,2	28,4	40,8	23,7	33,1	46,4	25,8	29,8
P-16	51,6	27,4	20,1	17,8	22,7	21,4	28,0	40,1	31,0	39,0	38,8	23,7	30,2
PM	55,1	36,8	26,1	27,7	30,0	27,8	31,4	46,6	34,8	47,8	50,3	27,3	36,9
C-78	50,6	29,7	24,3	20,5	26,5	23,0	25,2	49,8	38,8	41,1	37,8	28,9	33,1
VA	52,1	36,0	23,6	33,4	33,5	29,9	34,3	53,8	39,3	37,1	51,9	39,6	38,7
VI	69,7	47,0	40,1	44,5	47,8	45,5	48,7	73,6	58,9	65,3	72,4	44,9	55,0
CL	67,3	51,7	41,0	43,6	49,3	49,3	46,4	68,2	60,5	64,5	74,5	41,0	54,8

c) Material particulado – PM₁₀

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual
----------	-------	---------	-------	-------	------	-------	-------	--------	------	------	------	------	----------------

Fuente: Gobierno Autónomo Municipal de El Alto

Posteriormente procede a estructurar el set de datos que alimentará a la red neuronal en formato CSV de Excel, separando ordenando los datos por estación de monitoreo expresado en meses.

Figura 3.35. Set de datos estructurados

date	NO2CL	O3CL	NO2VI	O3VI	NO2VA	O3VA	NO2PM	O3PM	NO2P16	O3P16	NO2EX	O3
31/01/2009	10.5	49.3	13.4	47.3	15.3	44.2	16.4	41.7	37.3	32.5	34.8	29.
28/02/2009	9.9	33.3	12.3	29.2	16.3	18.5	17.0	13.3	29.6	14.4	40.3	9.5
31/03/2009	9.9	42.5	13.4	41.5	17.6	32.8	16.6	33.7	28.2	22.5	40.6	15.
30/04/2009	13.5	40.4	11.6	38.4	16.1	32.9	16.7	37.4	26.2	23.0	37.4	21.
31/05/2009	12.4	45.4	11.0	43.7	17.7	26.6	21.3	28.0	30.0	20.2	33.8	21.
30/06/2009	9.6	50.0	8.2	45.2	12.4	24.8	21.3	25.9	26.5	20.8	26.7	17.
31/07/2009	14.2	56.0	12.1	59.5	23.2	32.0	30.7	35.1	38.6	24.7	40.1	26.
31/08/2009	14.1	59.7	11.9	61.8	23.7	45.1	29.7	42.4	34.6	33.4	40.0	36.
30/09/2009	12.2	58.1	11.1	59.1	22.0	43.2	21.3	40.8	37.6	31.3	43.6	31.
31/10/2009	10.8	57.7	11.2	61.0	17.7	44.8	21.5	45.7	33.4	32.3	44.4	31.
30/11/2009	16.3	64.9	16.1	72.4	23.2	57.6	34.8	53.9	35.5	44.8	58.8	40.
31/12/2009	12.7	52.1	13.7	50.9	19.3	42.2	19.8	27.1	26.7	24.7	44.8	28.
31/01/2010	17.9	49.3	19.2	45.5	22.4	33.2	27.0	27.7	42.7	27.0	50.3	22.
28/02/2010	13.1	33.2	13.7	31.6	18.0	25.7	18.5	20.7	28.3	18.0	36.0	17.
31/03/2010	14.4	52.7	15.6	52.2	21.6	27.4	25.3	29.5	33.1	23.8	41.6	22.
30/04/2010	12.8	49.5	12.4	52.4	14.6	39.7	19.8	38.5	28.2	31.4	38.4	29.
31/05/2010	21.1	38.1	17.8	42.1	24.1	26.4	26.3	27.8	35.2	22.5	39.5	21.
30/06/2010	25.1	51.7	16.3	53.9	31.2	30.6	36.1	30.0	45.3	24.8	47.5	22.

Fuente: Elaboración propia

Haciendo uso de la librería Pandas se hace la lectura del set de datos en formato CSV, posteriormente se elimina los valores nulos y caracteres especiales para no tener inconvenientes durante el entrenamiento.

Código preparación de datos

```
import pandas as pd
import numpy as np
#
# CARGANDO DATOS
dataframe = pd.read_csv('INFORMACION_RED_MONICA_2009-2021.csv', sep=';')
dataframe = dataframe[["PM10AQ"]]
#
# ELIMINANDO VALORES NULOS
dataframe = dataframe[dataframe.PM10AQ != 0]
dataframe = dataframe.dropna()
dataset = dataframe.iloc[:, :].values # Matriz numpy
#
# NORMALIZACION
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
dataset = scaler.fit_transform(dataset)
```

3.9.2.2. Construcción de los conjuntos de prueba y entrenamiento

Este punto se refiere a procesos de aprendizaje con un algoritmo supervisado, ya que en los otros no existen estas fases, de entrenamiento y ejecución.

El conjunto de entrenamiento va desde el 70-90% de los datos disponibles, dejando los restantes para el conjunto de prueba. Cuanto menor sea el porcentaje utilizado en el conjunto de entrenamiento, mayores serán las dificultades del entrenamiento, pero, por el contrario, será mejor el posterior proceso de verificación.

Código división entrenamiento y prueba

```
#
# DIVIDIENDO DATOS EN ENTRENAMIENTO Y TEST
train_size = int(len(dataset) * 0.7)
test_size = len(dataset) - train_size
train = dataset[0:train_size, :]
test = dataset[train_size-pasos_t:len(dataset), :]
```

3.9.2.3. Arquitectura de la red neuronal

A) Topología

La red neuronal tiene:

- Capa de entrada tiene 150 neuronas.
- Capa de salida, con una neurona, que devuelve la salida.

- Una o dos capas ocultas, cuyo número de neuronas se determina por ensayo y error durante el aprendizaje.

No existe ningún método para calcular el número ideal de neuronas para esta capa, lo más común es hacer la prueba y error, donde se van incrementando o disminuyendo las neuronas hasta llegar al mejor resultado.

Código creación del modelo

```
#
# ARMANDO EL MODELO
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense
from keras.layers import LSTM # para agregar la capa que hace lstm
from keras.layers import Dropout # para hacer regularizacion de desercion para evitar overfity
model = Sequential()
# Primera capa LSTM y Regularizacion de Dropout
model.add(LSTM(units=50, return_sequences=True, input_shape=(trainX.shape[1], 1)))
model.add(Dropout(0.2))
# Segunda capa LSTM y Regularizacion de Dropout
#model.add(LSTM(units = 50, return_sequences = True))
# model.add(Dropout(0.2))
# Tercera capa LSTM y Regularizacion de Dropout
model.add(LSTM(units=50, return_sequences=True))
model.add(Dropout(0.2))
# Cuarta capa LSTM y Regularizacion de Dropout
# ---no tiene return_sequences por no vamos a pasar a otra capa
model.add(LSTM(units=50))
model.add(Dropout(0.2))
# Capa Output / Salida
model.add(Dense(units=1))
# Compilando RNR
model.compile(optimizer='adam', loss='mean_squared_error')
```

B) Elementos de proceso

- Tipo de información de entrada y salida:

Las entradas serán los pasos temporales que representan los datos en meses.

La salida será un entero, que representa el valor del mes siguiente.

- Función de transferencia en cada capa

- La primera capa LSTM y regularización de Dropout con retorno de secuencia en verdadero para pasar a otras capas.

- Capa de salida Dense con una neurona.
- Una o dos capas LSTM, con neuronas en función de ensayo y error

3.9.2.4. Entrenamiento de la Red

Para el entrenamiento de la red se considera lo siguiente:

Se utiliza el algoritmo de aprendizaje Backpropagation

Se selecciona el 70% de los datos para el entrenamiento.

Se realiza el entrenamiento utilizando la función *fit* de *Sklearn* con un optimizador *Adam* y una función de pérdida *mean_squared_error* con un numero de épocas de 400 a 1000.

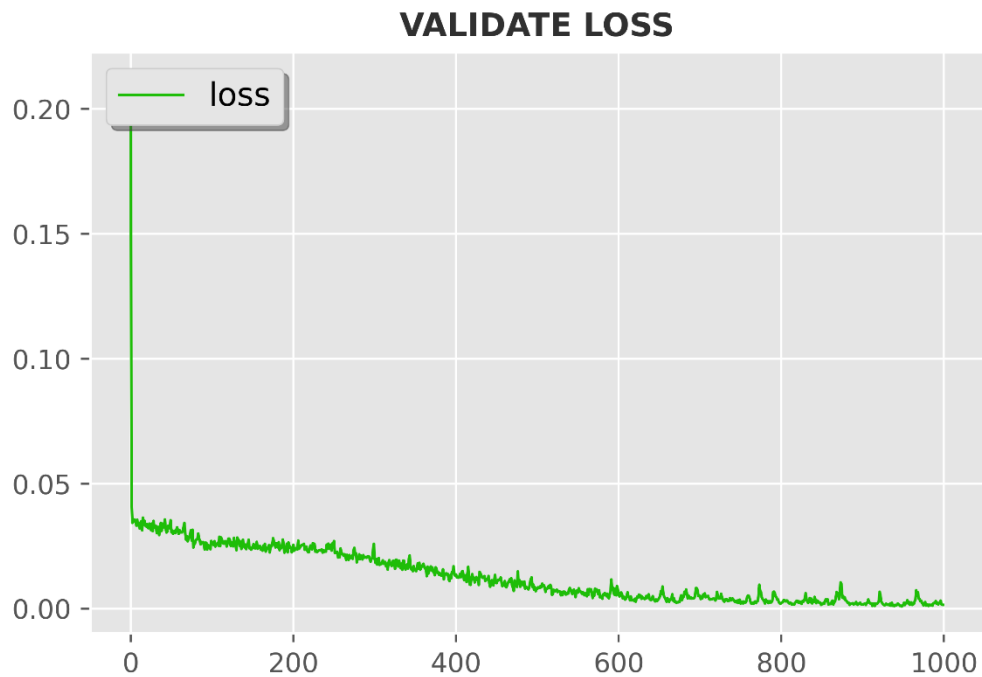
Código entrenamiento de la red

```
#  
# ENTRENANDO MODELO  
history = model.fit(trainX, trainY, epochs=EPOCHS, batch_size=5)
```

```
Epoch 394/400  
17/17 [=====] - 0s 17ms/step - loss: 0.0055  
Epoch 395/400  
17/17 [=====] - 0s 17ms/step - loss: 0.0044  
Epoch 396/400  
17/17 [=====] - 0s 21ms/step - loss: 0.0052  
Epoch 397/400  
17/17 [=====] - 0s 20ms/step - loss: 0.0057  
Epoch 398/400  
17/17 [=====] - 0s 20ms/step - loss: 0.0055  
Epoch 399/400  
17/17 [=====] - 0s 21ms/step - loss: 0.0046  
Epoch 400/400  
17/17 [=====] - 0s 19ms/step - loss: 0.0050
```

En la siguiente grafica se puede visualizar el proceso de entrenamiento de la red:

Figura 3.36. *Proceso de perdida durante el entrenamiento*



Fuente: Elaboración propia

3.9.2.5. Prueba o test de red

Se pasa de modo de entrenamiento a modo de ejecución, selecciona el 30% de los datos para el test.

Primero con el conjunto de entrenamiento (completo o sólo con parte) y después con el conjunto de prueba, como se figuran en las siguientes gráficas.

Figura 3.37. Predicción datos de prueba

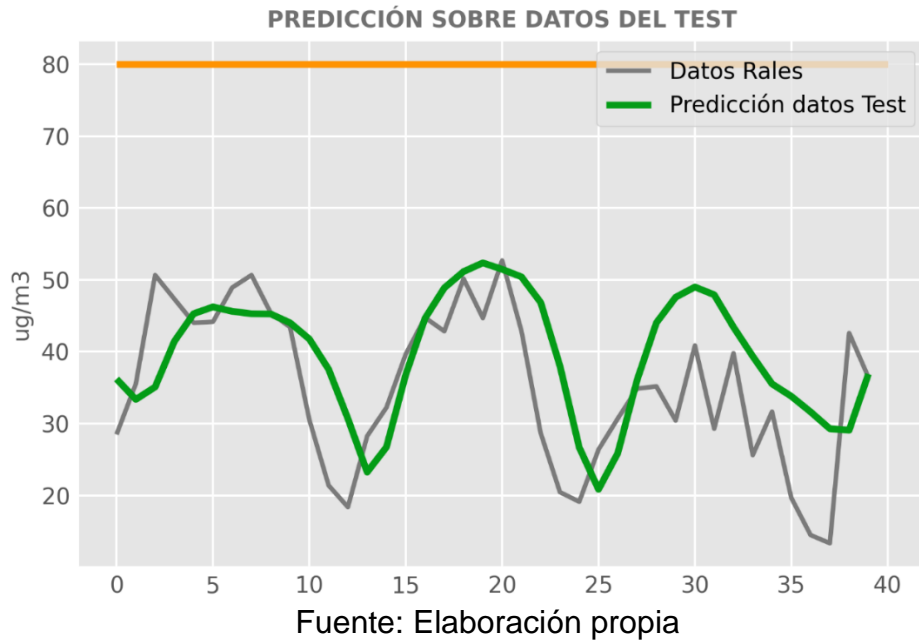
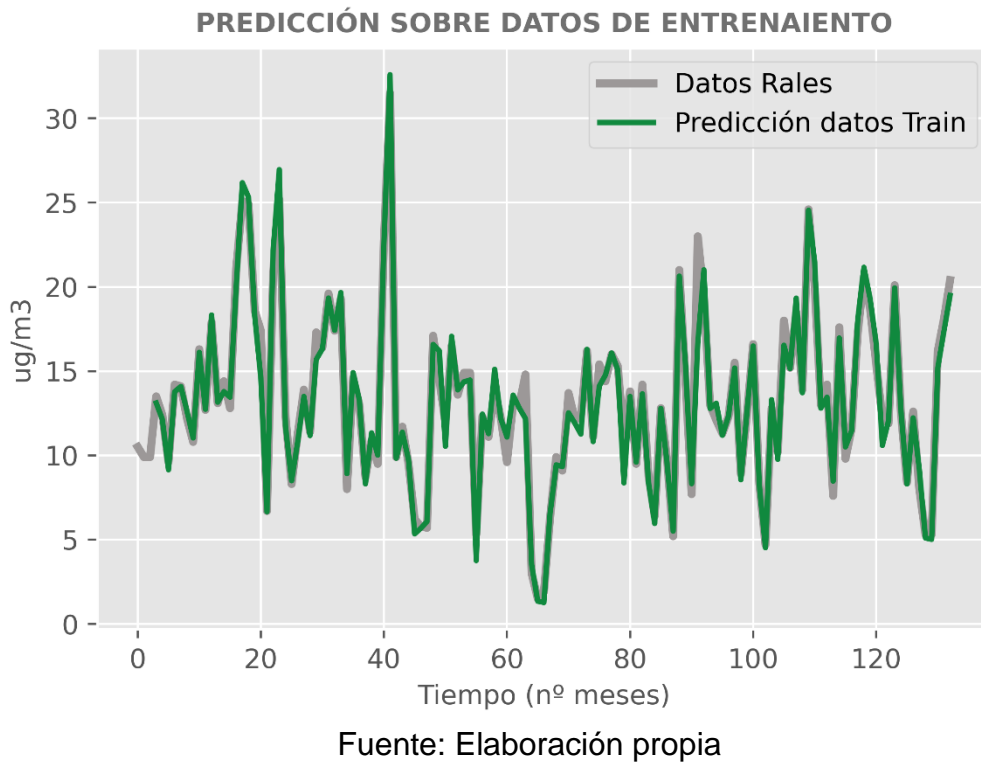


Figura 3.38. Predicción datos de entrenamiento



3.9.2.6. Análisis de resultados

En el entrenamiento de la red neuronal, se realizaron pruebas con diferentes topologías, que se resumen en el cuadro siguiente:

Tabla 3.30. *Resultado de los mejores modelos NO2*

Timestep	Batch size	Nº neuronas	Epochs	RMSE TRAIN	RMSE TEST
5	10	150	2000	0.27	5.80
4	11	130	1000	0.55	4.16
3	13	80	1000	1.81	7.07
12	20	80	500	3.54	12.38
3	9	200	2000	0.24	5.82
6	10	120	1500	0.30	7.01
3	10	150	1000	0.82	6.52

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.31. *Resultado de los mejores modelos O3*

Timestep	Batch size	Nº neuronas	Epochs	RMSE TRAIN	RMSE TEST
5	10	150	2000	0.57	10.78
3	10	150	800	3.25	6.31
4	30	200	1000	2.20	8.72
3	30	200	1000	5.26	5.28
3	20	250	800	4.84	7.17
3	10	150	1500	7.30	9.85
3	10	150	800	2.96	15.37

Fuente: Elaboración propia

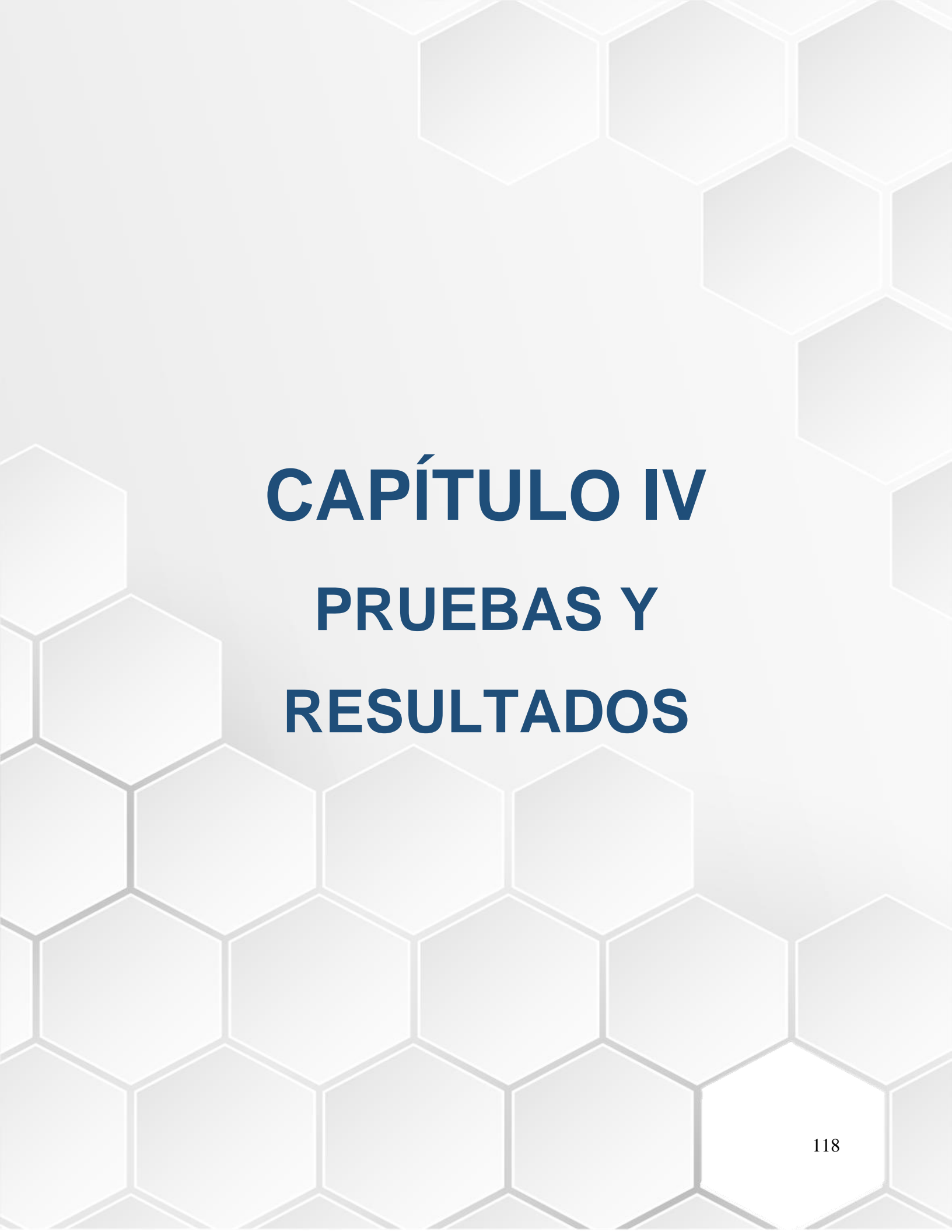
Tabla 3.32. *Resultado de los mejores modelos PM10*

Timestep	Batch size	Nº neuronas	Epochs	RMSE TRAIN	RMSE TEST
4	10	30	2100	2.72	11.78
3	10	50	800	13.49	9.73
6	50	200	900	6.88	7.43
3	50	200	1000	10.88	10.26
3	50	250	1500	4.66	6.36
10	60	250	1200	1.20	10.97
12	60	150	1200	1.38	8.18

Fuente: Elaboración propia

3.9.3. Transferencia Tecnológica

```
import math
from sklearn.metrics import mean_squared_error
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import numpy as np
dataframe = pd.read_csv('INFORMACION_RED_MONICA_2009-2021.csv', sep=',')
dataframe = dataframe[["NO2CL", "NO2VI", "NO2VA", "NO2PM", "NO2P16", "NO2EX", "NO2SP"]]
dataframeT = dataframe.transpose() # transponiendo filas y columnas
Promedio = dataframeT.mean() # sacando el promedio
dataframeP = pd.DataFrame(Promedio) # de Series a DataFrame
dataframeP = dataframeP.dropna() # Eliminando valores nulos
dataframeP = dataframeP.reset_index(drop=True) # restableciendo indices
dataset = dataframeP.iloc[:, :].values # Matriz numpy
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler # NORMALIZACION
scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
dataset = scaler.fit_transform(dataset)
pasos_t = 3 # PASOS TEMPORALES, EPOCAS, NRO DE PREDICCIONES
Npred = 12
EPOCHS = 2000
train_size = int(len(dataset) * 0.9) # DIVIDIENDO DATOS EN ENTRENAMIENTO Y TEST
train = dataset[0:train_size, :]
test = dataset[train_size-pasos_t:len(dataset), :]
x_train = [] # PREPARANDO DATOS TRAIN, INPUTS Y OUTPUTS
y_train = []
for i in range(pasos_t, len(train)):
    x_train.append(train[i-pasos_t:i, 0])
    y_train.append(train[i, 0])
trainX = np.array(x_train)
trainY = np.array(y_train)
x_test = [] # PREPARANDO DATOS TEST, INPUTS Y OUTPUTS
y_test = []
for i in range(pasos_t, len(test)):
    x_test.append(test[i-pasos_t:i, 0])
    y_test.append(test[i, 0])
testX = np.array(x_test)
testY = np.array(y_test)
trainX = np.reshape(trainX, (trainX.shape[0], trainX.shape[1], 1))
testX = np.reshape(testX, (testX.shape[0], testX.shape[1], 1))
#
# ARMANDO EL MODELO
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense
from keras.layers import LSTM # para agregar la capa que hace lstm
from keras.layers import Dropout # para hacer regularizacion de desercion para evitar overfity
model = Sequential()
model.add(LSTM(units=200, return_sequences=True, input_shape=(trainX.shape[1], 1))) # 1RA CAPA LSTM
model.add(Dropout(0.15)) # REGULARIZACION DE DROPOUT
model.add(LSTM(units = 200, return_sequences = True)) # 2DA CAPA LSTM
model.add(Dropout(0.15)) # REGULARIZACION DE DROPOUT
model.add(LSTM(units = 200, return_sequences = True)) # 3RA CAPA LSTM
model.add(Dropout(0.15)) # REGULARIZACION DE DROPOUT
model.add(LSTM(units = 200, return_sequences = True)) # 4TA CAPA LSTM
model.add(Dropout(0.15)) # REGULARIZACION DE DROPOUT
model.add(LSTM(units=200)) # 5TA CAPA LSTM SIN return_sequences
model.add(Dropout(0.15)) # REGULARIZACION DE DROPOUT
model.add(Dense(units=1)) # CAPA OUTPUT / SALIDA
model.compile(optimizer='adam', loss='mse') # Compilando RNR
history = model.fit(trainX, trainY, epochs=EPOCHS, batch_size=9) # ENTRENANDO EL MODELO
trainPredict = model.predict(trainX) # PREDICCIONES TRAIN
testPredict = model.predict(testX) # PREDICCIONES TEST
trainPredict = scaler.inverse_transform(trainPredict) # CALCULO DEL RAIZ DEL ERROR MEDIO CUADRATICO
trainY = scaler.inverse_transform([trainY]) # VALORES REALES
testPredict = scaler.inverse_transform(testPredict)
testY = scaler.inverse_transform([testY]) # VALORES REALES
trainScore = math.sqrt(mean_squared_error(trainY[0], trainPredict[:, 0]))
print('Resultado del entrenamiento: %.2f RMSE' % (trainScore))
testScore = math.sqrt(mean_squared_error(testY[0], testPredict[:, 0]))
print('Resultado del test: %.2f RMSE' % (testScore))
```



CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y

RESULTADOS

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. MÉTRICAS DE CALIDAD

La métrica ISO/IEC 9126 de calidad al software, establece una clasificación de la calidad en un conjunto estructurado que permiten conocer el nivel de calidad del software.

4.1.1. Funcionalidad

Son aquellas que satisfacen necesidades explícitas o implícitas. Se muestra la ponderación de las características funcionales.

Tabla 4.2. *Ponderación de Funcionalidad*

CARACTERÍSTICA	PONDERACIÓN
PROMEDIO	91.25 %
Adecuación	90 %
Exactitud	90 %
Conformidad	95 %
Cumplimiento Funcional	90 %

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, el prototipo tiene una funcionalidad de 91.25%

4.1.2. Confiabilidad

Los atributos relacionados con la capacidad del software dado para mantener su usabilidad bajo las condiciones establecidas en un tiempo establecido.

$$confiabilidad = 1 - \left(\frac{5}{1200} \right) \times 100$$

$$confiabilidad = 99\%$$

El sistema tiene una confiabilidad del 99%

4.1.3. Usabilidad

Los atributos y su conjunto están relacionados con el esfuerzo necesario para su uso, y en la valoración individual de tal uso.

Tabla 4.3. *Ponderación de métricas internas usabilidad*

CARACTERÍSTICA	MÉTRICA INTERNA	PUNTAJE
Interfaz de usuario amigable	I1: Interfaz de datos amigable	90
	I2: Interfaz de gráficos amigable	90
Comprensión	C1: Comprensión de datos	80
	C2: Comprensión de gráficos	90
Operatividad	O1: Correcta operacionalidad de la interfaz	92
	O2: Correcta operacionalidad de visualización de datos	90
	O3: Correcta operacionalidad de los gráficos	95
Atractividad	A1: Atractividad de la interfaz	95
	A2: Atractividad de los gráficos	80
	A3: Atractividad de la visualización de los datos	87

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4. *Totales de métricas internas de usabilidad*

MÉTRICA	PUNTAJE PROMEDIO
Interfaz de usuario amigable (I)	90
Comprensión (C)	85
Operatividad (O)	92.33
Atractividad (A)	87.33

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos en la tabla 4.3 se aplica la fórmula:

$$usabilidad = \sum \frac{x_i}{n}$$

$$usabilidad = \frac{354.66}{4}$$

$$usabilidad = 88.665 \%$$

4.1.4. Eficiencia

Para poder obtener el cálculo de la eficiencia del sistema se consideró ponderar las características esenciales que el sistema desempeña.

Tabla 4.5. *Evaluación de desempeño*

CARACTERÍSTICA DE DESEMPEÑO	PONDERACIÓN
TOTAL	22
Rapidez de inicio	5
Rapidez de proceso	4
Proceso rápido de búsqueda	4
Fluidez	5
Disponibilidad	4

Fuente: Elaboración propia

En base a los datos de la anterior tabla se podría llegar a tener una idea de la eficiencia, para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$eficiencia = \frac{\sum xi}{n} \times \frac{100}{n}$$

$$eficiencia = \frac{22}{5} \times \frac{100}{5}$$

$$eficiencia = 88\%$$

4.1.5. Mantenibilidad

Son el conjunto de atributos de los cuales nos da la opción de corregir, aumentar o modificar los errores del software, este resultado se obtiene de la siguiente formula:

$$\textit{mantenibilidad} = \frac{(\mathbf{Mt} - (\mathbf{Fc} + \mathbf{Fa} + \mathbf{Fd}))}{\mathbf{Mt}}$$

Donde:

Mt = número de módulos en la versión actual.

Fc = número de módulos en la versión actual que han cambiado.

Fa = número de módulos en la versión actual añadido.

Fd = Número de módulos en la versión anterior que se ha borrado

Entonces:

$$Mt = 4; Fc = 0; Fa = 0; Fd = 0$$

$$\textit{mantenibilidad} = \frac{(4 - (0 + 0 + 0))}{4}$$

$$\textit{mantenibilidad} = 1$$

$$\textit{mantenibilidad} = 100\%$$

4.1.6. Portabilidad

Es la capacidad que tiene el software para ser trasladado de un entorno a otro, se lo calcula mediante la siguiente formula:

$$\textit{portabilidad} = 1 - \frac{\mathbf{ndpm}}{\mathbf{ndim}}$$

Donde:

ndpm = número de días para portar el modelo.

Días. ndim = número de días para implementar el modelo

$$portabilidad = 1 - \frac{1}{5}$$

$$portabilidad = 0.8 * 100$$

$$portabilidad = 80\%$$

4.1.7. Resultados

Calculando cada uno de los factores según la norma ISO 9126, estos resultados sirven para evaluar la calidad global.

Tabla 4.6. *Análisis global de calidad*

NRO	CARACTERÍSTICA	RESULTADO
EVALUACIÓN GLOBAL DE CALIDAD		91.14 %
1	Funcionalidad	91.25%
2	Confiabilidad	99 %
3	Usabilidad	88.66 %
4	Eficiencia	88 %
5	Mantenibilidad	100 %
6	Portabilidad	80 %

Fuente: Elaboración propia

Pressman menciona que el resultado de la evaluación de una métrica o modelo supera el 65% es aceptado, el 91.14 % encontrado es aceptable para el modelo.

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para la demostración de la Hipótesis debemos obtener los resultados de las predicciones deseadas y compararlas con los conjuntos de validación con alguno de los parámetros de comparación de errores. Para probar la hipótesis se utilizará la herramienta estadística denominada Raíz del error medio cuadrático.

Raíz del error medio cuadrático

Raíz del Error Cuadrático (RMSE- *Root Mean Square Error*, por sus siglas en ingles), que proporciona una idea global de la diferencia entre los valores predichos y los reales, en otras palabras, mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos

de datos, RMSE amplifica y penaliza con mayor fuerza aquellos errores de mayor magnitud, siempre es positivo y un valor de 0 (casi nunca alcanzado en la práctica) indicaría un ajuste perfecto. En general, un valor RMSE mas pequeño indica una mejor precisión que un valor alto, RMSE también es sensible a valores atípicos o anomalías.

Formula:

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde

RMSE : Raíz del error cuadrático medio

Y : Serie temporal de observaciones reales

\hat{Y} : Serie temporal estimada

n : Numero de datos

Hipótesis H₀

“Es posible obtener datos para que se puedan caracterizar los niveles de contaminación en la Ciudad de El Alto y que a partir de estos datos se puede crear un Modelo de Simulación de la contaminación del Aire, con un nivel de confianza de 95%, que permitirá anticiparse a los escenarios de elevada contaminación.”

A partir de este planteamiento se debe contrastar la hipótesis planteada de modo que pueda verificarse su cumplimiento o nulidad.

De la Hipótesis se tiene que se ha podido determinar la obtención de los datos desde la estación de Red de Monitoreo de la Calidad del Aire, del gobierno autónomo municipal de El Alto de la Dirección de Gestión y Control Ambiental, para el conjunto de datos de entrada y salida por un periodo de 9 años (2009 - 2020).

Mediante la librería Pandas de procesamiento matemático, los conjuntos de datos fueron divididos en datos de entrenamiento y prueba.

Se diseñaron y desarrollaron diferentes modelos de redes neuronales artificiales de tipo LSTM mediante la utilización de los siguientes parámetros de

entrada: El tipo de contaminante atmosférico (valores numéricos ordenados secuencialmente) y un solo parámetro de salida: el contaminante atmosférico pronosticado.

Se diseñaron grupos de experimentos uno por cada contaminante atmosférico para determinar obtener parámetros óptimos del modelo.

Para determinar el nivel de confianza del modelo, hacen las pruebas al modelo, con datos que el modelo nunca vio durante su entrenamiento, el método para determinar el nivel de confianza se utiliza herramienta estadística denominada Raíz del error medio cuadrático, Python dentro de sus herramientas tiene la función *math.sqrt()* para calcular la Raíz, también tiene la función *mean_squared_error()* que permite calcular el error medio cuadrático de dos conjuntos de datos.

Las tablas y figuras siguientes nos muestran los resultados de las comparaciones de datos reales y los datos generados por el modelo.

Tabla 4.7. *Comparación de datos generados por el modelo*

VALORES REALES	VALORES PRONÓSTICADOS
20.2429	20.3339
21.9857	22.2042
26.2571	24.6768
22.8	22.8256
28.1714	28.2198
25.5	25.636
22.5	22.8784
20.1286	21.682
14.2	20.9193
7.15714	23.9983
7.15714	19.4269
16.9	18.867

Fuente: Elaboración propia

Código aplicación RMSE en Python

```
#
#          CALCULO DEL RAIZ DEL ERROR MEDIO CUADRATICO
# invertimos las predicciones
trainPredict = scaler.inverse_transform(trainPredict)
# invertimos los valores de salida del entrenamiento para comparar con la
prediccion
trainY = scaler.inverse_transform([trainY]) # VALORES REALES
testPredict = scaler.inverse_transform(testPredict)
# invertimos los valores de salida de la prueba del modelo para comparar con la
prediccion
testY = scaler.inverse_transform([testY]) # VALORES REALES
# calculamos el error rms
trainScore = math.sqrt(mean_squared_error(trainY[0], trainPredict[:, 0]))
print('Resultado del entrenamiento: %.2f RMSE' % (trainScore))
testScore = math.sqrt(mean_squared_error(testY[0], testPredict[:, 0]))
print('Resultado del test: %.2f RMSE' % (testScore))
```

Tabla 3.33. Resultados del cálculo de error del modelo

MODELO RED NEURONAL RECURRENTE LSTM	Cálculo del error del modelo (RMSE)	Confianza del modelo
Ozono Troposférico O3	3.27	96.73%
Dióxido de Nitrógeno NO2	5.15	94.85%
Material Particulado PM10	6.56	93.44 %
PROMEDIO		95.066 %

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la Hipótesis H_0

Se puede afirmar con respecto a la Hipótesis H_0 , expresada como:

“Es posible obtener datos para que se puedan caracterizar los niveles de contaminación en la Ciudad de El Alto y que a partir de estos datos se puede crear un Modelo de Simulación de la contaminación del Aire, con un nivel de confianza de 95%, que permitirá anticiparse a los escenarios de elevada contaminación.”

Se verifica el cumplimiento de la hipótesis H_0 , por lo cual se puede afirmar que es posible obtener datos y que a partir de estos se puede crear un modelo de proyección mediante la técnica de inteligencia artificial denominada redes neuronales artificiales para predecir valores futuros de la contaminación del aire para la ciudad de El Alto con un nivel de confianza de 95%.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Los niveles de concentración de la contaminación registrados en la Ciudad de El Alto se encuentran por debajo de los límites establecidos por la organización mundial de la salud.

Se Observa que el incremento de la contaminación que esté ligado con el aumento de la velocidad del viento y la temperatura.

Por el trabajo realizado en la presente tesis podemos concluir que los modelos propuestos permiten la predicción de la contaminación atmosférica en la Ciudad de El Alto.

Los modelos de predicción de los contaminantes ambientales deben ser ajustados de acuerdo a las características meteorológicas y topográficas de la ciudad en estudio, además de adecuar los modelos a las limitaciones de información que se tengan. El uso de las Redes Neuronales Artificiales (RNA) de tipo LSTM, resulta más adecuada para nuestro caso de estudio, debido a las limitaciones de información y variables medidas.

Se realizó la validación de la red neuronal diseñada, con la finalidad de ver la capacidad de generar predicciones obteniendo resultados aceptables.

5.2. RECOMENDACIONES

Es recomendable tener gran cantidad de set de datos para el entrenamiento de la Red Neuronal para que de esta manera las predicciones sean más exactas, además se recomienda usar más variables que influyen en la contaminación como la velocidad del viento, estaciones, horarios laborales, etc.

Es necesario tomar en cuenta las variables externas que afectan el comportamiento de los contaminantes dependiendo de la zona de estudio ya que puede influir en este comportamiento. No existe un criterio para establecer que variables deben ser usadas en la predicción de los contaminantes atmosféricos.

Seguir realizando estudios de PM10 en todos los puntos de monitoreo, para poder evaluar las posibles implicancias en la salud de las personas, sobre todo a la población más vulnerable.

Fomentar información a las personas de la ciudad del El Alto con la finalidad que conozcan los objetivos de la estación de monitoreo de la calidad del aire.

Implementar una estación meteorológica automática, la cual permitirá trabajar con datos de la zona en futuros estudios.

6. REFERENCIAS

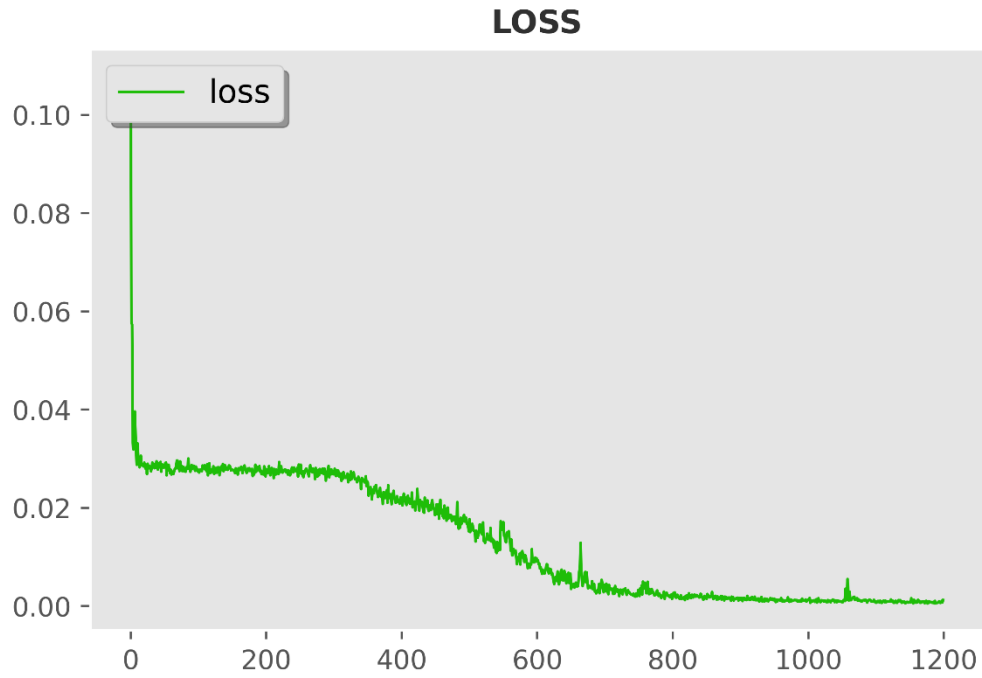
- Arana, C. (2012). *REDES NEURONALES RECURRENTE*S: Análisis de los modelos especializados en datos secuenciales. Buenos Aires: Jorge M. Streb. Recuperado el 10 de Mayo de 2022, de [sa=t&source=web&rct=j&url=https://ucema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/797.pdf&ved=2ahUKEwjvtPucxNX3AhW2BbkGHV3dC50QFnoECAUQBg&usg=AOvVaw3feeU5J16OIHatVekDosbY](https://ucema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/797.pdf&ved=2ahUKEwjvtPucxNX3AhW2BbkGHV3dC50QFnoECAUQBg&usg=AOvVaw3feeU5J16OIHatVekDosbY)
- Aránguez, E., Ordóñez, J., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández Patier, R., Gandarillas, A., & Galán, I. (Marzo de 1999). Contaminantes Atmosféricos y su Vigilancia. *Rev Esp Salud Pública*, 73, 123-132. Recuperado el 10 de abril de 2022, de https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57271999000200003
- Aristizábal, M. C. (Julio de 2006). Evaluación asimétrica de una red neuronal artificial: aplicación al caso de la inflación. *Lecturas de Economía*(65), 73-116. Recuperado el 23 de Marzo de 2022, de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/lecturasdeeconomia/article/view/2641>
- Barceló, J. (1996). *Simulación de Sistemas Discretos* (Primera ed.). Madrid: Publicaciones de Ingeniería de Sistemas Isdefe. Recuperado el 12 de Abril de 2022, de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiAs9uHjuf3AhUcl7kGHdLTDIEQFnoECAUQAQ&url=https://www.files.wordpress.com/2010/02/libro-simulacion-de-sistemas-discretos.pdf&usg=AOvVaw1-EeMAYWYpr_FuS
- Basogain Olabe, X. (2008). Redes Neuronales Artificiales y sus Aplicaciones. *Revista de la Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática*, 9-11. Recuperado el 12 de Marzo de 2022, de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj2-zAmef3AhUUA7kGHcj1DniQFnoECAMQAQ&url=https://www.files.wordpress.com/2010/02/libro-simulacion-de-sistemas-discretos.pdf&usg=AOvVaw1-EeMAYWYpr_FuS
- Brío, B. M., & Serrano Cinca, C. (Junio de 1995). Fundamentos de las Redes Neuronales Artificiales: hardware y software. *Scire*, 1, 104-125. Recuperado el 23 de Abril de 2022, de <https://www.iberid.eu/ojs/index.php/scire/article/view/1036/1018>
- Cachi, A. C., Pari Mita, J. L., & Zalles Velazco, L. (2016). *Informe Municipal de Calidad del Aire Gobierno Autónomo Municipal de El Alto*. Recuperado el 4 de Octubre de 2021, de snia.mmaya: <http://snia.mmaya.gob.bo/web/modulos/PNGCA/#>
- Camilloni, I., & Vega, C. (2011). La Atmosfera. *Explora las Ciencias en el mundo Contemporáneo*. Recuperado el 5 de Marzo de 2022, de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjMx96amuf3AhXzANQKHUSbDkwQFnoECBAQAQ&url=http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/FEL002316.pdf&usg=AOvVaw32e3LezyBAvuJb7jZAhI37>
- Castán, Y. (Marzo de 2014). Introducción al Método Científico y sus Etapas. *Revista*

- IACS Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud. Recuperado el 20 de Febrero de 2022, de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwijtPD0muf3AhXRBLkGHf_8B1cQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fclaustrouniversitariodeorientedeu.mx%2Fpedagogia-linea%2Fintroduccionalmetodocientificoysusetapas.pdf&usg=AOvV
- Challenger, I., Díaz, Y., & Becerra, R. A. (Abril-junio de 2014). El lenguaje de programación Python. *Ciencias Holguín, Revista trimestral*, XX(2), 1-13.
- Encinas Malagón, M. (2011). *Medio Ambiente y Contaminación. Principios Básicos* (Prinera ed.). Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International. Recuperado el 15 de Abril de 2022, de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiA84m_nOf3AhVnArkGHQCrAsIQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Faddi.ehu.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10810%2F16784%2FMedio%2520Ambiente%2520y%2520Contaminaci%25C3%25B3n.%2520Pri
- Izaurieta, F., & Saavedra, C. (Octubre de 2000). Redes Neuronales Artificiales. *Revista Universidad de Concepcion Departamento de Física*. Recuperado el 3 de Mayo de 2022, de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwil2f35nOf3AhWEBdQKHQy0BJcQFnoECAQQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.franciscocruz.cl%2Flectures%2Fsistint%2Frna.pdf&usg=AOvVaw2N-VrAWw70QYsO6y-VJ3oG>
- Jiménez Percera, G. (2017). *EXPERIMENTACIÓN Y COMPARATIVA DE DIFERENTES MODELOS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA EL PROCESAMIENTO DEL LENGUAJE NATURAL*. Palmas. Recuperado el 4 de Mayo de 2022, de https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/23943/4/0738886_00000_0000.pdf&ved=2ahUKEwiXzOf0pJH4AhWjDtQKHbBSBhIQFnoECAgQAQ&usg=AOvVaw3CSQRI3Dw0Dd6Z4kh6aCer
- Largo, C. A., & Marin, E. (2005). *Guía Técnica Para Evaluación de Software*. Recuperado el 9 de Octubre de 2021, de https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://jrvargas.files.wordpress.com/2009/03/guia_tecnica_para_evaluacion_de_software.pdf&ved=2ahUKEwjtvtuT1b3zAhWxH7kGHbKOCggQFnoECDEQAQ&usg=AOvVaw2Wr6P7Ccox5JETsHWRA56n
- Maida, E. P. (2015). *Metodologías de desarrollo de software*. Universidad Católica Argentina. Recuperado el Diciembre de 2021, de <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/metodologias-desarrollo-software.pdf>
- Maldonado, C. E., & Gómez, N. A. (Febrero de 2010). Modelamiento y Simulación de Sistemas Complejos. *Documentos e Investigación Rev. Universidad del Rosario*.
- Matich, D. J. (Marzo de 2001). Redes Neuronales: Conceptos Basicos y Aplicaciones. *Revista de Universidad Tecnologica Nacional - Facultad*

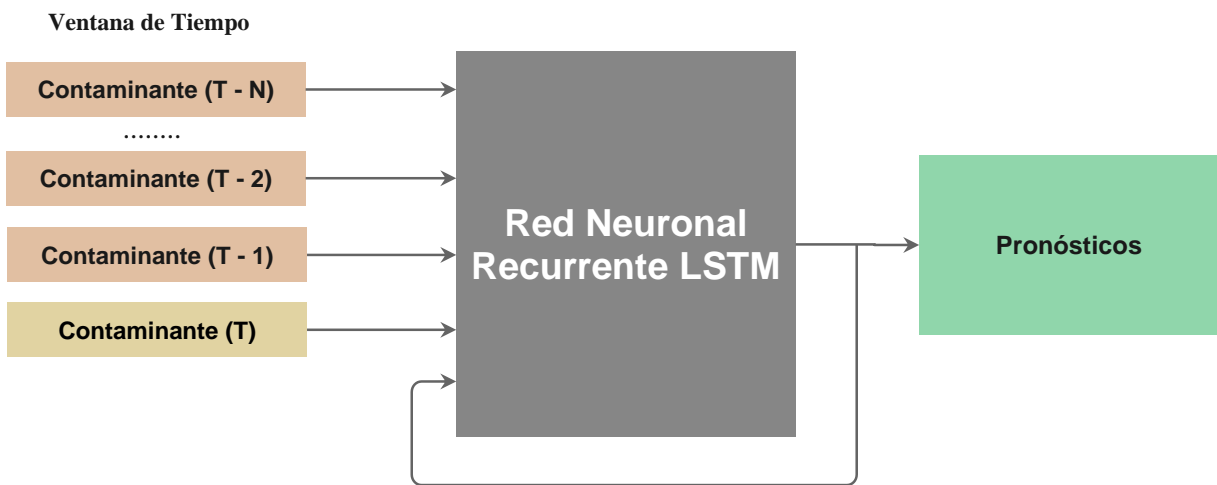
- Regional Rosario*, 6-7. Recuperado el 25 de Abril de 2022, de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwinxP7xnef3AhX6FbkGHYdnCT0QFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.frro.utn.edu.ar%2Frepositorio%2Fcatedras%2Fquimica%2F5_anio%2Forientadora1%2Fmonograias%2Fmatch-redesneuro
- Melendez, S., Gaitan, M., & Pérez, N. (2016). *METODOLOGIA ÁGIL DE DESARROLLO DE SOFTWARE PROGRAMACION EXTREMA*. Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua, Managua.
- Palma, J., Paniagua, E., Martín, F., & Marín, R. (2000). Ingeniería del Conocimiento. De la Extracción al Modelado de Conocimimiento. *Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, IV(11), 46-72. Recuperado el Septiembre de 2021, de https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.redalyc.org/pdf/925/92541105.pdf&ved=2ahUKEwiXx97jg4zzAhU7qJUCHd7dAulQFn oECAQQAQ&usg=AOvVaw1_IVC5kY_hjUu61f4J6FbP&cshid=1632088770977
- Palmer Pol , A., & Montaña Moreno, J. (1999). ¿Que son las redes neuronales artificiales? Aplicaciones realizadas en el ámbito de de las adicciones. *Adicciones*, 11(3), 243-255. Recuperado el 28 de Marzo de 2022, de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiy6Zm2nuf3AhV9CbkgGHUwzB6YQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fdisi.unal.edu.co%2F~lctorress%2FRedNeu%2FLiRna001.pdf&usg=AOvVaw39thzN3iriE5syJZh7n6LJ>
- Petteri Rouhiainen, L. (2018). Inteligencia Artificial 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro. *Alimenta*, 15-32.
- Ponce Cruz, P. (2010). *Inteligencia Artificial Con Aplicaciones a la Ingeniería* (Primera ed.). México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México.
- Purves, D., Augustime, G., Fitzpatrick, D., Hall, W., LaMantia, A. S., McNamara, J., & Williams, S. (2004). *Neuroscience* (Tercera ed.). Sunderland, Massachusetts U.S.A.
- Sánchez, A. (2020). *Manual de Python*. Compartir igual 4.0 Internacional de Creative Commons.
- Suárez Salas, L., Álvares Tolentino, D., Bendezú, Y., & Pomalaya, J. (2017). Caracterización química del material particulado atmosferico del centro urbano de Huancayo, Perú. *Rev Soc. Quim. Peru*, 83, 187-199. Recuperado el 4 de Mayo de 2022, de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v83n2/a05v83n2.pdf>
- Suárez, A., & Augusto, C. (2012). Diagnostico y Control de Material Particulado: Particulas Suspendidas totales y Fraccion Respirable PM10. *Luna Azul*, 195.
- Valle Roque, D. (2014). *Estimación de costos de desarrollo de software*. Recuperado el 9 de Octubre de 2021, de Estimación de costos de desarrollo de software, contabilidad tecnologia: <https://www.gestiopolis.com/estimacion-de-costos-de-desarrollo-de-software/>
- Vasquez, J. B. (2012). *Arquitectura de computadoras I* (Primera ed.). Estado de Mexico: Red Tercer Milenio S.C.

ANEXOS Y APÉNDICES

Anexo 1: Gráfica del error de la red neuronal que nos permite observar el aprendizaje de la red neuronal



Anexo 2: Resumen del modelo



Anexo 3: Remisión de información de calidad de aire gestiones 2009 - 2020



GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO



El Alto, 23 de Septiembre de 2021
CITE: DSBRRHyCA/964/2021

Señor:
Roger Huanca Cori

UNIVERSITARIO - INGENIERIA DE SISTEMAS
UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA

Presente. -

REF.: REMISIÓN DE INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AIRE GESTIONES 2009 A 2020 RED MONICA PARA ELABORACIÓN DE PROYECTO DE GRADO

De nuestra consideración:

En atención a su solicitud de concesión de datos de concentración de O₃, NO₂ y PM₁₀ de los periodos 2009 a 2020, para la elaboración de proyecto de grado y como parte fundamental del proceso de enseñanza y aprendizaje, esta Instancia Ambiental del Gobierno Municipal (IAGM), da curso a su solicitud.

Asimismo se solicita a su persona proporcionar una copia del documento y realizar la presentación en esta Instancia Ambiental del Gobierno Municipal del proyecto de grado denominado "MODELO DE SIMULACIÓN PARA PROYECTAR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA CIUDAD DE EL ALTO APLICANDO REDES NEURONALES".

Se adjunta a la presente nota, toda la información requerida del Área de la red de Monitoreo de la Calidad de Aire (RED MONICA).

Sin otro particular, nos despedimos con las consideraciones más distinguidas.


Iny. Rolando Orellana Ayala
DIRECTOR
DIRECCIÓN DE SANEAMIENTO BÁSICO,
RECURSOS HÍDRICOS Y CONTROL AMBIENTAL
S.M.A.S.S.A.R.
GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO



HR. 858/21
Cc: Arch. DSBRRHyCA
Cc: Arch. UCMA
Cc: Arch. SMIA
Cc: ROACARUJOMO



REPORTE DE MONITOREOS DE CALIDAD DE AIRE – RED MONICA GESTIONES 2009 – 2020

1. METODOLOGIAS DE MONITOREO:

Método pasivo: Es un método de medición de contaminantes del aire basado en la recolección del contaminante mediante el uso de dispositivos especiales, que contienen sustancias químicas que reaccionan con el contaminante en el aire ambiente, y luego son analizadas en laboratorio. Este método tiene la ventaja de ser sencillo y económico, mientras su desventaja es que brinda resultados para promedios largos, de 7 a 14 días. Con este método se mide el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono troposférico (O₃).

Método activo: Este método necesita de energía para succionar una muestra de aire y seleccionar el contaminante requerido sobre un material físico en el que se deposita el contaminante. Esta muestra posteriormente es analizada en laboratorio para determinar el nivel de contaminación. Su ventaja es que tiene una operación y rendimiento confiable, pero requieren de energía para su funcionamiento. Existen también equipos que cuentan con una batería propia. Se puede realizar mediciones de 24 horas y medir material particulado en diferentes fracciones (PM₁₀, PST y PM_{2.5}).

Método automático: Se usan equipos que funcionan continuamente, midiendo los contaminantes requeridos a través de métodos electroquímicos o físicos, los cuales brindan señales digitales y específicas para obtener el nivel de contaminación al instante. La gran ventaja de estos métodos es que brinda datos a tiempo real, pero sus costos económicos de inversión y mantenimiento son elevados. Los contaminantes que se pueden medir son material particulado (PM₁₀), ozono (O₃), monóxido de carbono entre otros.

2. DETALLE DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE MUNICIPIO DE EL ALTO

En la siguiente tabla se presenta la ubicación de los puntos de monitoreo de la red pasiva, activa y automática:

Tabla 1: Ubicación de sitios de monitoreo Municipio de El Alto – Gestiones 2009 a 2014

N°	Estación	Código	Contaminante Monitoreado y tecnología				
			PM ₁₀	PST	CO	NO ₂	O ₃
1	Av. Naciones Unidas - Ceja	UN				PV	PV
2	Av. 6 de Marzo - Ceja	SP				PV	PV
3	Av. Juan Pablo II Ex Tranca Río Seco	EX				PV	PV
4	Plaza 16 de Julio	P - 16				PV	PV
5	Av. Bolivia	AB				PV	PV
6	Plaza del Minero	PM				PV	PV
7	Plaza Villa Adela	VA				PV	PV
8	Villa Ingenio - EMMU	VI				PV	PV
9	San Felipe de Seke	CL				PV	PV
10	Ciudad Satélite	CS	AC				
11	Alcaldía Quemada	AQ	AC				
12	Radio San Gabriel	SG	AC				
13	Transporte Aéreo Militar	TAM	AC				
14	Regimiento Ingavi	RI	AC				

Tabla 2: Ubicación de sitios de monitoreo Municipio de El Alto – Gestiones 2015 a 2019

N°	Estación	Código	Ubicación		Contaminante Monitoreado y tecnología				
			Latitud	Longitud	PM ₁₀	PST	CO	NO ₂	O ₃
1	Alcaldía Quemada	AQ	16.505256°	68.162482°	AC				
2	Ciudad Satélite	CS	16.525383°	68.150886°	AC				
3	Avenida Bolivia	AB	16.525037°	68.201384°	AC				
4	Avenida Bolivia	AB	16.525304°	68.201170°				PV	PV
5	Plaza del Minero	PM	16.536765°	68.178943°				PV	PV
6	Camino a Laja	CL	16.511192°	68.239285°				PV	PV
7	Villa Ingenio	VI	16.478183°	68.211112°				PV	PV

Avenida Costanera, Nro.: 5022 Urbanización Libertad, entre calle J.J. Torrez y calle Hernán Siles Suazo (Jacha Uta - Piso Planta Baja), a media cuadra de la estación de bomberos El Alto



GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO



8	Ex Tránca Río Seco	EX	16.491025°	68.202849°								PV	PV
9	Ciudad Satélite	CS	16.525383°	68.150886°								PV	PV
10	Desvió de la Ceja	SP	16.503200°	68.162710°								PV	PV
11	Plaza 16 de Julio	P16	16.494881°	68.173822°								PV	PV
12	Villa Adela	VA	16.520625°	68.212346°								PV	PV
13	Aeropuerto Internacional El Alto	AIEA	16.506789°	68.167732°				AT					

Dónde:

AC = Método activo

AT = Método automático continuo

PV = Método pasivo

Gestión 2009

a) Dióxido de nitrógeno – NO₂

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
CL	10,5	9,9	9,9	13,5	12,4	9,6	14,2	14,1	12,2	10,8	16,3	12,7	12,2
VI	13,4	12,3	13,4	11,6	11,0	8,2	12,1	11,9	11,1	11,2	16,1	13,7	12,1
VA	15,3	16,3	17,6	16,1	17,7	12,4	23,2	23,7	22,0	17,7	23,2	19,3	18,7
C-78	21,3	22,8	26,4	13,1	20,7	19,4	27,1	30,1	15,3	23,2	35,0	24,0	23,2
PM	16,4	17,0	16,6	16,7	21,3	21,3	30,7	29,7	21,3	21,5	34,8	19,8	22,4
P-16	37,3	29,6	28,2	26,2	30,0	26,5	38,6	34,6	37,6	33,4	35,5	26,7	32,1
EX	34,8	40,3	40,6	37,4	33,8	26,7	40,1	40,0	43,6	44,4	58,8	44,8	40,4
UN	40,1	37,8	37,2	37,9	44,2	40,2	51,9	51,6	49,4	52,2	54,5	47,3	45,4
SP	43,0	40,0	39,8	38,6	42,9	38,9	53,5	50,8	51,0	50,5	59,6	48,2	46,4

b) Ozono troposférico – O₃

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
SP	27,8	8,5	14,0	19,6	19,9	11,6	19,6	24,6	25,0	25,8	41,7	23,3	21,8
UN	23,3	8,8	16,8	18,9	15,0	14,6	20,6	24,1	27,8	26,2	43,4	24,1	22,0
EX	29,2	9,5	15,1	21,8	21,2	17,1	26,1	36,1	31,1	31,3	40,9	28,5	25,7
P-16	32,5	14,4	22,5	23,0	20,2	20,8	24,7	33,4	31,3	32,3	44,8	24,7	27,2
PM	41,7	13,3	33,7	37,4	28,0	25,9	35,1	42,4	40,8	45,7	53,9	27,1	35,7
C-78	42,2	20,0	32,6	21,9	23,3	20,4	31,5	38,9	39,7	40,0	46,9	29,2	32,4
VA	44,2	18,5	32,8	32,9	26,6	24,8	32,0	45,1	43,2	44,8	57,6	42,2	37,1
VI	47,3	29,2	41,5	38,4	43,7	45,2	59,5	61,8	59,1	61,0	72,4	50,9	51,0
CL	49,3	33,3	42,5	40,4	45,4	50,0	56,0	59,7	58,1	57,7	64,9	52,1	50,9

c) Material particulado – PM₁₀

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual
TAM	27,0	26,5	39,2	28,0	57,2	53,1	49,5	29,7	46,8	30,2	70,2	39,8	41,4
AQ	24,7	138,5	56,2	46,2	46,8	71,6	118,1	44,6	50,8	70,3	55,6	151,6	72,9
CS	32,9	20,1	21,2	23,5	23,5	47,2	29,9	33,2	34,5	38,5	34,8	12,8	29,3
SG	42,6	23,73	46,9	n.d.	n.d.	64,9	41,1	30,1	26,9	36,4	31,6	19,0	36,3

Gestión 2010

a) Dióxido de nitrógeno – NO₂

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
CL	17,9	13,1	14,4	12,8	21,1	25,1	24,9	18,6	17,4	6,7	20,8	25,2	18,1
VI	19,2	13,7	15,6	12,4	17,8	16,3	18,2	15,4	17,0	8,2	20,6	23,9	16,5
VA	22,4	18,0	21,6	14,6	24,1	31,2	30,7	24,3	26,1	15,8	28,0	24,9	23,5
C-78	29,2	14,9	19,8	21,0	28,7	37,3	38,3	32,1	25,7	20,7	33,5	38,0	28,3
PM	27,0	18,5	25,3	19,8	26,3	36,1	35,8	29,3	28,4	20,1	29,3	33,2	27,4
P-16	42,7	28,3	33,1	28,2	35,2	45,3	48,5	40,5	43,2	35,2	36,9	39,1	38,1
EX	50,3	36,0	41,6	38,4	39,5	47,5	46,1	46,0	54,2	48,5	51,8	61,9	46,7
UN	52,5	37,3	43,9	39,4	47,6	58,2	62,9	53,3	57,6	49,5	59,8	59,2	51,8
SP	26,9	19,2	22,0	31,4	48,2	65,1	71,7	57,4	58,9	55,1	66,1	65,1	44,0

b) Ozono troposférico – O₃



GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO



Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
SP	20,3	13,0	18,7	27,5	19,6	21,9	21,7	38,5	29,5	30,4	37,0	35,3	26,1
UN	21,7	15,3	17,1	27,5	21,5	24,2	22,8	37,3	35,5	29,4	39,7	36,0	27,3
EX	22,2	17,1	22,8	29,6	21,5	22,7	33,9	45,5	44,1	34,9	44,1	42,1	31,7
P-16	27,0	18,0	23,8	31,4	22,5	24,8	33,3	46,6	44,6	39,0	49,7	39,2	33,3
PM	27,7	20,7	29,5	38,5	27,8	30,0	44,2	52,3	60,8	47,8	46,8	46,2	39,4
C-78	27,3	23,3	31,8	38,0	26,9	31,7	40,1	45,4	39,6	39,6	48,4	41,4	36,1
VA	33,2	25,7	27,4	39,7	26,4	30,6	40,7	52,9	54,2	43,3	55,8	56,1	40,4
VI	45,5	31,6	52,2	52,4	42,1	53,9	53,4	67,3	78,2	49,5	68,5	61,4	54,7
CL	49,3	33,2	52,7	49,5	38,1	51,7	52,0	68,4	77,5	48,5	70,3	67,6	54,8

c) Material particulado – PM₁₀

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual
TAM	47,8	39,2	72,9	88,9	67,0	120,1	146,0	240,1	70,4	68,0	78,5	40,1	89,9
AQ	63,4	41,6	61,4	32,1	32,6	63,3	66,9	101,5	41,1	70,5	85,7	60,7	60,1
CS	29,2	14,6	15,2	17,7	25,6	34,2	30,2	60,4	37,7	34,0	33,0	37,7	30,8
AB	41,9	41,13	50,6	34,8	47,5	45,5	104,4	75,9	74,3	103,6	56,2	45,1	60,1

Gestión 2011

a) Dióxido de nitrógeno – NO₂

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
UN	47,3	44,9	38,8	40,7	43,1	45,9	52,3	55,1	44,1	55,7	59,2	42,5	47,5
SP	44,8	41,4	41,3	42,0	47,0	45,5	50,4	55,3	50,0	66,0	60,0	37,4	48,5
EX	46,8	40,6	36,9	38,3	41,8	40,3	42,7	50,2	45,6	59,7	55,5	35,5	44,6
P-16	29,8	33,9	31,8	35,4	35,9	37,0	37,4	45,7	39,4	48,0	44,1	34,5	37,8
AB	30,3	28,6	27,1	27,6	25,8	31,4	33,2	38,8	35,4	40,4	24,7	19,4	30,3
PM	19,0	18,4	18,5	22,5	23,8	27,5	26,9	27,8	25,9	34,2	29,8	19,6	24,5
VA	19,2	13,9	18,4	23,1	19,7	23,1	20,6	22,7	24,0	30,0	28,6	16,4	21,7
VI	15,4	11,1	12,3	13,3	9,0	11,2	14,3	16,3	18,5	30,6	7,1	14,8	14,5
CL	12,4	8,3	11,3	13,9	11,4	17,3	16,4	19,6	17,4	19,3	8,0	14,6	14,2

b) Ozono troposférico – O₃

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
SP	38,2	19,4	15,3	14,8	18,9	21,1	16,9	33,8	23,9	32,4	39,9	23,9	24,9
UN	41,4	23,2	14,6	13,8	23,3	22,4	15,4	31,3	26,0	27,2	42,3	22,8	25,3
EX	42,4	26,0	15,9	21,1	25,6	27,2	28,4	40,8	23,7	33,1	46,4	25,8	29,8
P-16	51,6	27,4	20,1	17,8	22,7	21,4	28,0	40,1	31,0	39,0	38,8	23,7	30,2
PM	55,1	36,8	26,1	27,7	30,0	27,8	31,4	46,6	34,8	47,8	50,3	27,3	36,9
C-78	50,6	29,7	24,3	20,5	26,5	23,0	25,2	49,8	38,8	41,1	37,8	28,9	33,1
VA	52,1	36,0	23,6	33,4	33,5	29,9	34,3	53,8	39,3	37,1	51,9	39,6	38,7
VI	69,7	47,0	40,1	44,5	47,8	45,5	48,7	73,6	58,9	65,3	72,4	44,9	55,0
CL	67,3	51,7	41,0	43,6	49,3	49,3	46,4	68,2	60,5	64,5	74,5	41,0	54,8

c) Material particulado – PM₁₀

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual
TAM	34,9	22,3	43,3	34,9	51,7	79,5	51,4	104,1	55,1	140,2	47,0	114,8	64,9
AQ	34,1	24,3	62,3	33,8	35,6	35,4	36,1	42,3	25,4	46,5	31,2	29,8	36,4
CS	16,4	23,5	n.d.	35,3	29,2	28,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	26,6
AB	61,7	50,62	53,8	131,3	74,3	64,1	53,7	41,7	41,4	58,3	45,3	60,1	61,4

Gestión 2012

a) Dióxido de nitrógeno – NO₂

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
UN	38,0	30,7	35,3	44,8	56,7	72,7	47,5	48,4	50,7	35,5	n.d.	n.d.	46,0
SP	34,8	33,0	35,7	44,8	59,2	72,9	49,2	48,0	54,2	34,4	n.d.	n.d.	46,4
EX	32,4	33,1	35,3	30,6	41,3	59,8	40,5	44,1	50,0	32,0	n.d.	n.d.	39,7



GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO



P-16	17,2	22,8	28,8	38,0	38,7	47,5	42,4	32,1	35,7	19,4	n.d.	n.d.	31,3
AB	36,5	21,3	25,4	29,3	31,7	46,2	24,8	20,8	37,6	15,8	n.d.	n.d.	28,1
PM	26,0	13,4	14,9	22,4	27,4	21,2	0,0	0,0	0,0	1,6	n.d.	n.d.	12,0
VA	16,6	13,7	17,0	21,4	23,9	39,4	16,3	20,0	17,6	11,6	n.d.	n.d.	19,3
VI	15,2	10,7	9,4	8,0	17,0	26,4	8,4	8,2	7,2	6,4	n.d.	n.d.	11,4
CL	13,0	8,7	10,9	9,5	22,7	31,5	9,9	11,7	9,5	6,2	n.d.	n.d.	12,9

b) Ozono troposférico – O₃

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
SP	12,3	15,6	16,2	19,9	22,9	34,7	23,2	14,9	34,7	28,9	n.d.	n.d.	22,6
UN	13,5	13,9	16,5	21,1	29,4	51,2	22,7	14,8	32,8	26,1	n.d.	n.d.	24,5
EX	17,2	22,9	20,2	26,4	31,5	47,6	26,5	18,6	38,5	28,8	n.d.	n.d.	28,1
P-16	19,5	25,2	24,4	28,1	35,0	47,2	24,0	21,2	43,2	31,4	n.d.	n.d.	30,3
PM	15,6	29,5	35,9	40,8	38,0	15,7	18,1	0,0	0,0	0,0	n.d.	n.d.	18,8
AB	16,6	28,9	27,9	33,0	33,0	51,9	27,7	21,0	45,5	33,2	n.d.	n.d.	32,1
VA	19,8	39,3	39,1	48,1	40,1	54,1	33,5	27,8	47,1	34,7	n.d.	n.d.	38,4
VI	39,1	45,9	52,3	63,9	57,0	65,8	48,2	46,9	69,3	59,5	n.d.	n.d.	55,3
CL	34,9	46,2	48,5	59,9	48,0	58,6	51,1	45,0	71,7	65,0	n.d.	n.d.	53,7

c) Material particulado – PM₁₀

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual
TAM	175,1	139,0	75,9	35,7	175,8	67,1	77,5	50,7	56,7	52,5	40,7	43,5	82,5
AQ	30,0	18,4	29,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	25,9
CS	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
AB	86,1	34,44	30,5	36,1	42,6	44,6	42,3	56,7	35,4	34,7	39,5	35,6	43,2

Gestión 2013

a) Dióxido de nitrógeno – NO₂

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
UN	n.d.	31,7	33,2	n.d.	n.d.	n.d.	23,4	19,8	7,7	17,5	12,1	17,6	20,37
SP	n.d.	24,5	29,3	n.d.	n.d.	n.d.	34,3	22,2	24,3	35,0	34,1	27,3	28,87
EX	n.d.	31,6	29,2	n.d.	n.d.	n.d.	22,8	15,4	10,7	23,7	22,8	23,4	22,44
P-16	n.d.	21,3	18,9	n.d.	n.d.	n.d.	50,3	42,9	36,1	51,2	48,6	48,8	39,75
AB	n.d.	20,2	18,2	n.d.	n.d.	n.d.	55,1	38,5	31,0	53,2	43,6	50,0	38,74
PM	n.d.	8,2	13,0	n.d.	n.d.	n.d.	38,3	30,5	27,0	41,3	25,5	36,6	27,54
VA	n.d.	5,6	11,6	n.d.	n.d.	n.d.	9,6	3,7	4,2	11,9	2,6	15,0	8,02
VI	n.d.	4,5	4,3	n.d.	n.d.	n.d.	50,0	48,2	31,1	56,6	58,3	0,0	31,64
CL	n.d.	5,8	5,7	n.d.	n.d.	n.d.	17,1	14,5	11,9	16,5	13,6	14,9	12,52

b) Ozono troposférico – O₃

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
SP	n.d.	11,7	13,8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	20,3	35,0	n.d.	n.d.	n.d.	20,19
UN	n.d.	11,9	14,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7,8	13,1	n.d.	n.d.	n.d.	11,69
EX	n.d.	16,5	16,9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	23,3	41,3	n.d.	n.d.	n.d.	24,50
P-16	n.d.	22,6	20,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3,4	24,3	n.d.	n.d.	n.d.	17,57
PM	n.d.	26,9	30,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,6	14,3	n.d.	n.d.	n.d.	18,28
AB	n.d.	27,5	22,4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	19,8	27,9	n.d.	n.d.	n.d.	24,39
VA	n.d.	33,1	32,4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	22,2	15,8	n.d.	n.d.	n.d.	25,88
VI	n.d.	39,2	43,2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7,8	7,5	n.d.	n.d.	n.d.	24,43
CL	n.d.	41,4	40,2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	15,4	21,7	n.d.	n.d.	n.d.	29,70

c) Material particulado – PM₁₀

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual
TAM	149,42	63,69	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	106,55
AQ	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	17,75	51,85	39,91	52,97	31,89	38,87
CS	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	10,34	21,60	23,51	16,71	10,61	16,55
AB	79,61	59,56	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	14,51	31,87	19,60	23,43	25,79	36,34



GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO



Gestión 2014

a) Dióxido de nitrógeno – NO₂

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	n.d.	16,5	4,6	18,0	17,1	18,2	18,4	13,3	18,2	18,4	13,2	5,8	14,6
AB	n.d.	27,7	8,9	19,0	15,2	16,4	18,9	17,2	25,1	24,8	12,7	16,7	18,1
VA	n.d.	37,2	8,3	16,9	20,2	21,2	18,7	15,8	26,3	25,2	16,0	20,6	20,1
CL	n.d.	14,9	5,3	12,3	11,1	13,9	12,2	9,6	13,1	13,0	14,8	3,0	11,0
VI	n.d.	16,6	3,7	9,8	11,0	8,7	11,6	7,4	6,6	16,0	20,9	9,0	11,0
EX	n.d.	15,4	27,6	46,5	36,9	40,6	38,7	46,2	60,6	57,9	51,0	41,1	42,2
P16	n.d.	18,3	14,9	28,5	26,4	25,1	28,8	24,6	37,9	35,6	28,8	28,7	27,0
UN	n.d.	30,8	22,8	35,5	33,4	34,7	36,8	38,1	41,5	39,8	26,7	35,8	34,1
SP	n.d.	33,4	23,2	37,3	39,3	40,9	41,0	42,1	47,5	40,3	26,7	35,8	36,9

b) Ozono troposférico – O₃

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	n.d.	13,8	24,0	32,3	52,3	41,3	39,1	42,6	54,7	71,4	35,2	27,1	39,8
AB	n.d.	14,5	34,1	49,8	42,9	50,5	47,4	50,2	48,9	73,5	32,8	21,3	42,7
VA	n.d.	21,1	29,8	40,1	61,5	45,3	42,1	43,4	58,4	69,3	23,1	23,0	41,7
CL	n.d.	25,1	38,8	48,4	55,4	50,6	51,9	51,9	65,6	91,1	60,2	37,4	52,8
VI	n.d.	22,6	35,8	31,5	59,2	44,6	86,0	56,7	59,5	64,9	31,5	30,3	48,3
EX	n.d.	0,0	13,3	22,6	48,0	46,2	31,7	25,3	27,4	47,1	36,9	15,0	29,3
P16	n.d.	9,0	10,4	35,8	49,3	22,3	23,6	22,7	26,4	40,3	33,2	21,7	27,0
UN	n.d.	4,5	7,6	32,6	36,8	14,9	28,0	15,0	35,5	42,0	28,6	22,5	24,4
SP	0,1	4,5	5,1	10,9	21,3	11,5	8,4	6,8	8,7	15,3	8,1	8,0	9,6

c) Material particulado – PM₁₀

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual
CS	15,7	16,5	18,8	25,3	22,7	25,2	24,5	34,8	22,8	20,7	n.d.	n.d.	22,7
AQ	62,5	48,6	51,5	59,4	55,1	61,4	55,1	42,6	44,9	45,9	n.d.	n.d.	52,7
AB	n.d.	n.d.	30,0	32,6	n.d.	40,7	41,1	34,5	19,7	24,2	n.d.	n.d.	31,8
TAM	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	51,6	46,2	44,0	47,3	44,6	n.d.	n.d.	46,7
RI	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	67,7	62,8	57,8	49,6	35,2	n.d.	n.d.	54,6

Gestión 2015

a) Dióxido de nitrógeno – NO₂

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	6,6	9,5	9,0	11,9	10,3	20,1	16,8	18,5	22,2	16,1	17,8	20,6	15,0
AB	17,1	17,5	18,1	13,4	14,9	14,1	15,8	15,8	28,3	25,0	28,3	29,3	19,9
VA	11,9	11,8	11,9	14,7	15,9	16,6	13,1	16,7	21,4	17,2	20,3	22,6	16,2
CL	1,5	1,9	6,3	9,9	9,1	13,7	12,2	12,2	16,2	11,1	15,4	14,4	10,4
VI	6,8	7,3	11,0	9,0	7,5	11,9	8,5	11,6	11,0	10,4	24,3	10,0	10,8
EX	55,8	44,1	41,4	35,7	27,9	34,5	31,0	29,2	44,4	39,0	42,3	37,4	38,6
P16	28,6	25,6	38,9	17,1	21,1	25,2	25,9	30,4	41,0	38,0	42,4	41,8	31,4
CS	3,9	6,7	8,7	14,0	8,6	12,8	13,7	15,7	24,8	17,1	20,0	21,6	14,1
SP	42,8	37,4	43,2	24,5	21,7	36,1	32,3	32,7	41,1	45,2	43,5	37,5	36,6

b) Ozono troposférico – O₃

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	45,4	40,0	39,2	29,7	23,4	29,5	33,7	19,8	43,3	38,6	44,0	48,2	36,2
AB	36,3	44,8	28,6	31,2	27,3	30,8	32,6	22,6	44,3	42,3	34,0	48,1	35,2
VA	38,8	48,6	58,9	33,4	29,6	31,7	27,8	25,6	40,6	47,0	51,2	43,4	39,7
CL	64,0	64,4	60,6	36,9	32,5	38,3	44,4	31,3	56,6	45,0	64,7	69,5	50,6
VI	62,3	53,6	57,0	37,1	34,7	41,0	42,6	28,2	57,4	47,9	63,7	61,3	48,9
EX	31,8	22,5	26,4	18,6	18,5	25,1	24,5	14,7	27,7	34,0	47,6	48,3	28,3
P16	30,0	20,6	34,1	16,4	14,7	17,9	18,5	12,1	27,4	35,6	26,7	48,7	25,3
CS	29,7	55,7	34,5	32,3	25,6	19,7	26,1	23,8	40,1	41,3	35,6	53,6	34,7

Avenida Costanera, Nro.: 5022 Urbanización Libertad, entre calle J. J. Torrez y calle Hernán Siles Suazo (Jacha Uta - Piso Planta Baja), a media cuadra de la estación de bomberos El Alto



GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO



SP	28.9	14.5	20.3	11.8	18.0	22.2	15.4	10.0	25.1	19.3	23.9	35.0	20.4
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

c) Material particulado – PM₁₀

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. Anual
CS	32,83	33,64	34,22	38,39	37,75	41,47	36,56	34,42	35,14	36,75	36,38	34,79	35,96
AQ	62,14	64,84	67,46	67,41	63,93	65,01	57,84	59,19	42,45	45,73	41,70	39,70	55,41
AB	46,36	49,26	50,34	49,55	51,62	53,69	47,10	28,55	37,66	36,69	39,67	39,87	43,54

Resultados expresados en condiciones locales

Gestión 2016

a) Dióxido de nitrógeno – NO₂

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	24.4	14.5	12.8	12.2	11.1	22.4	16.6	9.7	15.5	12.0	10.4	30.2	16.0
AB	33.0	25.6	15.9	18.9	14.3	21.7	21.7	14.4	26.3	21.0	11.7	35.9	21.7
VA	30.9	23.8	15.3	20.0	16.1	26.1	19.4	13.1	24.3	18.7	12.9	27.1	20.6
CL	16.0	15.3	11.0	13.8	9.5	14.2	8.8	6.4	12.8	9.8	5.2	21.0	12.0
VI	14.5	12.1	7.6	9.7	3.3	7.6	5.5	3.0	7.1	6.3	8.7	20.1	8.8
EX	38.3	36.1	n.d.	n.d.	17.2	25.4	22.2	12.5	32.4	27.0	9.8	58.0	27.4
P16	43.0	35.1	28.3	26.4	5.6	23.1	19.5	14.5	30.7	13.0	27.4	44.7	25.9
CS	22.3	18.6	7.5	13.9	9.1	18.9	17.1	7.9	14.9	10.9	6.5	28.0	14.6
SP	43.6	37.8	24.7	27.7	23.0	31.7	32.8	16.2	36.7	34.8	21.9	58.7	32.5

b) Ozono troposférico – O₃

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	34.4	46.6	36.3	12.4	15.6	76.5	65.8	31.3	60.0	23.1	10.8	32.6	37.0
AB	32.4	40.8	39.3	21.4	12.0	56.6	86.7	61.9	40.6	11.5	11.3	36.7	37.6
VA	33.2	45.8	36.8	23.0	8.8	36.1	42.0	26.0	47.3	22.9	7.6	36.8	30.5
CL	48.6	58.6	54.0	30.6	15.2	48.1	53.7	77.4	28.0	15.7	7.7	60.5	41.6
VI	46.2	52.3	52.0	18.2	16.5	49.2	103.6	36.3	48.7	31.5	7.5	62.2	43.8
EX	36.2	49.8	n.d.	n.d.	18.6	55.9	37.7	46.7	44.0	20.2	2.1	29.1	32.9
P16	32.1	43.4	46.3	19.2	15.4	16.3	24.8	40.8	39.7	32.0	16.7	25.8	29.4
CS	29.5	46.7	53.0	29.4	17.2	47.0	43.8	56.3	61.3	24.4	7.6	25.9	36.8
SP	26.7	24.1	20.7	18.7	2.4	31.4	30.5	21.5	40.5	27.4	5.0	22.7	22.6

c) Material particulado – PM₁₀

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. Anual
CS	39,16	27,50	26,49	34,80	19,46	50,47	51,45	45,35	43,39	30,31	27,84	13,47	31,93
AQ	76,43	54,22	60,20	59,76	52,38	80,99	62,89	72,15	78,57	47,22	48,69	30,99	58,50
AB	61,89	64,46	66,18	63,58	39,23	62,82	61,48	65,16	62,53	37,31	37,83	42,04	54,00

Resultados expresados en condiciones locales

Gestión 2017

a) Dióxido de nitrógeno – NO₂

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	14.1	8.9	12.5	20.4	11.9	19.1	14.2	11.3	15.3	11.7	16.7	15.8	14.3
AB	26.0	16.8	18.9	22.0	21.4	24.1	14.1	15.0	11.7	17.8	21.4	27.3	19.7
VA	18.7	17.8	17.4	19.4	21.6	18.7	21.4	17.7	24.6	18.2	22.2	27.8	20.5
CL	14.5	7.7	23.0	19.4	13.0	12.1	11.3	12.3	15.5	8.9	12.5	16.6	13.9
VI	13.6	9.1	10.0	12.1	9.3	13.5	8.9	5.8	8.1	3.0	11.2	10.4	9.6
EX	41.7	25.6	32.3	36.5	30.1	30.5	36.2	28.5	39.4	39.0	37.0	46.1	35.3
P16	29.2	25.8	33.0	29.7	20.7	31.1	25.6	25.6	23.7	28.5	38.2	30.3	28.5
CS	19.9	18.1	15.1	24.1	21.5	23.2	22.8	16.6	13.4	15.2	5.0	22.0	18.1
SP	27.5	18.6	26.7	27.3	30.1	30.8	23.3	21.9	29.9	31.6	34.4	35.0	28.1

b) Ozono troposférico – O₃

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	24.3	25.9	23.1	25.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	44.9	15.6	26.48
AB	27.1	22.7	27.5	23.5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	47.7	12.6	26.85
VA	28.2	21.0	25.8	25.3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	36.0	13.2	24.91
CL	52.2	33.7	41.7	33.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	49.4	19.0	38.19
VI	51.4	31.0	40.3	28.2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	52.6	17.3	36.80

Avenida Costanera, Nro.: 5022 Urbanización Libertad, entre calle J.J. Torrez y calle Hernán Siles Suazo (Jacha Uta - Piso Planta Baja), a media cuadra de la estación de bomberos El Alto



GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO



EX	29.9	17.0	23.4	19.6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	39.6	10.6	23.37
P16	18.0	20.4	24.8	18.7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	49.0	13.9	24.12
CS	31.0	27.2	29.3	34.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	31.3	13.9	27.81
SP	14.3	16.5	14.9	14.7	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	40.2	9.3	18.32

c) Material particulado – PM₁₀

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. Anual
CS	12.46	18.68	20.99	22.19	23.65	32.34	38.92	40.17	27.03	30.10	30.79	31.90	26.177
AQ	25.74	31.32	35.90	34.12	42.84	46.76	56.33	54.13	52.19	44.91	48.85	38.49	41.563
AB	23.92	30.63	27.69	34.36	40.11	40.38	48.98	50.88	39.91	38.48	41.92	37.69	37.112

Resultados expresados en condiciones locales

Gestión 2018

a) Dióxido de nitrógeno – NO₂

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	9.5	10.5	14.4	9.6	14.1	21.9	22.4	15.6	21.6	23.4	15.3	14.0	16.1
AB	13.3	18.7	16.3	19.4	19.4	21.5	25.8	20.5	33.9	31.7	21.0	18.5	21.7
VA	17.3	17.3	21.8	24.2	26.5	30.8	30.1	19.7	33.3	37.5	21.7	22.4	25.3
CL	8.3	4.7	12.8	10.2	18.0	15.2	18.5	13.9	24.6	20.0	13.0	14.2	14.6
EX	33.1	36.2	41.3	39.1	45.1	52.5	45.2	37.9	49.5	57.5	36.4	43.8	43.2
VI	6.6	4.2	6.5	5.9	10.2	7.9	10.8	6.3	8.1	10.0	6.1	7.7	7.6
P16	25.2	30.1	28.6	29.2	40.5	43.1	38.7	21.5	39.9	47.8	36.2	27.6	34.1
CS	11.0	10.8	14.5	11.5	18.8	27.0	25.4	15.0	20.7	27.0	13.8	17.2	17.8
SP	26.1	27.1	23.3	28.5	38.6	44.0	39.1	30.1	39.2	47.0	18.2	14.1	31.3

b) Ozono troposférico – O₃

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	25.2	32.5	6.6	21.1	23.1	23.2	35.6	36.8	38.5	35.5	40.2	34.4	29.4
AB	49.5	42.2	24.0	27.6	26.1	26.4	36.0	35.5	32.5	26.2	46.1	33.3	33.6
VA	29.5	32.7	22.8	18.9	11.3	14.3	28.4	27.8	28.7	38.8	33.9	34.0	26.7
CL	34.4	37.2	21.6	30.2	28.5	29.4	41.5	43.6	48.1	58.3	67.8	57.2	41.5
VI	30.1	40.3	15.7	17.1	38.5	30.0	52.0	42.6	37.7	54.0	52.2	44.4	38.0
EX	44.3	82.9	35.3	38.7	26.2	21.1	22.1	20.3	22.4	31.9	31.7	20.4	32.7
P16	31.8	52.4	13.5	28.5	26.9	28.3	25.1	30.6	31.3	27.4	34.8	48.8	31.5
CS	29.3	25.1	17.3	38.5	19.4	21.7	29.5	29.2	23.0	32.6	34.2	43.3	28.6
SP	35.8	39.0	2.7	26.5	29.8	49.8	29.4	33.2	29.8	28.9	22.4	38.6	30.4

c) Material particulado – PM₁₀

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. Anual
CS	19.10	13.78	28.19	44.39	36.74	38.58	26.91	38.92	43.37	40.65	34.05	26.86	31.001
AQ	30.46	28.49	35.53	50.66	47.33	44.03	44.16	48.93	50.66	45.38	43.42	30.53	40.826
AB	28.66	30.52	42.08	51.70	52.58	45.44	34.64	48.16	48.18	42.27	39.70	33.73	40.704

Resultados expresados en condiciones locales

Gestión 2019

a) Dióxido de nitrógeno – NO₂

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	6.8	15.6	14.8	13.2	16.9	20.7	16.8	15.2	11.1	17.6	18.6	16.0	15.3
AB	10.1	25.4	16.3	16.5	21.8	22.6	15.5	19.6	18.1	22.9	25.9	34.2	20.5
VA	24.2	27.5	18.1	21.4	23.6	27.7	21.7	21.5	22.9	22.7	27.6	25.2	23.6
CL	7.6	17.6	9.8	11.6	17.3	20.6	18.7	15.4	12.2	11.9	20.1	12.6	14.6
VI	5.1	13.4	3.3	7.6	9.8	9.4	12.5	7.3	10.7	6.8	15.6	14.2	9.5
EX	36.6	39.5	32.8	37.8	34.9	35.0	29.0	35.8	35.6	40.6	42.2	45.3	36.9
P16	18.3	32.7	20.9	27.6	26.3	32.3	28.0	28.9	29.0	25.4	37.1	29.6	27.9
CS	11.6	17.8	11.8	14.4	19.3	19.0	16.8	17.9	16.7	14.9	19.9	15.6	16.3
SP	26.6	32.5	25.8	22.5	25.1	38.1	32.9	28.4	31.5	32.3	36.0	35.6	30.5

b) Ozono troposférico – O₃

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	34.0	n.d.	27.5	26.8	24.9	12.3	22.7	27.4	21.7	23.9	30.1	37.6	26.3
AB	34.6	n.d.	29.7	26.1	35.9	11.6	21.4	31.0	23.8	28.3	34.0	55.6	30.2
VA	30.7	n.d.	27.0	25.5	32.7	15.3	26.1	36.4	17.8	31.8	31.7	39.3	28.7
CL	50.9	n.d.	38.3	34.0	42.3	22.4	35.5	39.7	30.5	41.9	42.1	48.9	39.1

Avenida Costanera, Nro.: 5022 Urbanización Libertad, entre calle J. J. Torrez y calle Hernán Siles Suazo (Jacha Uta - Piso Planta Baja), a media cuadra de la estación de bomberos El Alto



GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO



VI	51.7	41.0	31.4	27.1	37.7	22.2	34.4	41.3	27.4	40.0	38.1	20.2	34.6
EX	23.0	25.3	21.9	27.6	29.2	26.4	31.5	31.4	14.7	29.2	22.6	19.8	25.4
P16	35.3	36.4	28.8	24.9	24.0	12.8	20.9	23.2	21.9	34.4	30.0	39.6	27.4
CS	39.2	31.3	27.5	26.2	38.8	10.0	21.5	24.3	25.1	25.8	35.6	52.5	29.4
SP	39.4	35.2	32.7	40.1	37.8	10.2	17.6	28.3	n.d.	n.d.	39.8	63.8	34.4

c) Material particulado – PM₁₀

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. Anual
CS	13.76	11.50	20.51	31.34	34.10	44.74	36.64	40.36	35.50	34.65	33.74	16.91	27.16
AQ	21.39	18.37	28.26	32.23	39.66	44.75	42.85	50.16	44.68	52.69	42.91	28.67	35.461
AB	25.50	24.88	25.87	30.49	40.61	51.93	51.93	51.43	44.99	47.65	45.57	28.18	37.509
AIEA	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	45.52	43.33	36.22	24.78	20.26	20.42	n.d.

Resultados expresados en condiciones locales; Se pone en funcionamiento el equipo BETA en el mes de Julio

Gestión 2020

a) Dióxido de nitrógeno – NO₂

Tabla 17: Dióxido de nitrógeno – NO₂

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	12.8	10.5	13.4	6.4	6.4	11.3	21.8	19.9	16.7	13.6	18.5	14.7	13.9
AB	16.8	16.9	15.1	8.5	8.5	11.9	20.4	19.7	22.7	19.3	28.9	25.0	17.8
VA	25.6	21.2	13.8	7.9	7.9	20.2	25.5	22.3	23.8	19.0	30.8	26.0	20.2
CL	8.4	12.6	8.0	5.3	5.3	16.2	18.1	20.4	14.0	10.5	19.6	14.6	12.8
VI	7.5	9.3	5.7	3.7	3.7	8.2	6.6	11.3	12.7	7.5	9.2	8.7	7.8
EX	49.4	36.0	23.3	13.5	13.5	19.1	28.9	30.9	33.2	31.1	40.8	46.4	30.1
P16	26.2	24.7	14.6	7.4	7.4	20.8	24.6	21.2	31.7	27.3	31.6	33.2	22.4
CS	14.1	12.3	12.8	5.2	5.2	8.9	23.5	16.1	14.7	19.6	15.2	18.3	13.8
SP	27.6	26.6	20.6	5.9	5.9	22.5	29.6	19.5	31.4	28.6	32.6	32.6	23.5

b) Ozono troposférico - O₃

Tabla 18: Ozono troposférico - O₃

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual
PM	24.1	26.2	19.7	0.0	0.0	10.3	40.3	26.9	60.7	52.3	36.2	63.7	30.1
AB	50.0	40.8	27.7	6.0	6.0	9.7	34.8	23.3	59.6	59.3	52.5	63.9	35.8
VA	34.0	25.7	15.0	0.1	0.1	9.8	35.9	24.0	64.0	52.5	40.5	64.2	30.3
CL	42.1	40.3	33.5	22.4	22.4	35.2	65.4	44.1	80.2	68.7	100.5	146.1	58.5
VI	30.6	36.7	23.5	6.7	6.7	21.1	43.0	38.8	69.4	58.9	37.0	75.6	37.4
EX	21.4	25.3	19.4	3.8	3.8	23.5	39.1	26.3	36.3	35.3	28.7	46.2	25.8
P16	42.9	28.6	16.9	0.0	0.0	4.8	59.1	49.0	43.4	52.6	49.6	53.0	33.2
CS	43.4	25.9	24.5	9.6	9.6	20.9	33.6	25.7	39.8	44.4	50.4	78.3	33.5
SP	47.8	37.6	27.2	0.9	0.9	14.9	61.7	49.2	60.1	45.3	63.2	119.0	43.7

c) Material particulado – PM₁₀

Tabla 19: Partículas menores a 10 micrómetros – PM₁₀

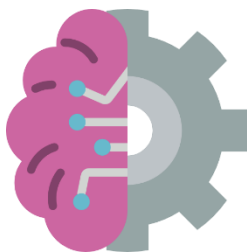
Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom. Anual
CS	17.23	15.42	21.93	n.d.	27.39	30.75	30.14	29.60	32.79	24.79	36.76	28.82	26.064
AQ	20.45	19.12	26.38	n.d.	30.70	34.86	35.17	30.42	40.86	29.28	39.79	25.61	29.44
AB	20.19	20.07	24.54	n.d.	31.29	44.27	36.83	38.00	44.33	31.75	39.91	25.90	31.28
AIEA	21.96	21.54	12.20	16.00	26.89	34.69	37.44	36.23	33.68	29.87	34.13	23.11	27.49

Resultados expresados en condiciones locales

Anexo 4:

Prototipo del sistema de simulación

MANUAL DE USUARIO



SIMCA

OBJETIVO:

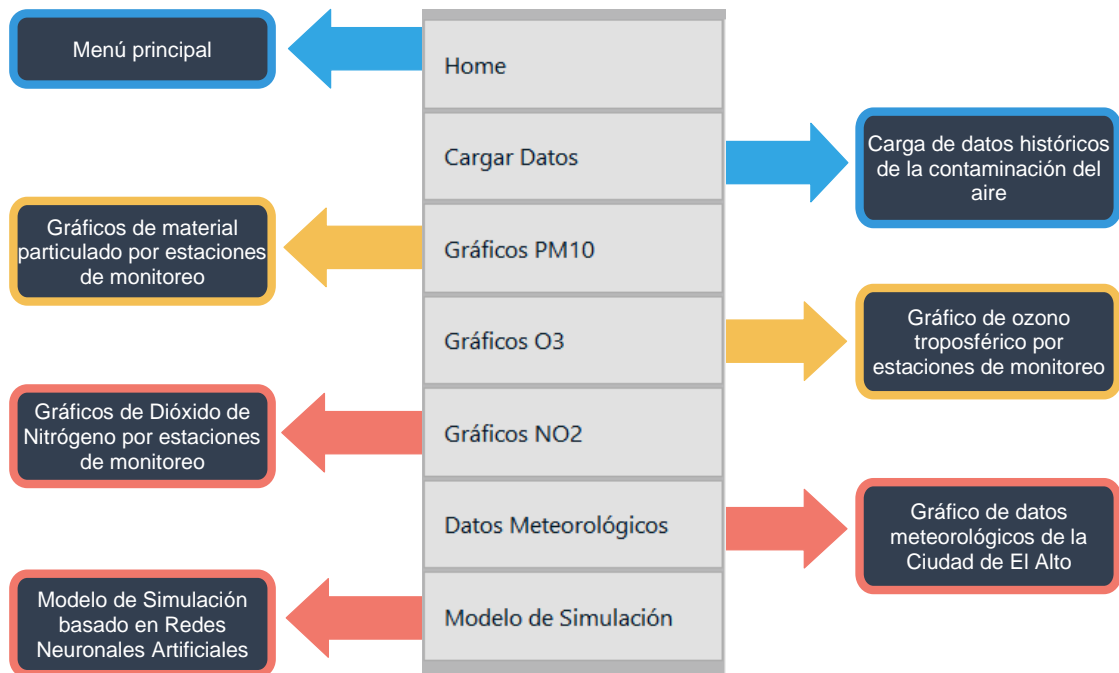
El prototipo de sistema de simulación SIMCA (Simulación de la Contaminación del aire) desarrollada en Python, tiene como objetivo realizar la proyección de la contaminación del aire provocada por los gases contaminantes, Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Ozono Troposférico (O₃), y Material Particulado (PM₁₀), en la ciudad de El Alto, con la herramienta de redes neuronales artificiales, RNA. Permitiendo de esta manera a las autoridades como a la población, tener una perspectiva del comportamiento de la contaminación del aire.

GUIA DE USO:

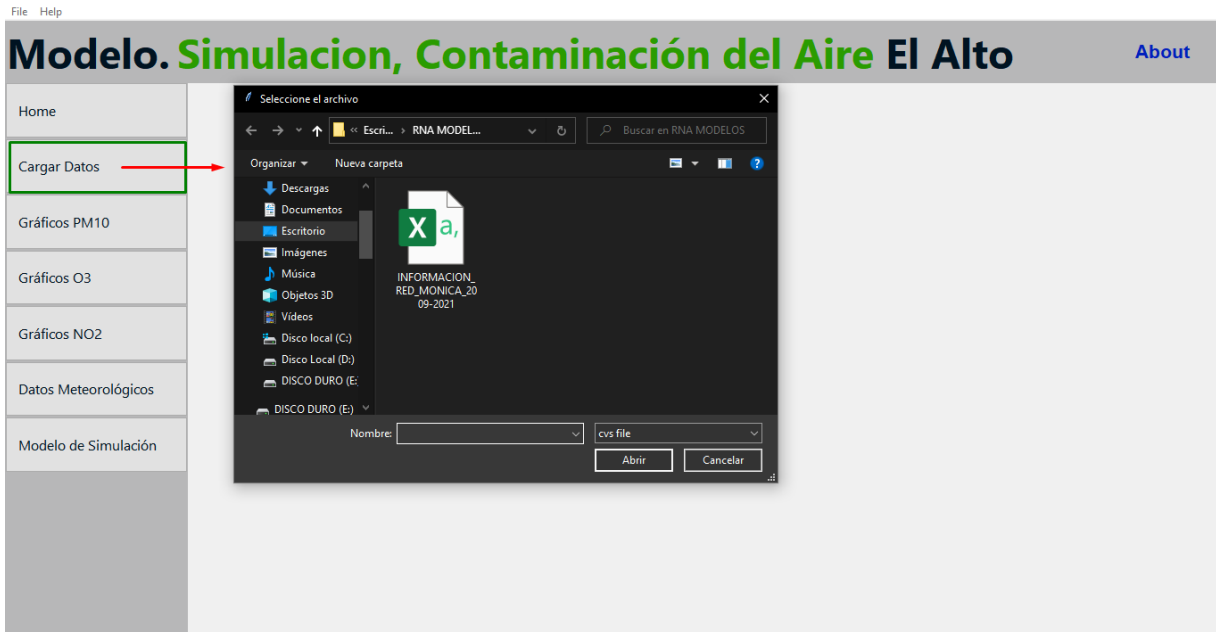
1. INGRESO AL SISTEMA: Iniciar el ejecutable donde se mostrará la pantalla principal con el menú de las diferentes funcionalidades del sistema.



2. MENÚ: En la pantalla principal al lado izquierdo se observa un menú de las funcionalidades del aplicativo.



3. CARGAR DATOS: Al seleccionar el botón *cargar datos*, nos mostrará una pantalla de diálogo donde se nos dará la opción de buscar los registros de datos de la contaminación del aire a cargar al sistema y posteriormente la visualización de los datos cargados al sistema.



File Help

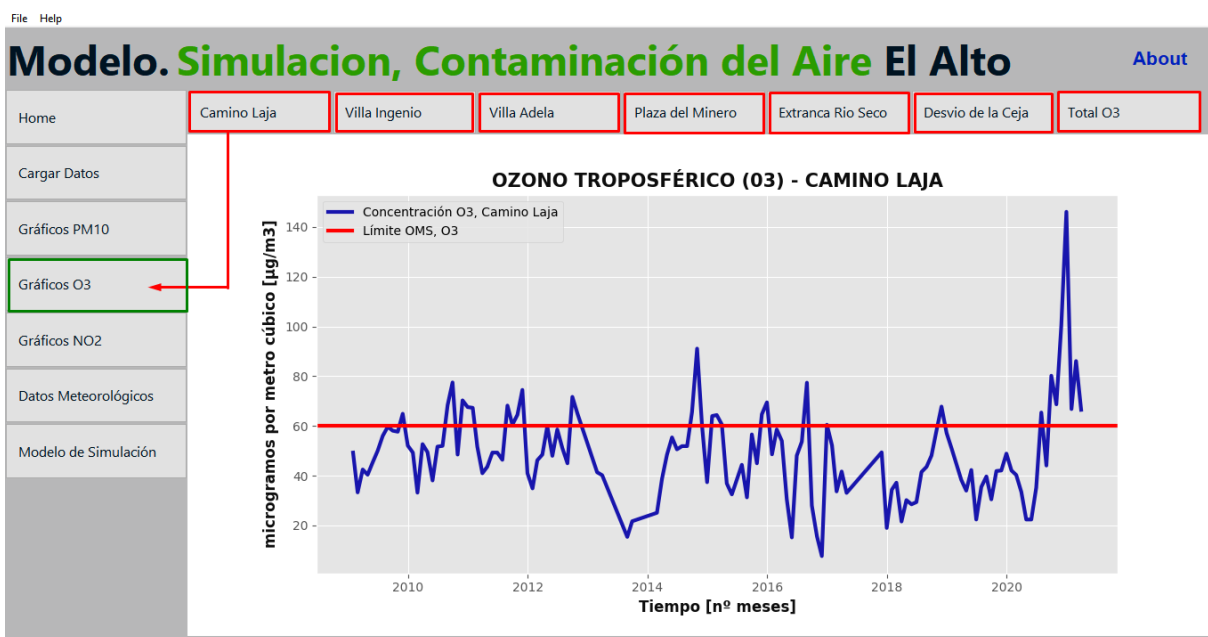
Modelo. Simulación, Contaminación del Aire El Alto

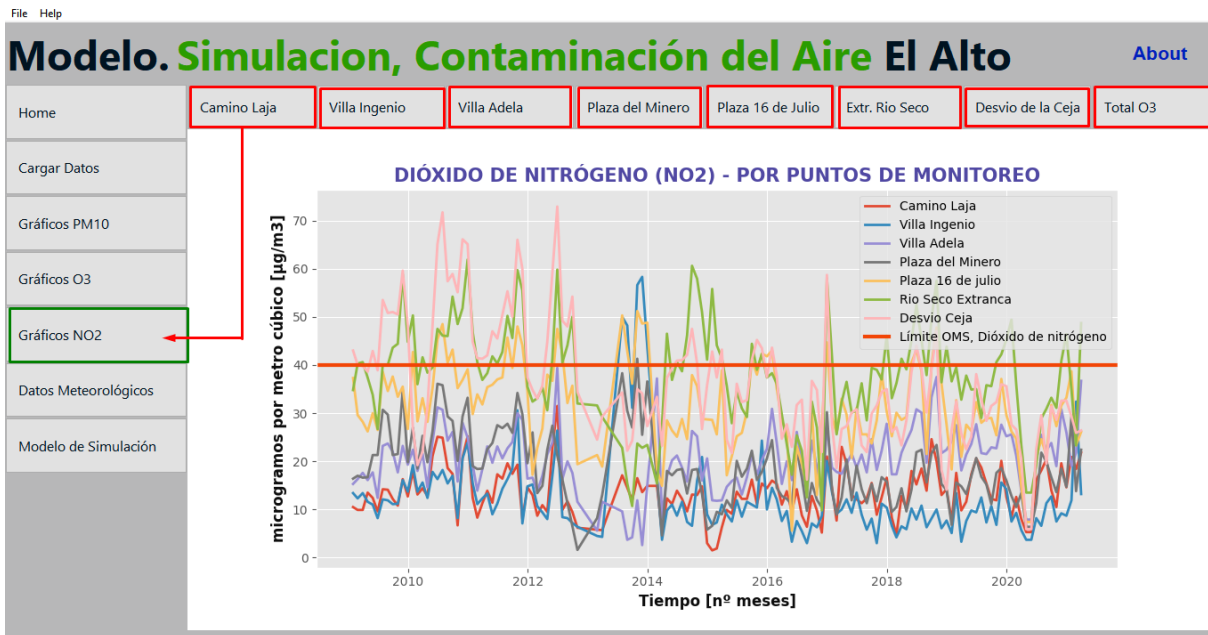
About

	date	NO2CL	O3CL	NO2VI	O3VI	NO2VA	O3VA	NO2PM	O3PM	NO2P16	O3P16	NO2EX	O3EX	
Home	1	31/01/2009	10.50	49.30	13.40	47.30	15.30	44.20	16.40	41.70	37.30	32.50	34.80	29.20
	2	28/02/2009	9.90	33.30	12.30	29.20	16.30	18.50	17.00	13.30	29.60	14.40	40.30	9.50
	3	31/03/2009	9.90	42.50	13.40	41.50	17.60	32.80	16.60	33.70	28.20	22.50	40.60	15.10
Cargar Datos	4	30/04/2009	13.50	40.40	11.60	38.40	16.10	32.90	16.70	37.40	26.20	23.00	37.40	21.80
	5	31/05/2009	12.40	45.40	11.00	43.70	17.70	26.60	21.30	28.00	30.00	20.20	33.80	21.20
Gráficos PM10	6	30/06/2009	9.60	50.00	8.20	45.20	12.40	24.80	21.30	25.90	26.50	20.80	26.70	17.10
	7	31/07/2009	14.20	56.00	12.10	59.50	23.20	32.00	30.70	35.10	38.60	24.70	40.10	26.10
	8	31/08/2009	14.10	59.70	11.90	61.80	23.70	45.10	29.70	42.40	34.60	33.40	40.00	36.10
Gráficos O3	9	30/09/2009	12.20	58.10	11.10	59.10	22.00	43.20	21.30	40.80	37.60	31.30	43.60	31.10
	10	31/10/2009	10.80	57.70	11.20	61.00	17.70	44.80	21.50	45.70	33.40	32.30	44.40	31.30
	11	30/11/2009	16.30	64.90	16.10	72.40	23.20	57.60	34.80	53.90	35.50	44.80	58.80	40.90
Gráficos NO2	12	31/12/2009	12.70	52.10	13.70	50.90	19.30	42.20	19.80	27.10	26.70	24.70	44.80	28.50
	13	31/01/2010	17.90	49.30	19.20	45.50	22.40	33.20	27.00	27.70	42.70	27.00	50.30	22.20
Datos Meteorológicos	14	28/02/2010	13.10	33.20	13.70	31.60	18.00	25.70	18.50	20.70	28.30	18.00	36.00	17.10
	15	31/03/2010	14.40	52.70	15.60	52.20	21.60	27.40	25.30	29.50	33.10	23.80	41.60	22.80
	16	30/04/2010	12.80	49.50	12.40	52.40	14.60	39.70	19.80	38.50	28.20	31.40	38.40	29.60
Modelo de Simulación	17	31/05/2010	21.10	38.10	17.80	42.10	24.10	26.40	26.30	27.80	35.20	22.50	39.50	21.50
	18	30/06/2010	25.10	51.70	16.30	53.90	31.20	30.60	36.10	30.00	45.30	24.80	47.50	22.70
	19	31/07/2010	24.90	52.00	18.20	53.40	30.70	40.70	35.80	44.20	48.50	33.30	46.10	33.90
	20	31/08/2010	18.60	68.40	15.40	67.30	24.30	52.90	29.30	52.30	40.50	46.60	46.00	45.50
	21	30/09/2010	17.40	77.50	17.00	78.20	26.10	54.20	28.40	60.80	43.20	44.60	54.20	44.10
	22	31/10/2010	6.70	48.50	8.20	49.50	15.80	43.30	20.10	47.80	35.20	39.00	48.50	34.90
	23	30/11/2010	20.80	70.30	20.60	68.50	28.00	55.80	29.30	46.80	36.90	49.70	51.80	44.10
	24	31/12/2010	25.20	67.60	23.90	61.40	24.90	56.10	33.20	46.20	39.10	39.20	61.90	42.10

C:/Users/Windows/Desktop/RNA MODELOS/INFORMACION_RED_MONICA_2009-2021.csv

4. GRÁFICOS, PM10, O3, NO2 Y DATOS METEOROLÓGICOS: Al seleccionar los botones, *gráficos PM10*, *gráficos O3*, *gráficos NO2* y *Datos Meteorológicos*, se nos mostrará una pantalla de gráficos donde se nos dará la opción de visualizar gráficamente los registros de los datos de los principales contaminantes del aire por puntos de monitoreo y de la climatología de la ciudad de El Alto.





5. MODELO DE SIMULACIÓN: Al seleccionar el botón *Modelo de Simulación*, se nos mostrará una pantalla, donde se nos dará la opción de seleccionar la simulación de los principales contaminantes atmosféricos de manera global y por estaciones de monitoreo y hacer uso del modelo de red neuronal entrenado y posteriormente la visualización de los datos y generar un reporte en formato PDF.

Modelo de Simulación -SIMCA-
File Help

Modelo. Simulación, Contaminación del Aire El Alto

About

Home

Cargar Datos

Gráficos PM10

Gráficos O3

Gráficos NO2

Datos Meteorológicos

Modelo de Simulación

Simulación principales contaminantes atmosféricos

DIÓXIDO DE NITRÓGENO

Simulación Dióxido de Nitrógeno NO2 El Alto

OZONO TROPOSFÉRICO

Simulación Ozono Troposferico O3 El Alto

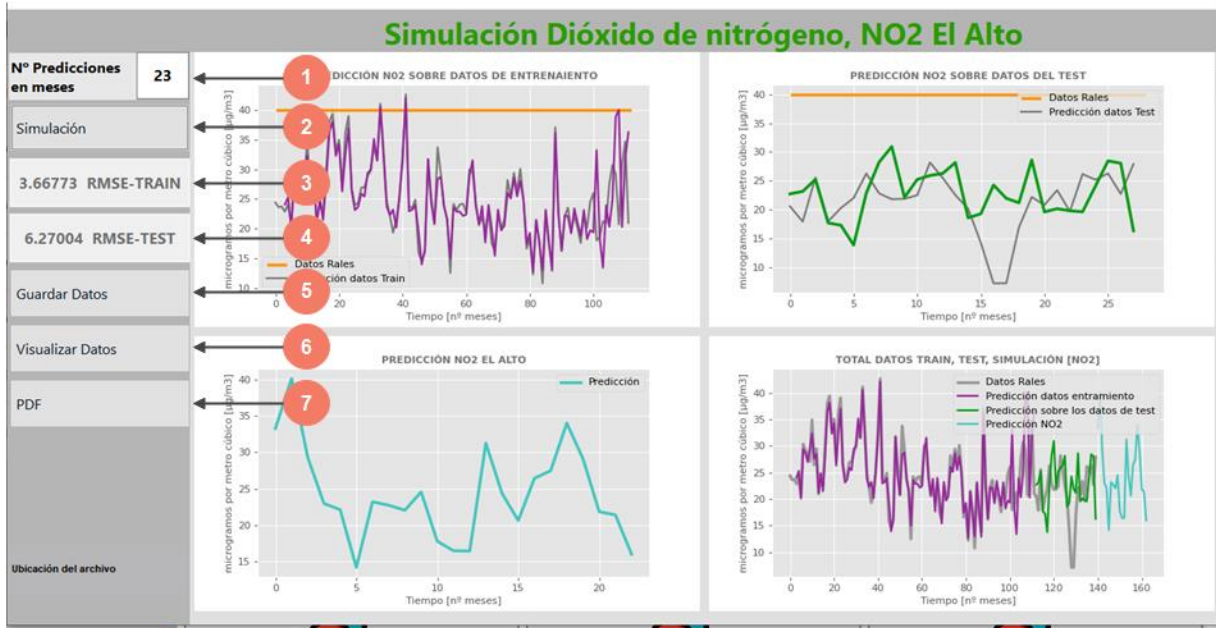
PM 10

Simulación Material Particulado PM10 El Alto

Simulación por estaciones

Modelo de Simulación

6. MENÚ MODELO DE SIMULACIÓN: Al seleccionar un botón del menú *Modelo de Simulación*, ya sea la simulación por estaciones o de manera global, se nos abrirá una ventana, donde se hace el uso del modelo red neuronal.



1. Número de predicciones expresado en número de meses
2. Simulaciones haciendo uso de la Red Neuronal Artificial
3. Raíz del error medio cuadrático de los datos del Entrenamiento
4. Raíz del error medio cuadrático de los datos de Test
5. Botón guardar las simulaciones generados por el modelo en formato CVS
6. Botón de visualización de los datos generados por el modelo
7. Generar los resultados del modelo en un documento PDF

Simulación Dióxido de nitrógeno, NO2 El Alto

Nº Predicciones en meses 23

Simulación

3.66773 RMSE-TRAIN

6.27004 RMSE-TEST

Guardar Datos

Visualizar Datos

PDF

Ubicación del archivo

PREDICCIÓN NO2 SOBRE DATOS DEL TEST

TOTAL DATOS TRAIN, TEST, SIMULACIÓN [NO2]

Nº Predicciones en meses 23

Simulación

3.66773 RMSE-TRAIN

6.27004 RMSE-TEST

Guardar Datos

Visualizar Datos

PDF

C:/Users/Windows/Documents/Simu

Month	Value (µg/m³)
4	22.099377
5	14.175744
6	23.191705
7	22.703988
8	22.026535
9	24.540380
10	17.755932
11	16.463989
12	16.418280
13	31.227068
14	24.340499
15	20.611463
16	26.418224
17	27.453949
18	33.992511
19	29.079376
20	21.830541
21	21.380288
22	15.988167

Mostrar Limpiar Cerrar C:/Users/Windows/Documents/Simulación NO2 El Alto- datos.csv

PREDICCIÓN NO2 SOBRE DATOS DEL TEST

TOTAL DATOS TRAIN, TEST, SIMULACIÓN [NO2]

Simulación Dióxido de nitrógeno, NO2 El Alto

Nº Predicciones en meses 23

Simulación

3.66773 RMSE-TRAIN

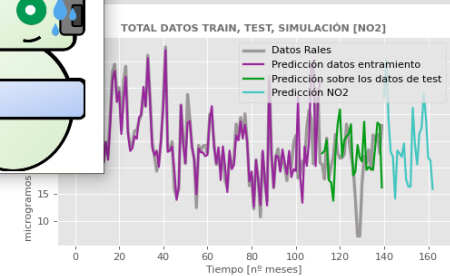
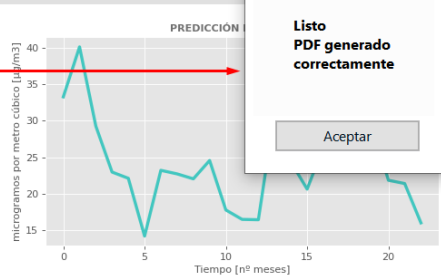
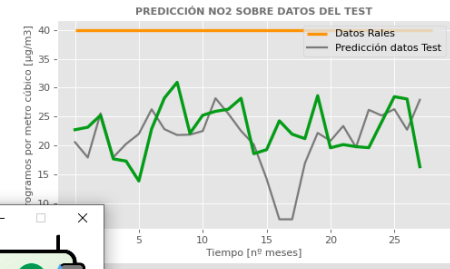
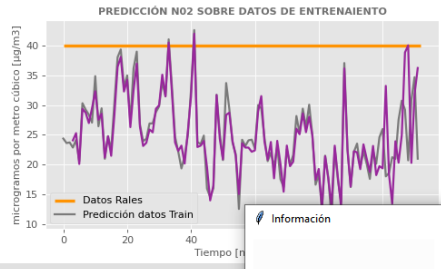
6.27004 RMSE-TEST

Guardar Datos

Visualizar Datos

PDF

C:\Users\Windows\Documents\Simu



Información

Listo PDF generado correctamente

Aceptar

Apéndices:



Universidad Pública de El Alto

Creada por Ley 2115 del 15 de Septiembre de 2000 y Autónoma por Ley 2556 del 12 de Noviembre de 2003



CARRERA INGENIERÍA DE SISTEMAS



El Alto, 17 de Septiembre de 2021

NOTA EXTERNA

NOT EXT- ING_ SIST - UPEA-111/2021

Señor:

Ing. Rolando Orellana Ayala

DIRECTOR

SANEAMIENTO BÁSICO RECURSOS HÍDRICOS Y CONTROL AMBIENTAL

Presente. -

REF.: SOLICITUD DE INFORMACIÓN

De mi mayor consideración:

Al interior del plan de estudios de la carrera de Ingeniería de Sistemas, el universitario Roger Huanca Cori con C.I.: 7092837 LP. y R.U.: 15000120, se encuentra cursando la materia "TALLER DE GRADO II", y uno de los requisitos centrales consiste en contar con su autorización respectiva para realizar el proyecto de Grado.

Apreciaría mucho tenga la gentileza de proporcionar toda la información referida al tema del proyecto de grado para obtener los requerimientos de sus necesidades e incluirlas en el producto software a construir denominado "MODELO DE SIMULACIÓN PARA PROYECTAR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA CIUDAD DE EL ALTO APLICANDO REDES NEURONALES".

Seguro de contar con su colaboración, saludo a usted con el mayor respeto y consideración.

Atentamente,


Ing. David Carlos Mamani Quispe
DIRECTOR
CARRERA INGENIERÍA DE SISTEMAS
U. P. E. A.



Cel.: 67174921
Univ. Roger Huanca Cori

DCMQ/jvd
c.c./Archivo

AVALES:

AVAL DE CONFORMIDAD (TUTOR METODOLÓGICO)

El Alto, 15 de junio de 2022

Señor:
Ing. David Carlos Mamani Quispe
DIRECTOR DE CARRERA
INGENIERÍA DE SISTEMAS
Presente. –


REF. AVAL DE CONFORMIDAD

Distinguido director de carrera:
Mediante la presente tengo a bien comunicarle mi conformidad del Trabajo de Grado:

**TITULO: MODELO DE SIMULACIÓN PARA PROYECTAR LA CONTAMINACIÓN
DEL AIRE EN LA CIUDAD DEL ALTO APLICANDO REDES NEURONALES**
MODALIDAD: TESIS DE GRADO
Univ. Roger Huanca Cori
Registro Universitario: 15000120
Cedula de Identidad: 7092837 LP.

Para su defenza pública y evaluación correspondiente a la materia de Taller de Grado II, de acuerdo al reglamento vigente de la Carrera de Ingeniería de sistemas de la Universidad Pública de El Alto.

Atentamente,



.....
Ing. Marisol Arguedas Balladares
TUTOR METODOLÓGICO
TALLER DE GRADO II

AVAL DE CONFORMIDAD

(TUTOR REVISOR)

El Alto, 3 de junio de 2022

Señor(a):
Ing. Marisol Arguedas Balladares
TUTOR METODOLÓGICO
TALLER DE GRADO II
Presente. –

REF. AVAL DE CONFORMIDAD

Distinguido tutor metodológico:
Mediante la presente tengo a bien comunicarle mi conformidad del Trabajo de Grado:

**TITULO: MODELO DE SIMULACIÓN PARA PROYECTAR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE
EN LA CIUDAD DEL ALTO APLICANDO REDES NEURONALES**
MODALIDAD: TESIS DE GRADO
Univ. Roger Huanca Cori
Registro Universitario: **15000120**
Cedula de Identidad: **7092837 LP.**

Para su defenza pública y evaluación correspondiente a la materia de Taller de Grado II, de acuerdo al reglamento vigente de la Carrera de Ingeniería de sistemas de la Universidad Pública de El Alto.

Atentamente,



.....
Ing. Lidia Máxima Rodríguez Choque
TUTOR REVISOR

AVAL DE CONFORMIDAD

(TUTOR ESPECIALISTA)

El Alto, 15 de junio de 2022

Señor(a):
Ing. Marisol Arguedas Balladares
TUTOR METODOLÓGICO
TALLER DE GRADO II
Presente. –

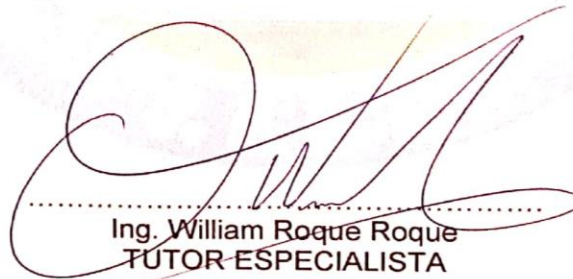
REF. AVAL DE CONFORMIDAD

Distinguido tutor metodológico:
Mediante la presente tengo a bien comunicarle mi conformidad del Trabajo de Grado:

**TITULO: MODELO DE SIMULACIÓN PARA PROYECTAR LA CONTAMINACIÓN
DEL AIRE EN LA CIUDAD DEL ALTO APLICANDO REDES NEURONALES**
MODALIDAD: TESIS DE GRADO
Univ. Roger Huanca Cori
Registro Universitario: 15000120
Cedula de Identidad: 7092837 LP.

Para su defenza pública y evaluación correspondiente a la materia de Taller de Grado II, de acuerdo al reglamento vigente de la Carrera de Ingeniería de sistemas de la Universidad Pública de El Alto.

Atentamente,



.....
Ing. William Roque Roque
TUTOR ESPECIALISTA